



REFIMEVE+
www.refimeve.fr

C. Chardonnet

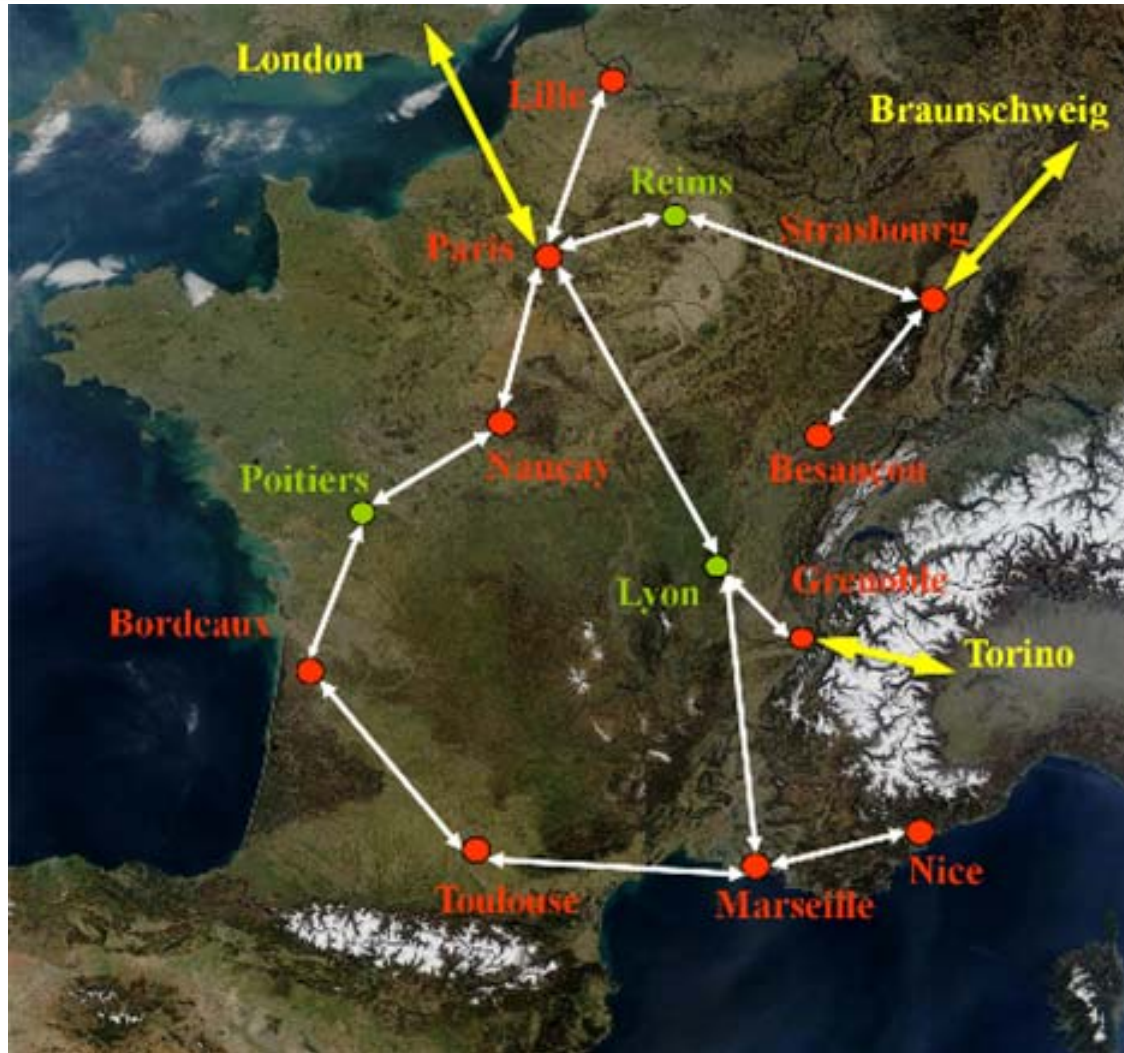
Coordinateur scientifique et technique

Laboratoire de Physique des Lasers (LPL),
UMR 7538 CNRS/Paris 13, Villetaneuse



Assemblée Générale du labex FIRST-TF – Nice – 25 mars 2014

« Réseau Fibré Météorologique à Vocation Européenne »



Financement 2012-2020

21 partenaires dont 18 labos CNRS

- Un noyau dur

- #1 LPL, Paris 13, coordinateur
- #2 SYRTE, Observatoire de Paris/LNE
- #3 RENATER
- #21 IDIL, PME

- Des utilisateurs

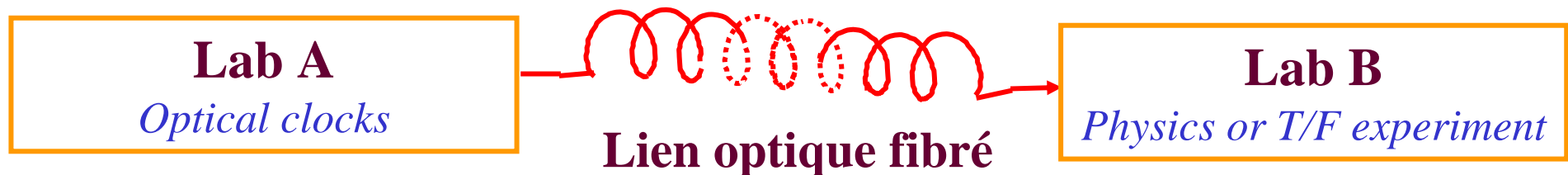
- #4 LKB, ENS/UPMC
- #5 LCF, IOGS
- #6 ISMO, UPSUD
- #7 APC, UPDiderot
- #8 LPMAA, UPMC
- #9 LAC, CNRS/UPSUD
- #10 PIIM, Marseille
- #11 LCAR, Toulouse
- #12 UTINAM, Besançon
- #13 FEMTO-ST, Besançon
- #14 USN, Nancy
- #15 PhLAM, Lille
- #16 LP2N, IOGS-Bordeaux
- #17 GEOAZUR, Nice
- #18 ARTEMIS, Nice
- #19 LIPhy, Grenoble
- #20 CST-CNES, Toulouse

Equipement structurant pour le Labex FIRST-TF



Depuis 2004, nouvelle révolution : Le défi de la dissémination d'une fréquence ultrastable

- Comparaison d'horloges distantes
 - Métrologie T&F
 - recherche d'une variation des constantes fondamentales
 - test de physique fondamentale, relativité
- Liens satellitaires (GPS ou two-way - TWSTFT)
 - 10^{-11} (1s) - 10^{-15} (1 jour)
- Liens optiques fibrés
 - Rapides développements au cours des 10 années passées
 - Transfert de la phase optique d'un laser ultrastable à $1.55 \mu\text{m}$



Dès les années 90, lien fibré de 3 km entre le SYRTE et le LKB (B. Cagnac)

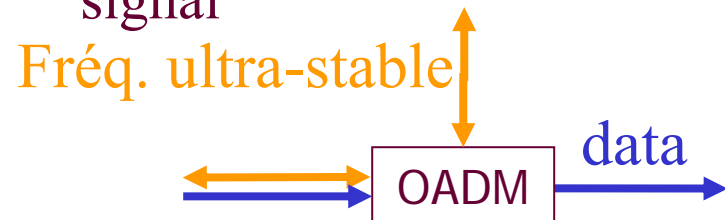
Stratégie pour un réseau continental

- Problème principal : la disponibilité des fibres
Les fibres dédiées sont difficiles à obtenir et sont coûteuses
- Utilisation des réseaux publics de télécommunication
 - Réseaux déjà existants et potentiellement moins onéreux
 - Méthode dite DWDM – Dense Wavelength-Division Multiplexing
Transmission simultanée à deux longueurs d'onde ie deux canaux différents dans la même fibre :
 - Données internet
 - Signal ultra-stable
 - Canal noir (canal 44) au lieu de fibre noire !

- Collaboration avec RENATER



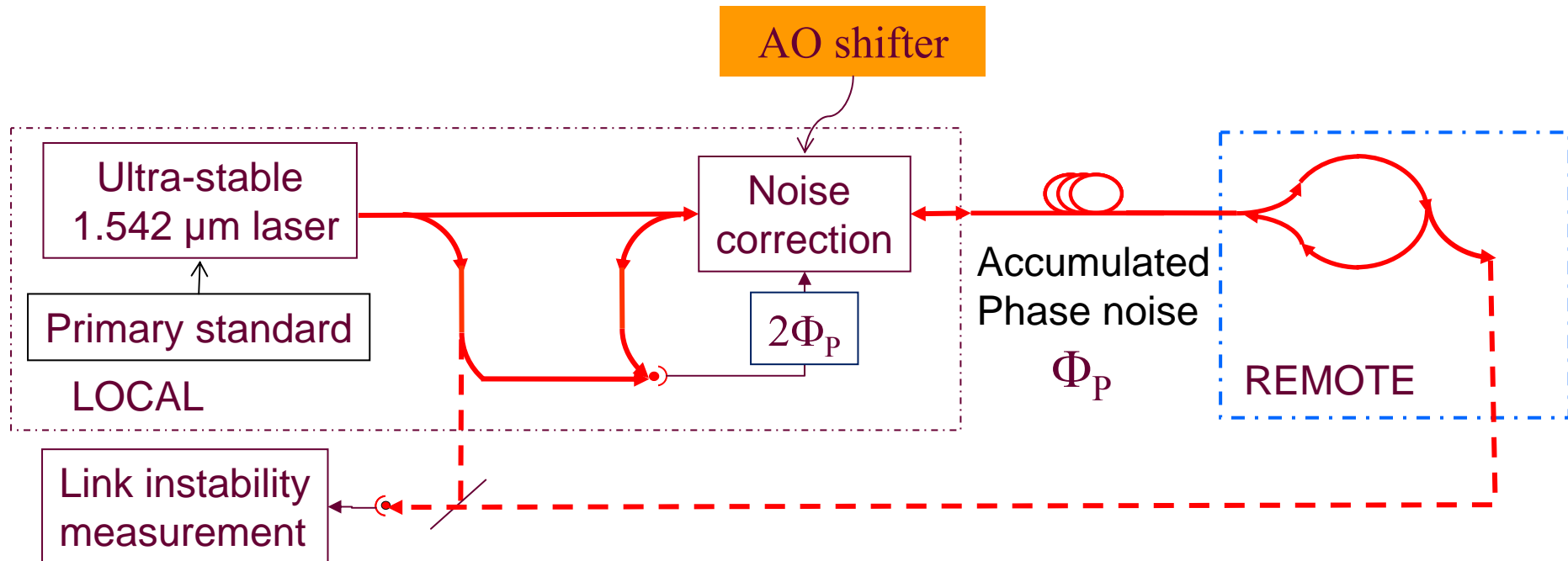
- OADM (optical add drop multiplexer) pour introduire ou extraire un signal



- Composants commerciaux (100 GHz)
- Pertes < 1dB, Isolation > 25 dB
- Bidirectionnel

Schéma simplifié d'un lien optique stabilisé

- Fluctuation du délai de propagation dans le transfert de fréquence
- Compensation du bruit par une méthode aller-retour



- Démonstration avec 2 fibres parallèles ou par une fibre en boucle.

Lien optique sur de longues distances

- **Approches multi-segments :**
 - Le lien est divisé en plusieurs segments, en fonction du bruit et des pertes de la ligne
 - délais plus courts
 - plus grande bande passante et meilleure réjection du bruit de phase
- **Il faut des stations répéteurs (ou de régénération)**
 - La station N : renvoie le signal vers station N-1, amplifie et filtre, corrige le bruit du lien suivant N

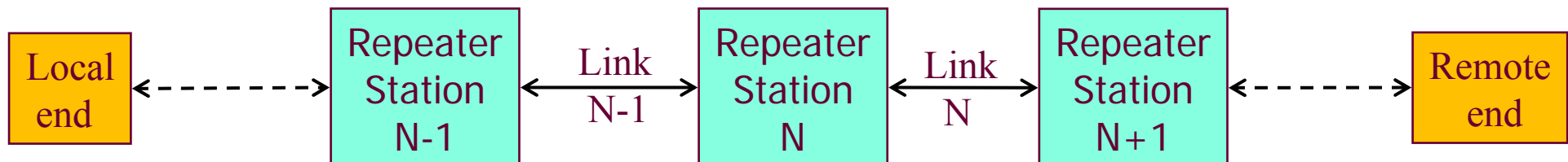
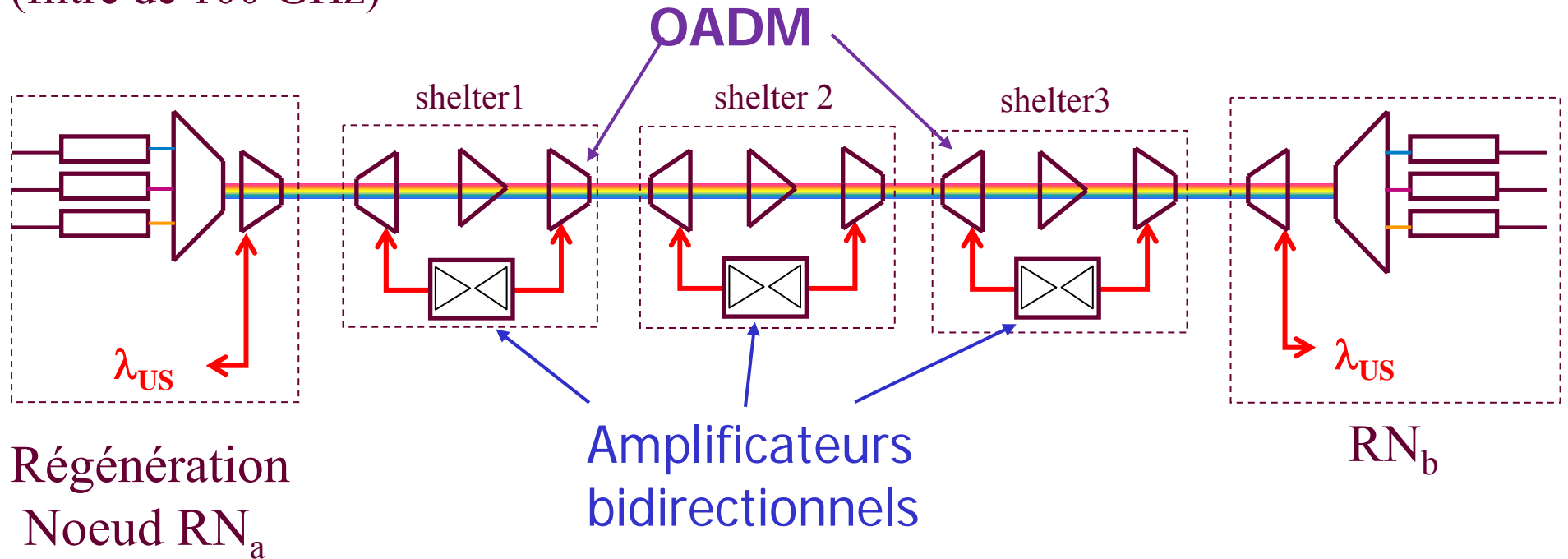
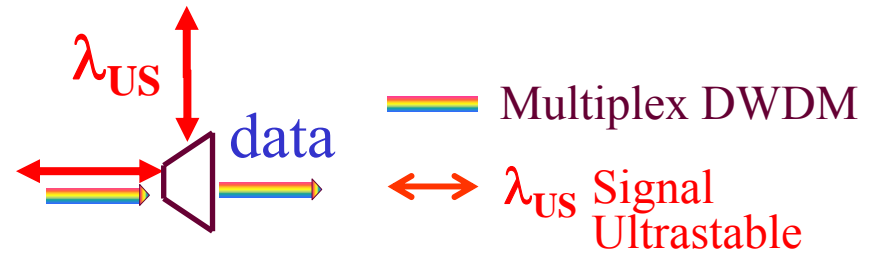


Schéma typique d'un lien optique multiplexé

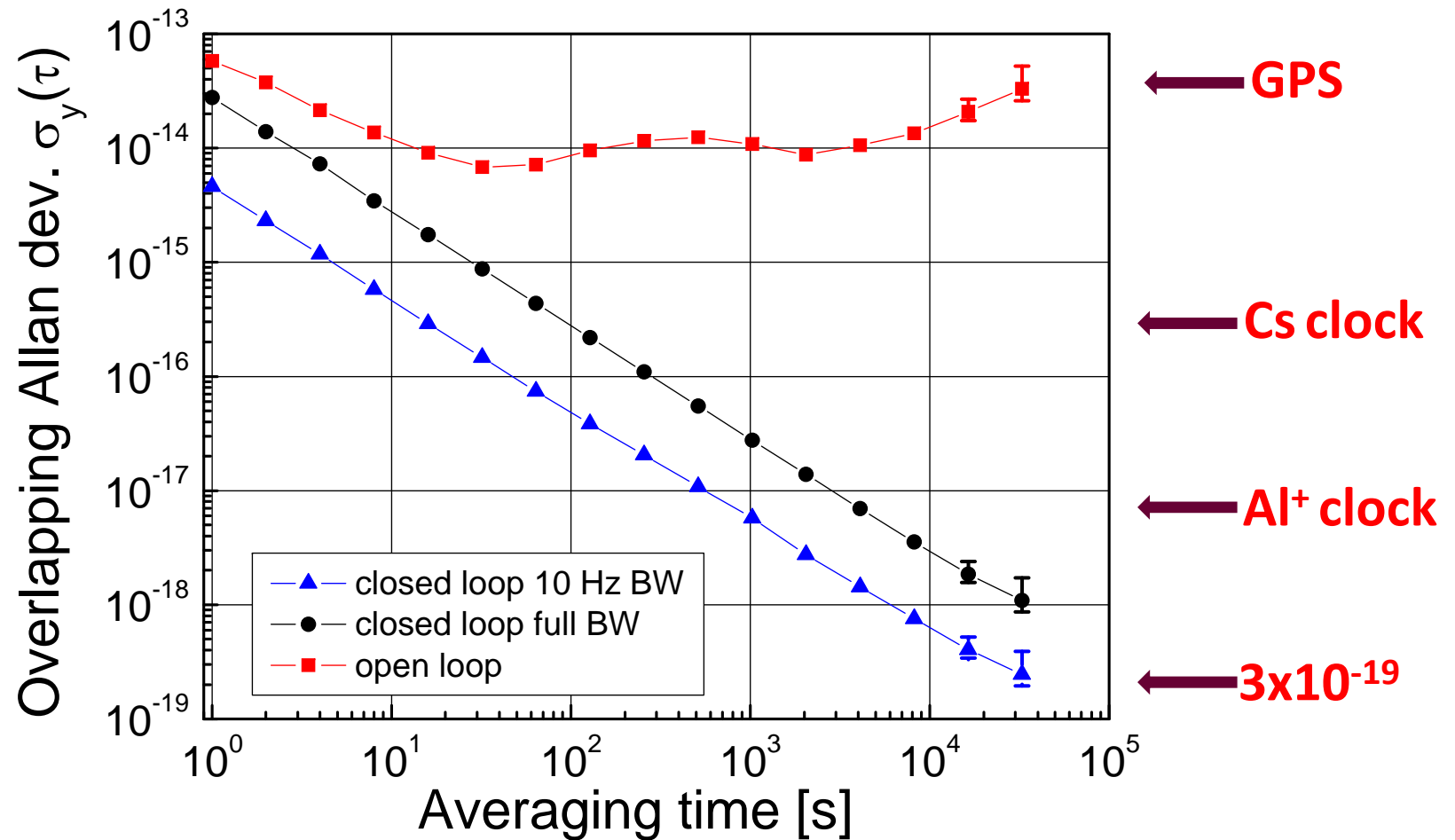
OADM (optical add drop multiplexer)
pour ajouter ou extraire un signal
(filtre de 100 GHz)



Point clé: propagation **bidirectionnelle** continue (pour corriger le bruit)

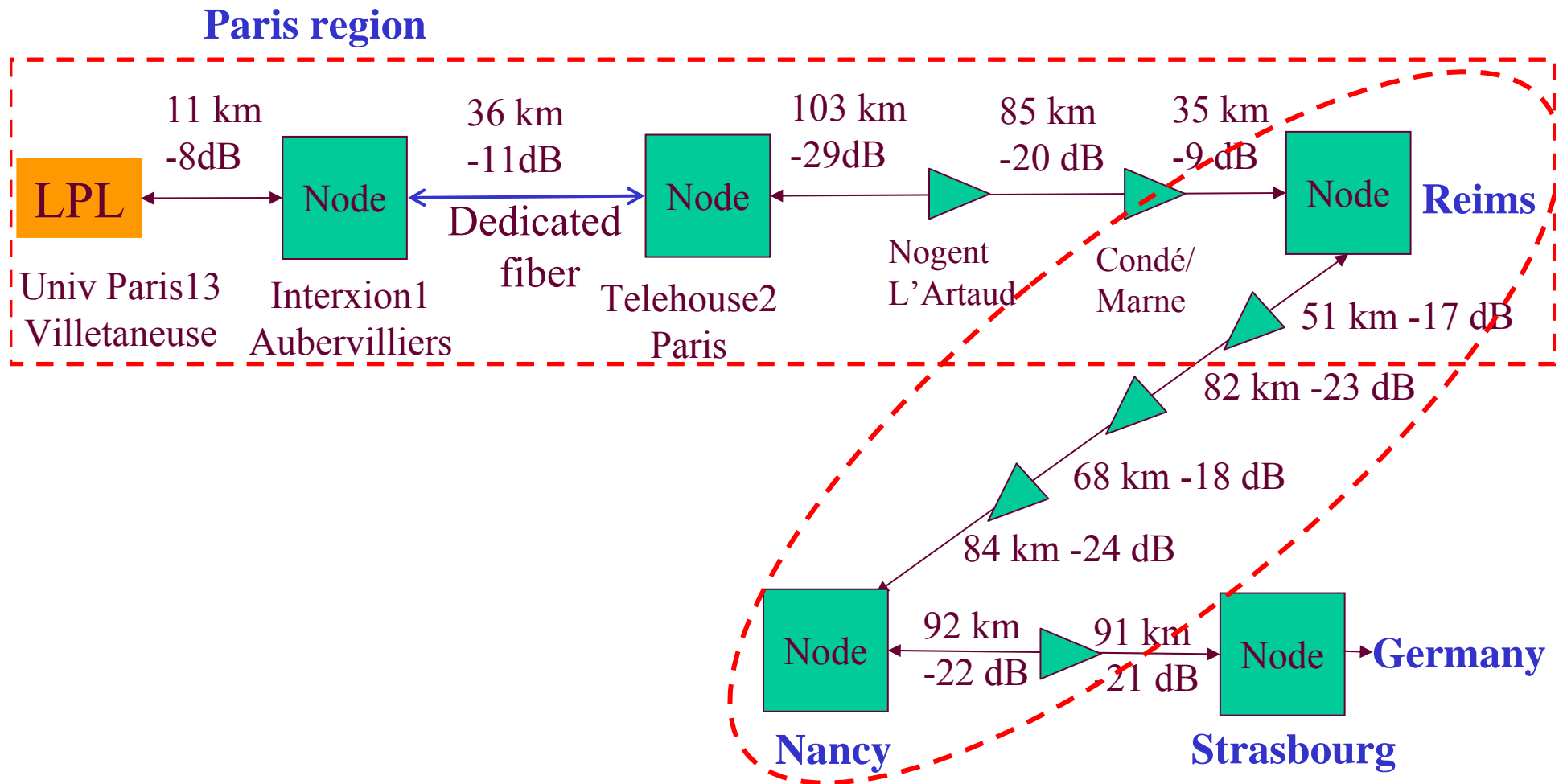
Transfert de fréquence optique via le réseau internet de RENATER

Villetaneuse – Reims - Villetaneuse : 540 km (sans répéteur)



En projet : lien vers l'Allemagne

Lien multiplexé jusqu'à Strasbourg ~750 km (- 230 dB)



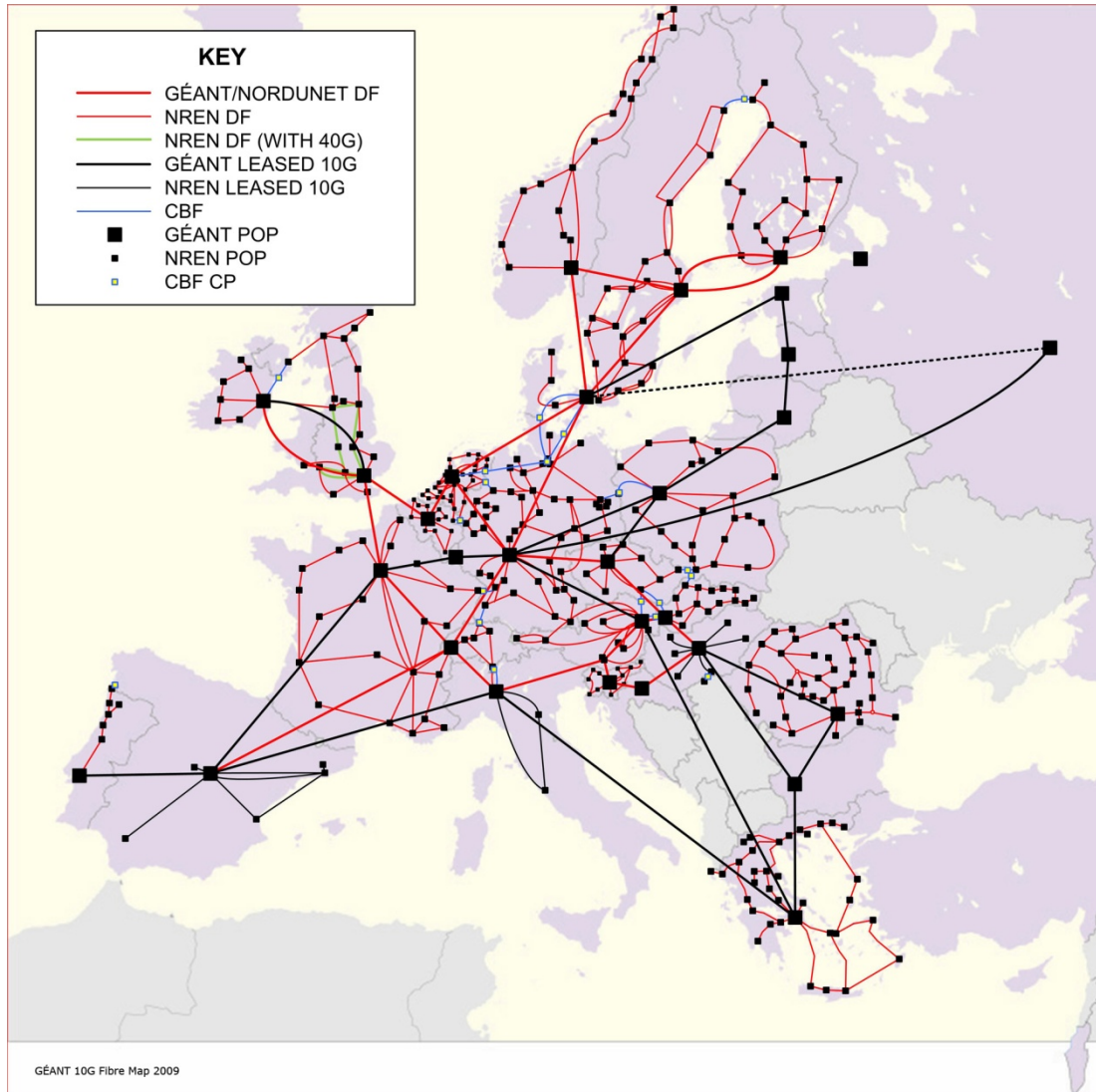
Enjeu industriel



- Transfert de savoir-faire à une PME IDIL (accord de confidentialité, accord de collaboration)
- Embauche d'un premier ingénieur formé par nos soins
- Réalisation de prototypes industriels des équipements (stations de régénération, amplificateurs, système de supervision)
- Fabrication et installation des équipements optoélectroniques sur le réseau REFIMEVE+
- Le suivi en routine du réseau fibré métrologique sera assuré par RENATER
- Un nouveau marché potentiel au niveau international



European Commission
Information Society
and Media





DE NOMBREUSES APPLICATIONS

Enjeux scientifiques principaux

- Comparaisons internationales d'étalons de fréquence
→ Redéfinition de la seconde
- Mesures de différentes constantes fondamentales : R_y , $h/m, \dots$ → Redéfinition du SI
- Amélioration du TAI par raccordement des horloges terrestres et des tests de relativité générale des projets PHARAO-ACES (raccordement au CNES)
- Tests expérimentaux des théories au-delà du modèle standard : tests de variations spatio-temporelles de constantes fondamentales

Autres enjeux scientifiques

- Mesure des fluctuations de la rotation de la Terre par effet Sagnac
- Applications géodésiques possibles. Meilleure définition du géoïde. Actuellement, variation du niveau des océans connu à ± 2 m. Potentiel gravitationnel peut être contrôlé à ± 10 cm
- Référencement de toutes les expériences d'un laboratoire grâce à un laser femtoseconde.
- Spectroscopie moléculaire pour la physique de l'atmosphère par laser femtoseconde
- Sécurisation du GNSS.
- Synchronisation des expériences des grands accélérateurs
- La possibilité de réaliser des expériences inter-laboratoires sans déplacement d'équipement...

