



μQUANS

Premier lien fibré cohérent de grade
industriel

Fabiola Guillou-Camargo

Assemblée Générale - 20/11/2018



Muquans

- Créé en 2011 par A. Landragin (SYRTE), Bruno Desruelle et P. Bouyer (LP2N)
- Etroite collaboration avec la recherche académique



Systèmes de Référence Temps-Espace



- 25 employeurs (12 PhD) :
 - Physique quantique, optique et laser
 - Electronique et microonde, opto-mécanique, ultravide
 - Logiciel temps réel, acquisition de données et traitement de signal

Nos produits

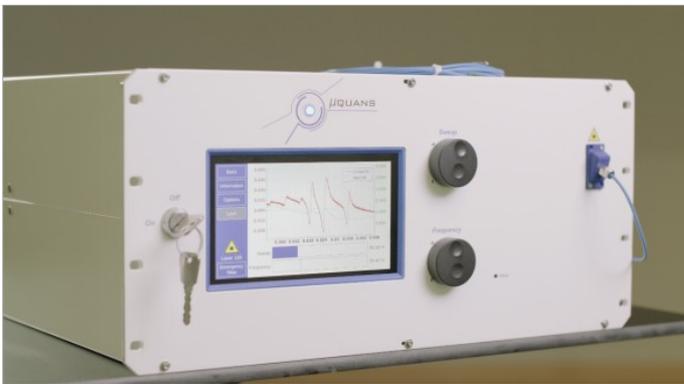
Cold atom gravity meter ($\Delta g/g \approx 10^{-9}$)



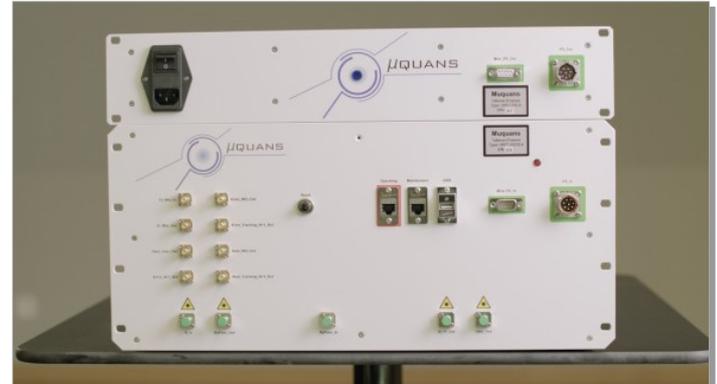
Atomic clock ($\Delta f/f \approx 10^{-15}$)



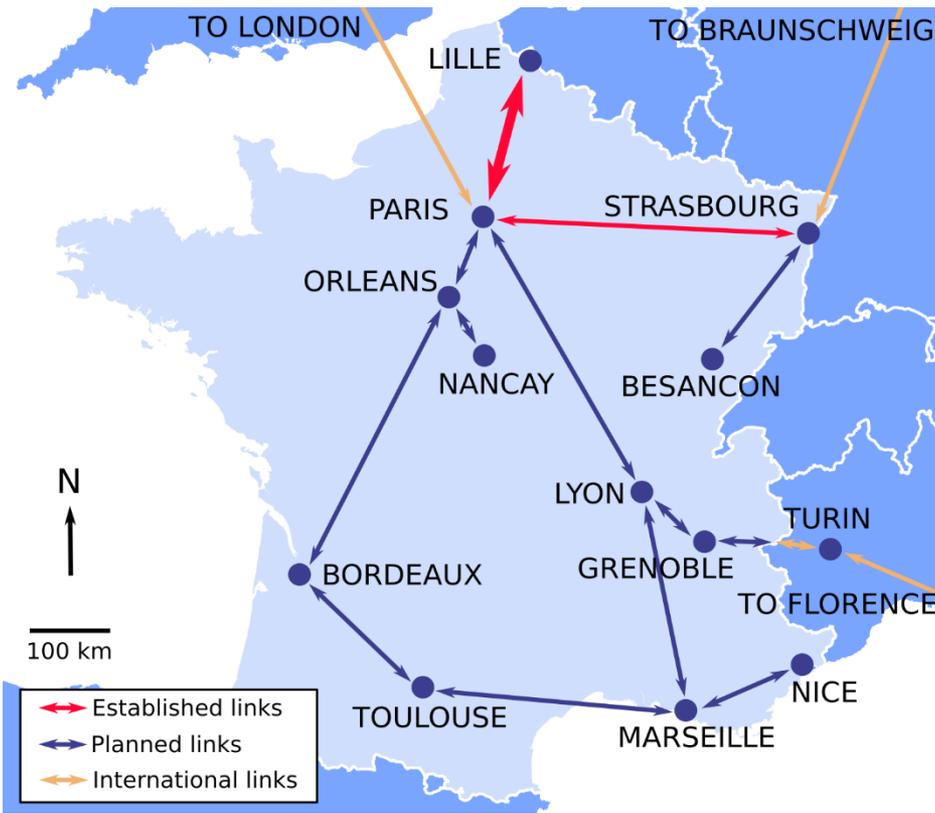
Laser systems for atom cooling and precision spectroscopy ($\Delta \lambda/\lambda \approx 10^{-10}$)



Frequency transfer over optical fibers ($\Delta f/f \approx 10^{-20}$)



Réseau REFIMEVE



- Transfert du signal météorologique fourni par le Syrte sur plus de 4000 km de fibre optique pour desservir une vingtaine des laboratoires
- Canal #44 sur le réseau RENATER
- Trois liens internationaux



Réseau REFIMEVE

- Cela représente
 - 38 stations de régénération (SR)
 - 7 stations d'extraction (SE) pour Ile-de-France
 - 13 modules utilisateur (MU)
 - 44 amplificateurs optiques bidirectionnel (Lumibird)
- Déploiement des équipements sur le réseau et optimisation des performances
- Supervision d'un réseau national (présentation demain)

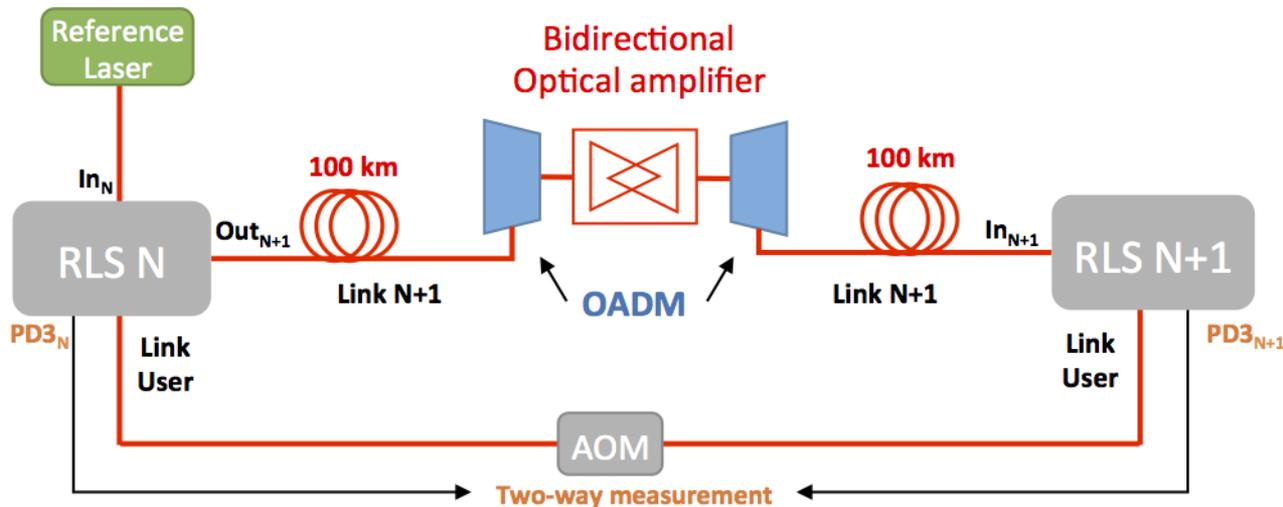
Un grand défi technologique

- Equipements :
 - Haut niveau de performance avec une bonne reproductibilité
 - Fiabilité et robustesse
 - Certification des équipements
 - Contrôle à distance des équipements
 - Maitrise de coût et délais
- Supervision du réseau :
 - Plus de 150 équipements à monitorer (EDFA, stations, compteurs de fréquence)
 - Analyser et sauvegarder une grande quantité des données



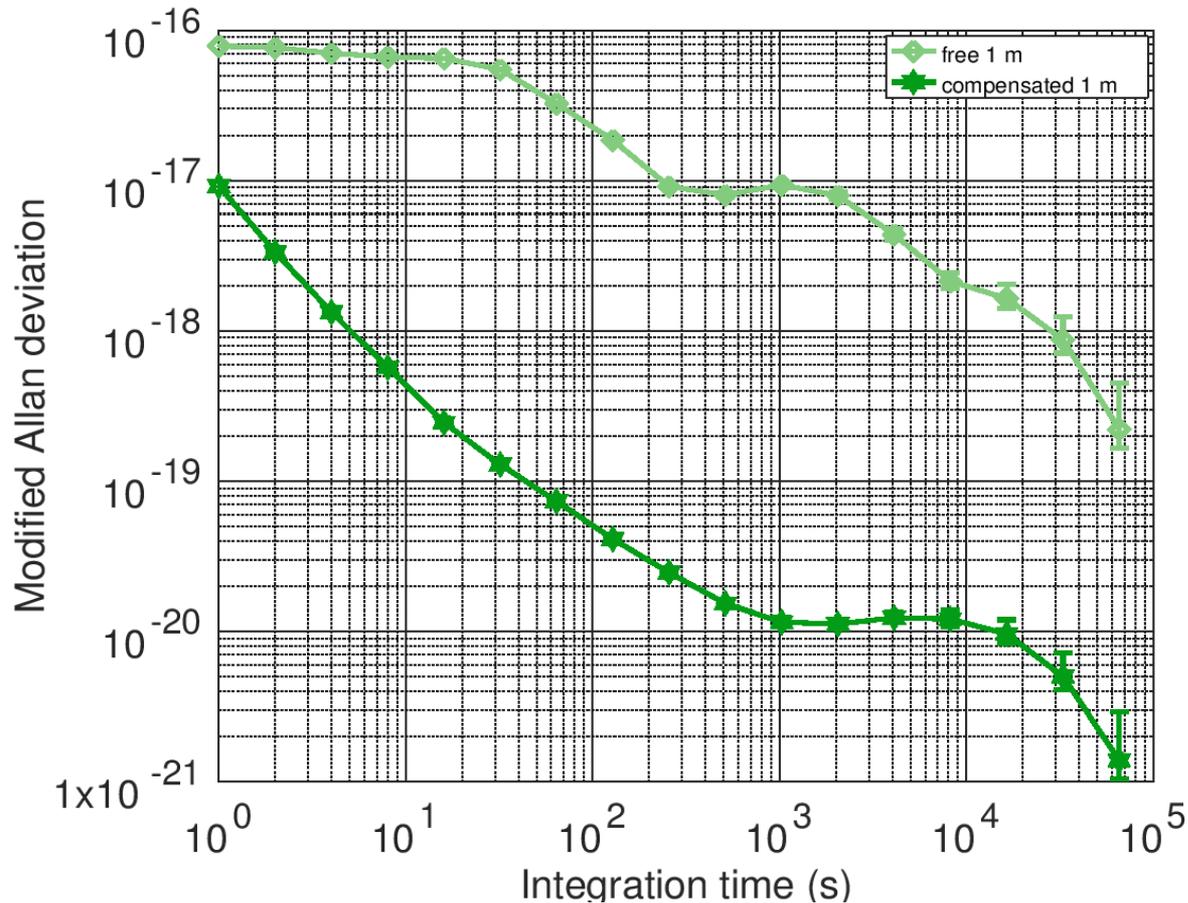
Banc de validation des SR

- Caractérisation et validation de chaque équipement produit par Muquans dans un banc dédié
 - Lien de 1m : mesure du bruit intrinsèque des SR.
 - Lien de 200 km : validations de toutes les fonctions des SR sur un lien optique long

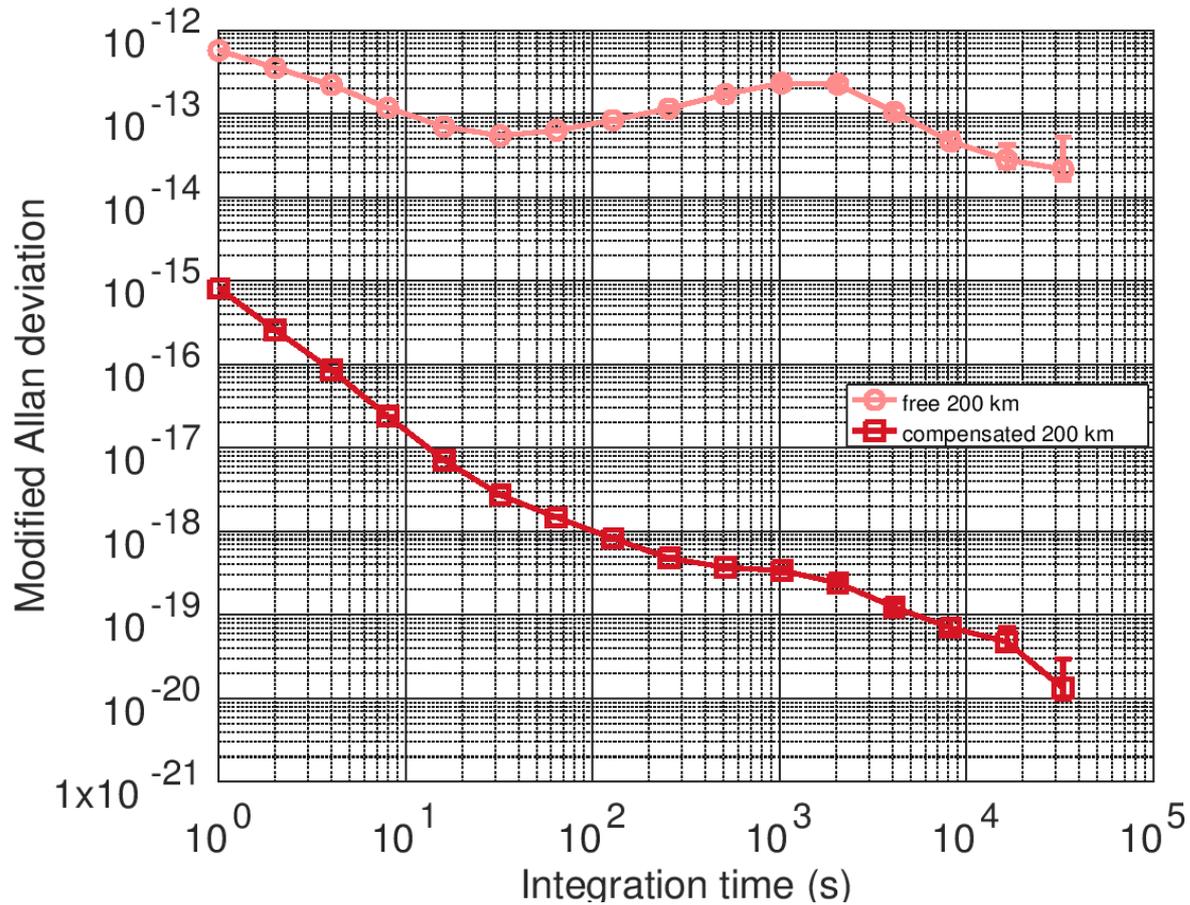


Lien optique de 1 m

- Validation des 38 SR dans le banc de test avec un lien de 1m

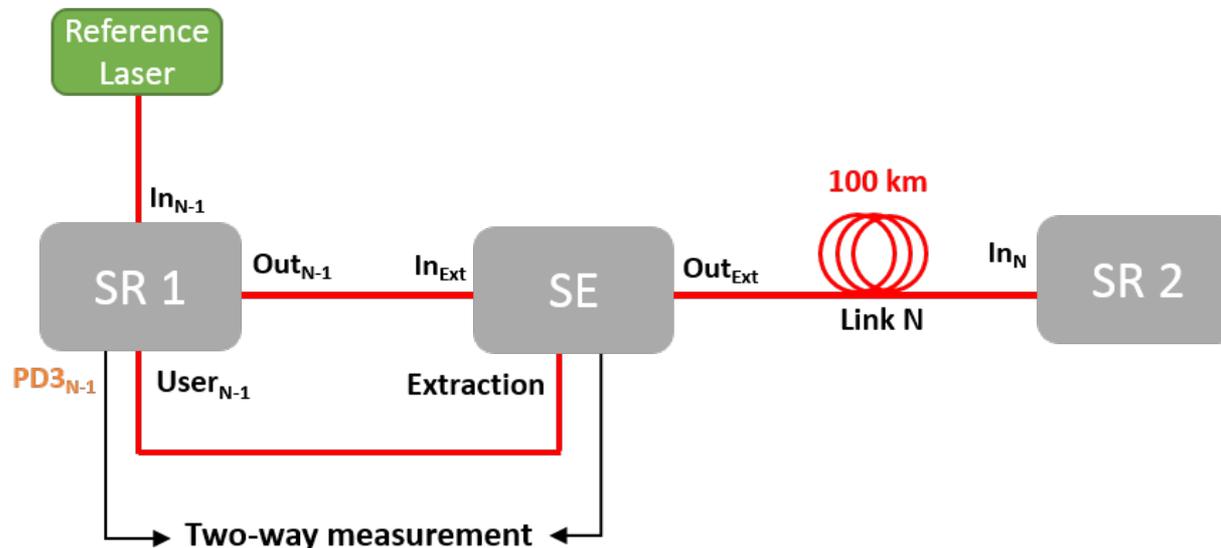


Lien optique de 200 km



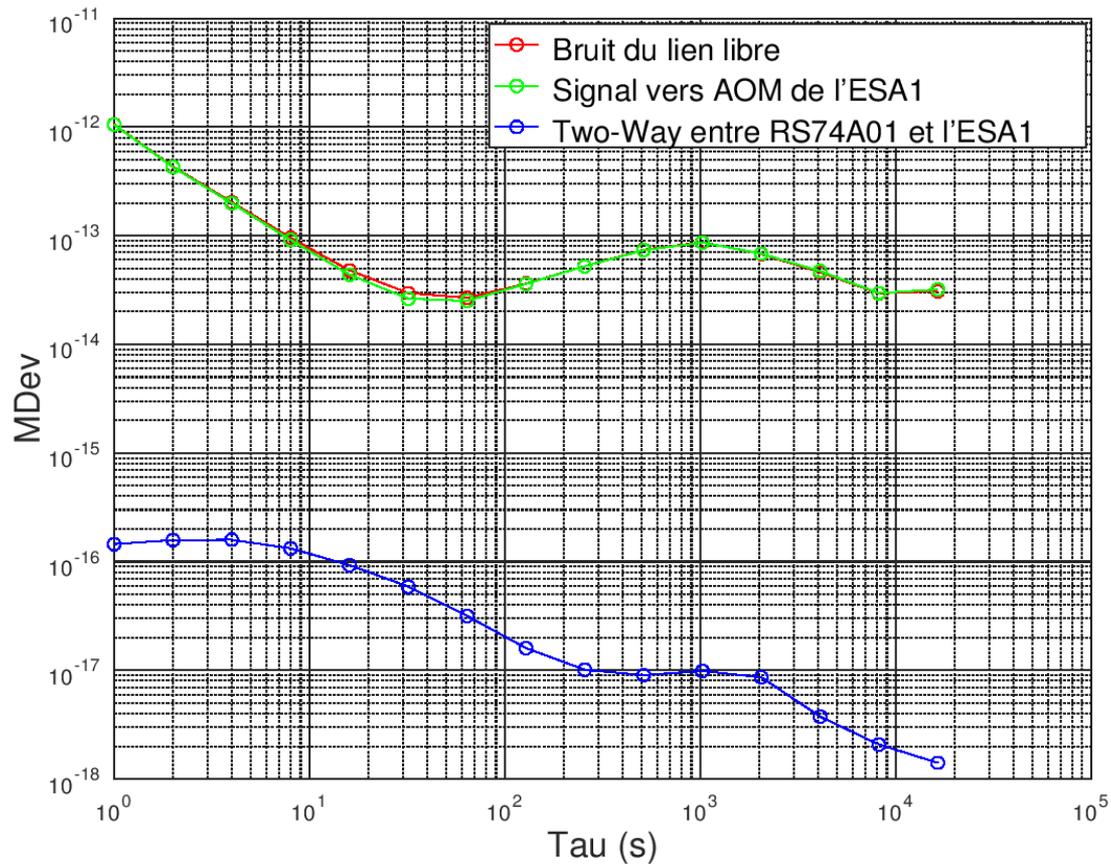
Banc de validation des SE

- Caractérisation et validation de chaque équipement produit par Muquans dans un banc dédié
 - La station d'extraction a été placée dans un lien de 100 km entre deux stations de régénération



Stabilité de fréquence SE

- Dans un lien de 100 km

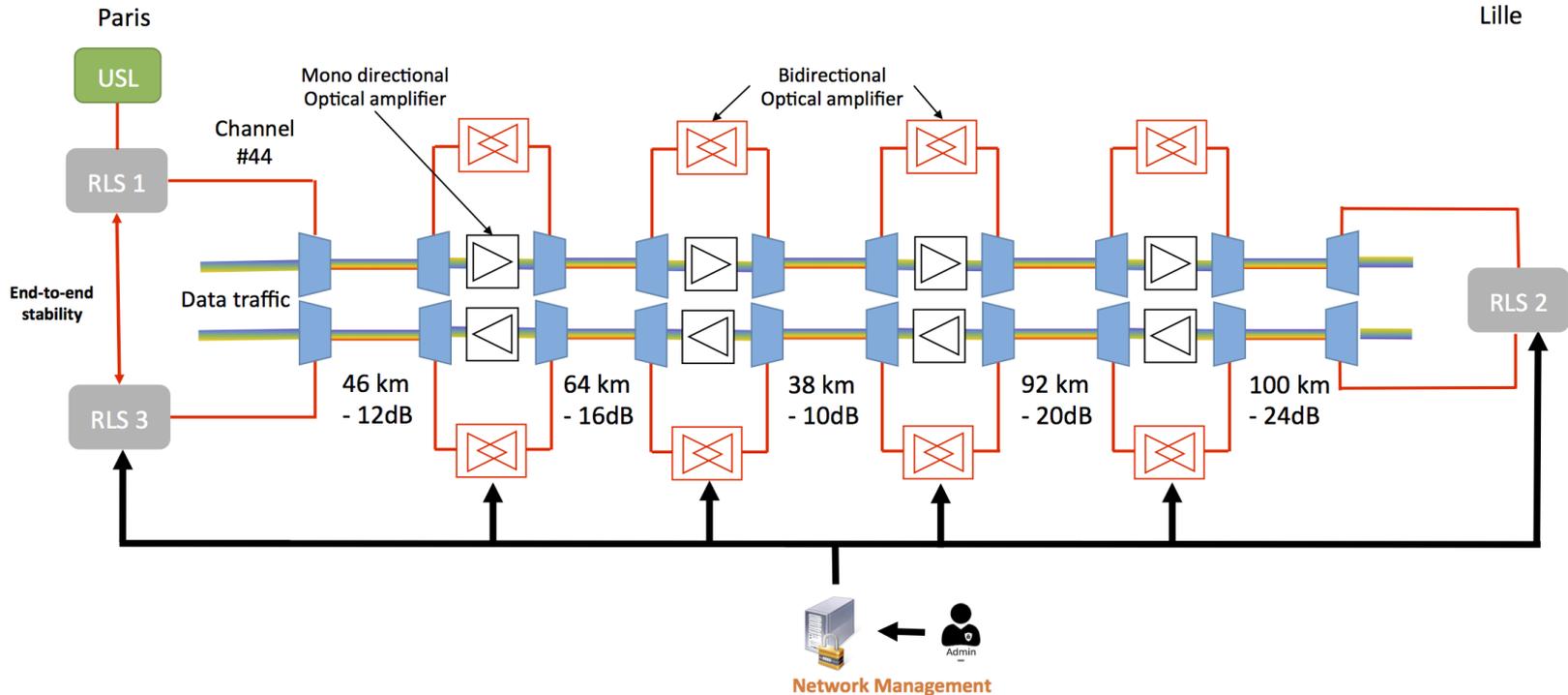




Premier lien fibré industriel

- Déploiement sur un lien disponible et non utilisé par des campagnes de mesures pour:
 - Prise en main des réglages d'un lien optique
 - Tests d'optimisation du lien
 - Test de différents versions du logiciel de supervision
- Paris-Lille : 680 km aller/retour

Paris-Lille



- Atténuation optique de 80 dB par tronçon
- 4 amplificateurs optiques bidirectionnels
- 3 stations de régénération
- 10 OADMs par tronçon

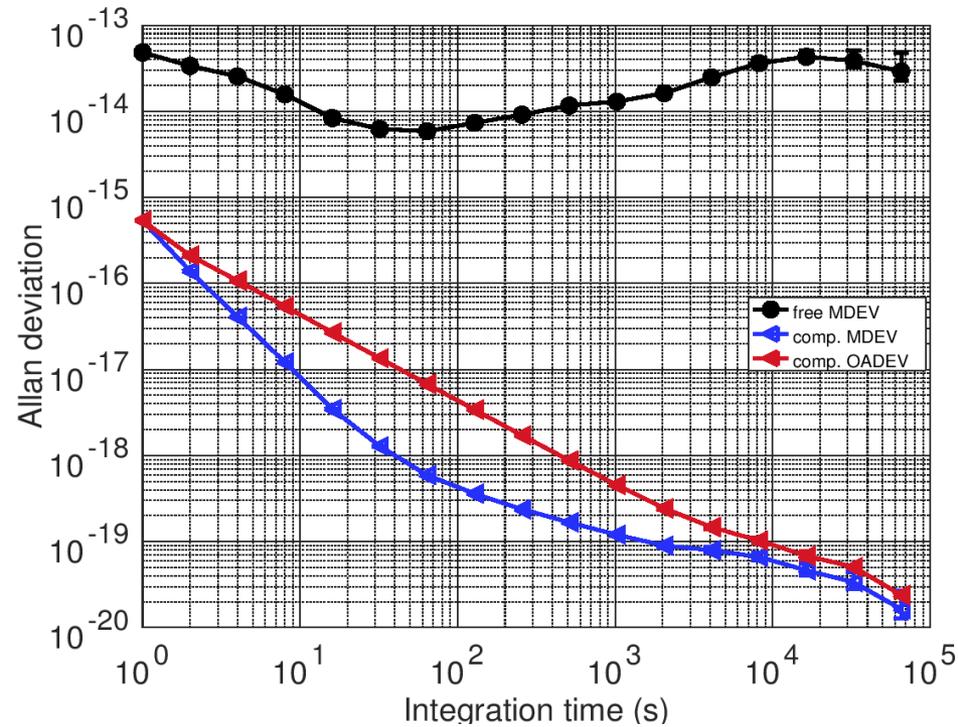


Déploiement du lien

- Mi-2017 : Déploiement des amplificateurs optiques et stations de régénération par Muquans
 - Installation et mise en route du lien – 1 semaine
 - Plusieurs sauts de cycles et stabilité en dessous des specs
 - Optimisation du lien – 3 semaines

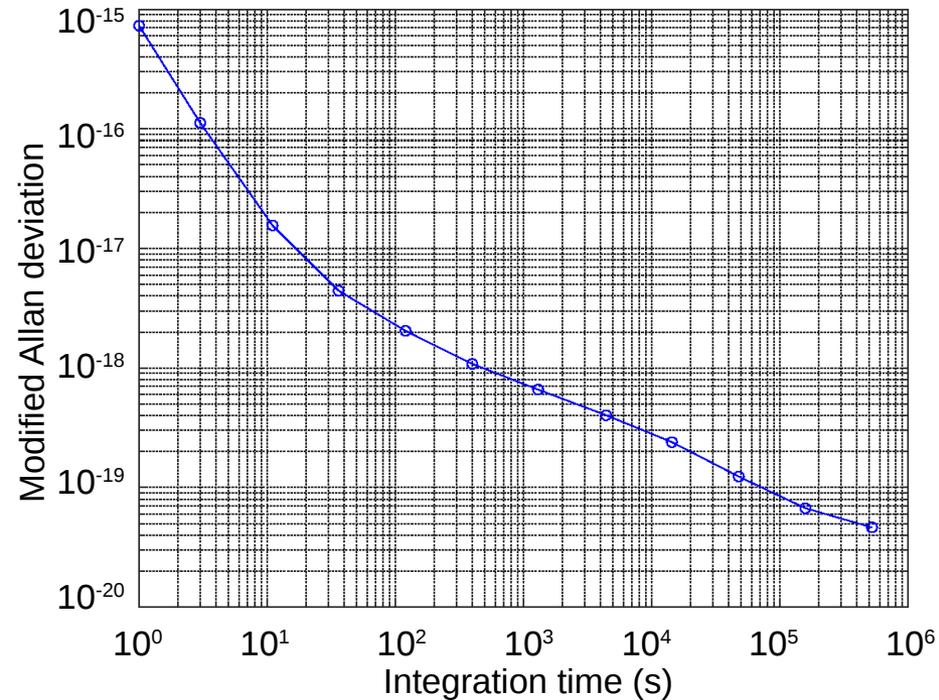
Stabilité de fréquence du lien

La meilleure campagne de mesures



Exactitude : $3 \times 10^{-21} \pm (3 \times 10^{-20})$

Performance typique





Disponibilité du lien

- Campagne de mesures en août 2018
 - Lien autonome : sans intervention humaine
 - Laser ultra-stable
 - Stations de régénération
 - Amplificateurs
 - Système de mesure TW et compteur
 - Disponibilité > 99%
 - Sauts de phase liés essentiellement à l'optimisation de polarisation sur les stations de régénération



Conclusion

- Premier lien optique industriel
 - Déploiement en 1 semaine
 - Optimisation sur 3 semaines
 - Avec une stabilité en fréquence à l'état de l'art
 - Disponibilité > 99% démontrée
 - Article publié sur Applied Optics (Septembre/18)
- Industrialisation des équipements
 - Tous les équipements ont été fabriqués et validés
 - Déploiement du réseau national début 2019

Merci !

