

## Enjeux Industriels et Internationaux

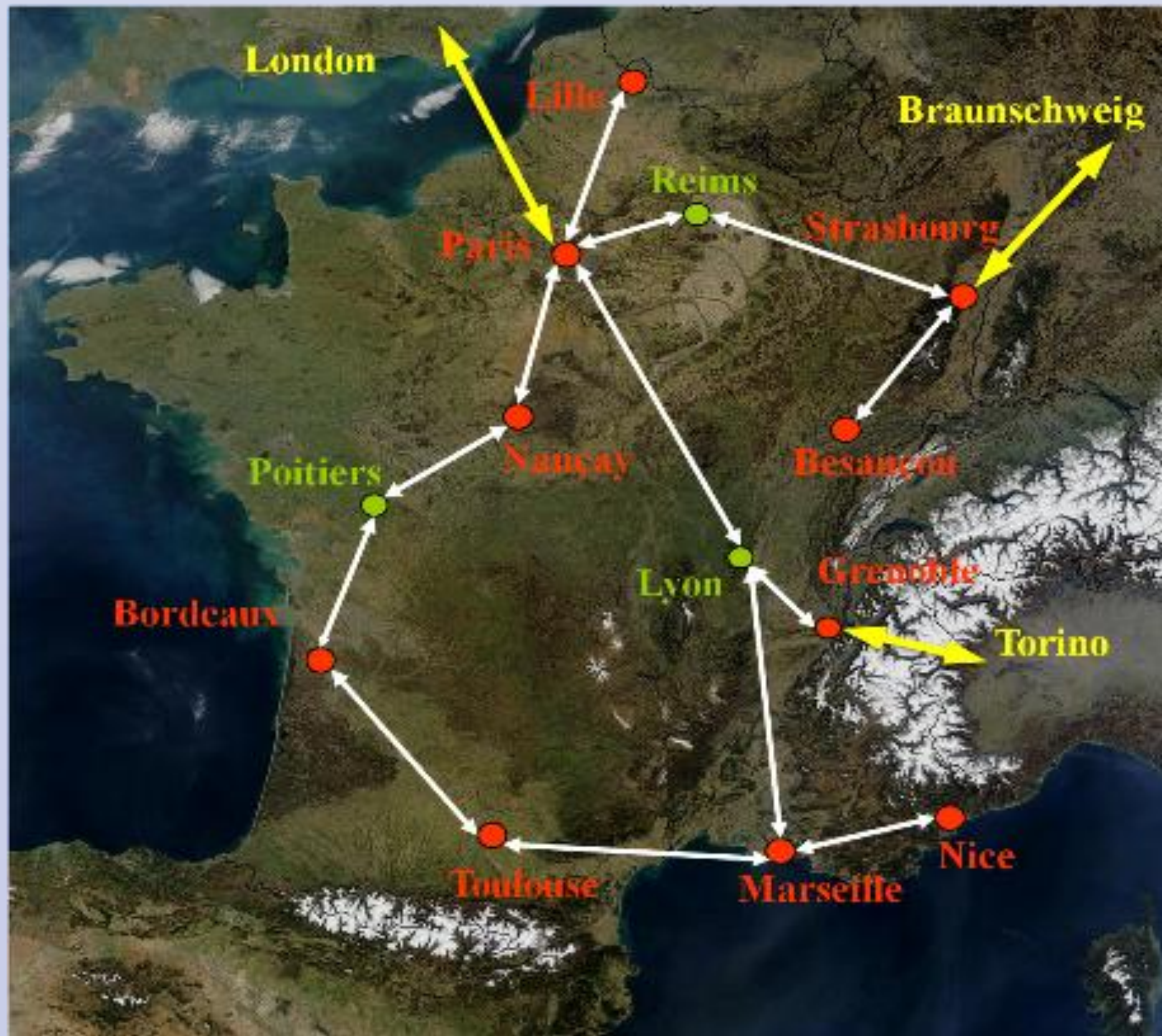
O. Lopez<sup>1</sup>, B. Chanteau<sup>1</sup>, C. Chardonnet<sup>1</sup>, A. Amy-Klein<sup>1</sup>, N. Quintin<sup>1</sup>, A. Bercy<sup>1</sup>, P.E. Pottie<sup>2</sup> et G. Santarelli<sup>2,3</sup>

1. Laboratoire de Physique des Lasers (LPL), CNRS/Université Paris 13, Villetaneuse

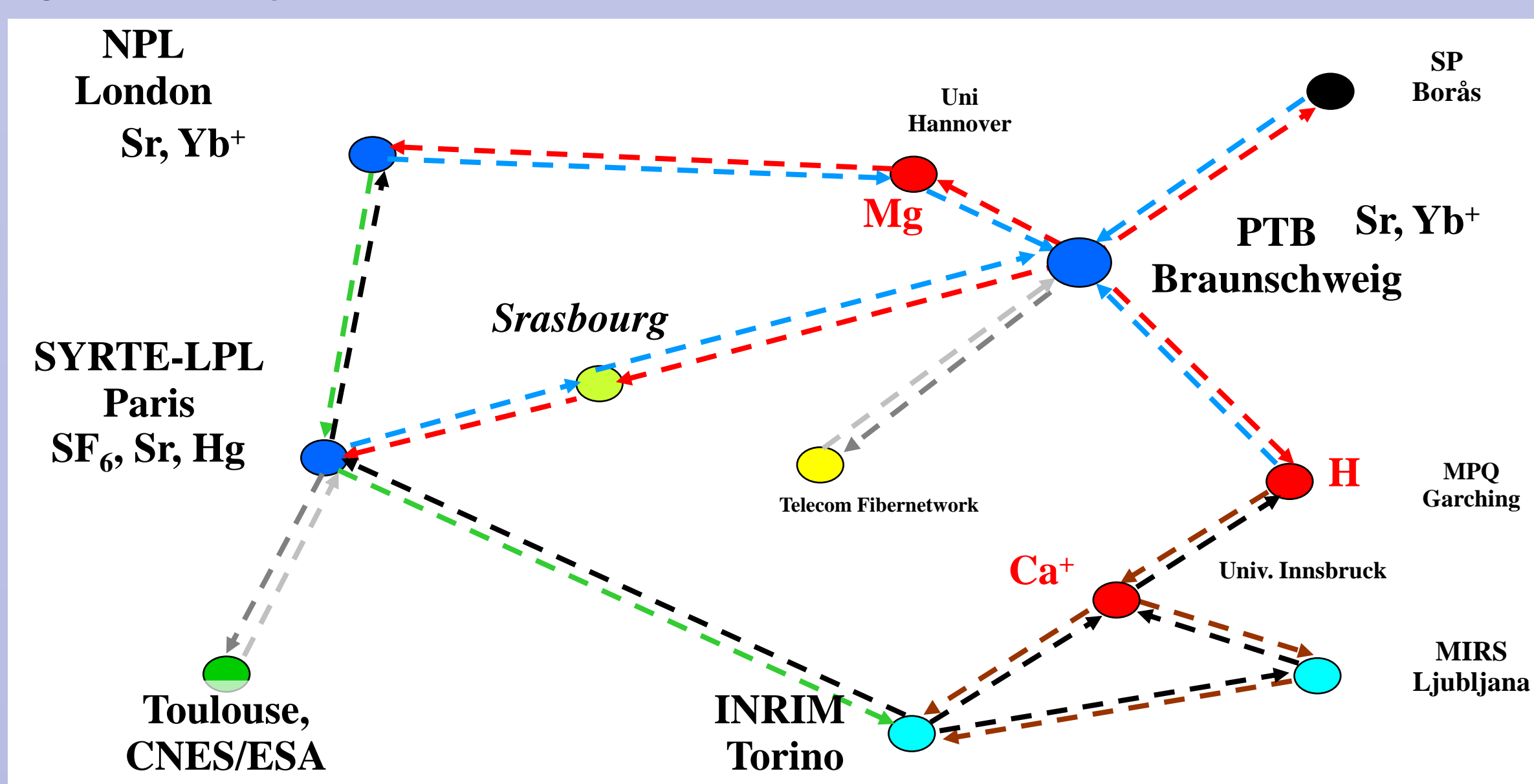
2. LNE-SYRTE, CNRS/LNE/Observatoire de Paris, Paris

3. Laboratoire Photonique, Numérique et Nanosciences (LP2N), CNRS/Institut d'Optique/ Université de Bordeaux I, Bordeaux

### Enjeux Internationaux : réseau fibré continental pour des comparaisons d'horloges atomiques



La sélection de ce projet d'envergure à l'échelle nationale a contribué à stimuler une activité extrêmement riche dans de nombreux pays à travers le monde. Hors de l'Europe, il existe des projets importants aux États-Unis, en Australie, en Chine, au Japon. En Europe, il existe un projet en Italie entre Turin et Florence. Des travaux importants existent aussi au Royaume-Uni, aux Pays-Bas, en Pologne, en République tchèque, en Autriche. Le projet le plus développé se situe en Allemagne où une liaison de 920 km sur une fibre optique dédiée a été réalisée entre Braunschweig et Garching. Le PTB finance la liaison Braunschweig-Strasbourg qui doit permettre de connecter à la fin 2013 Braunschweig, lieu du laboratoire national de métrologie allemand, REFIMEVE+ et donc le SYRTE, laboratoire national français. Nous réaliserons la première comparaison européenne des étalons primaires de fréquence par fibre optique. Ceci ouvrira la voie à des comparaisons avec les horloges des autres pays européens (cf carte ci-contre) ce qui confèrera une avancée importante à la métrologie européenne. Pour ce faire, nous pourrions nous appuyer sur le consortium européen DANTE qui réunit l'ensemble des institutions nationales comme RENATER et qui permet notamment l'interconnexion des réseaux internet nationaux au service de l'enseignement supérieur et de la recherche.



### Enjeux industriels

La distribution de ce signal sur le territoire français est un objectif qui dépasse le cadre de l'activité de laboratoires académiques comme le SYRTE et le LPL. Il devient indispensable de transférer le savoir-faire vers l'industrie. Ceci sera réalisé par une PME IDIL Fibres Optiques, partenaire de cet EQUIPEX. Le rôle de cette entreprise est de réaliser l'étude des prototypes industriels des équipements de ce réseau fabriquer et implémenter les équipements opto-électroniques sur le réseau RENATER assurer la maintenance pendant toute la période du projet. Pour cela, les ingénieurs de la PME seront formés par les laboratoires concepteurs. RENATER, pour sa part assurera la supervision de ce réseau au même titre que l'ensemble du réseau internet dont il a la responsabilité. Il sera ainsi nécessaire de rendre compatible les deux procédés de supervision. C'est un des enjeux majeurs du projet. Ces développements industriels constitueront un investissement pour conquérir des marchés à l'international. On peut en effet prédire que le transfert de temps-fréquence par fibre optique connaîtra des développements extrêmement importants dans les années à venir.

### Motivations

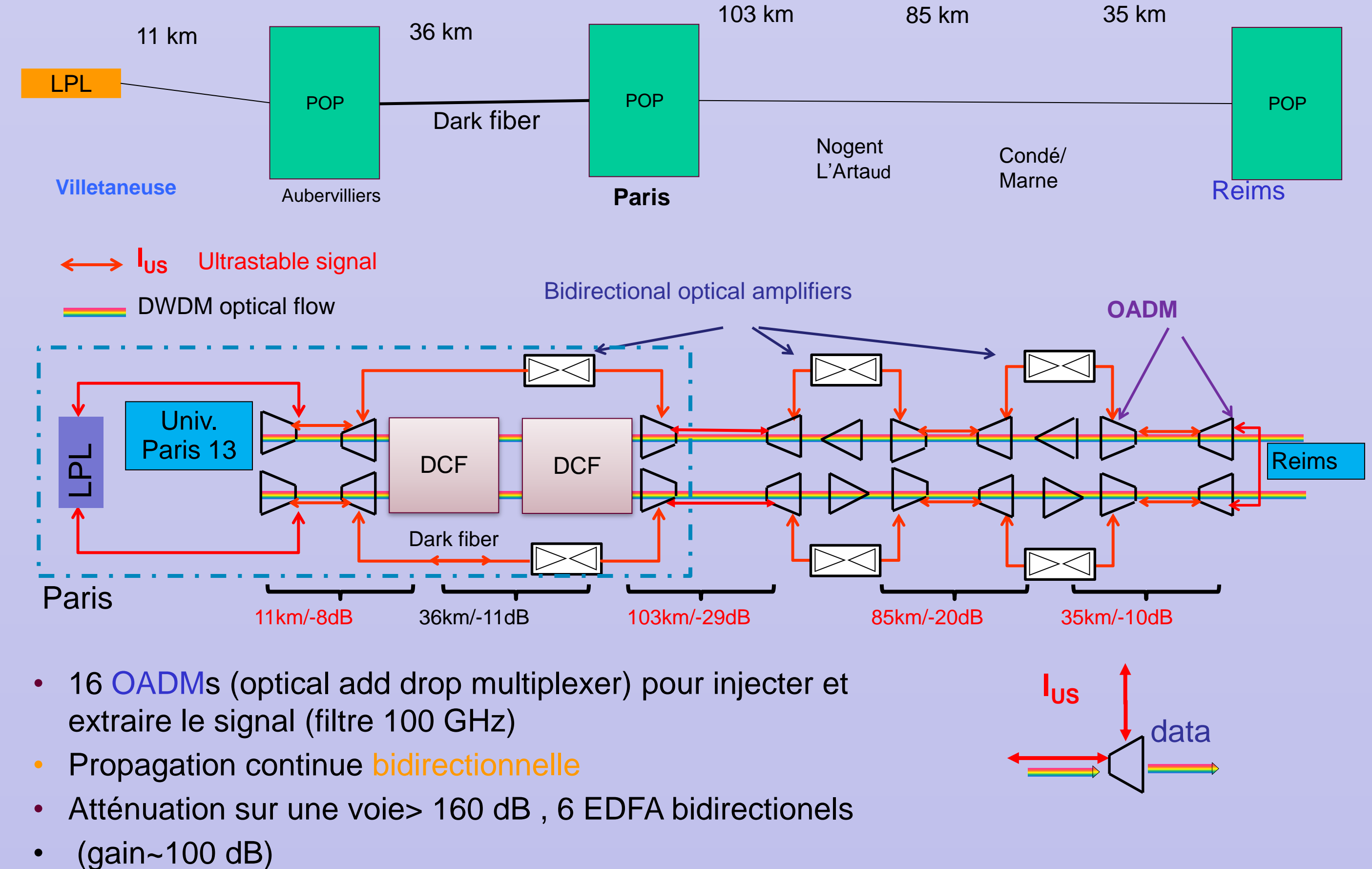
REFIMEVE+ est un EQUIPEX ou Equipement d'Excellence financé dans le cadre des Investissements d'Avenir pour la période 2012-2019.

L'objectif est de distribuer à une vingtaine de laboratoires français une référence de temps-fréquence optique ultra-stable synthétisée au laboratoire SYRTE de l'Observatoire de Paris sans dégradation des performances exceptionnelles de cette référence. Pour cela, on s'appuie sur le réseau internet de RENATER – en utilisant les méthodes de multiplexage-démultiplexage – sur lequel coexistent le trafic de données et le signal ultra-stable à 1542 nm correspondant au canal 44 non-utilisé pour les données.

Le concept a été démontré sur une liaison Villetaneuse-Reims aller-retour de 540 km ou le bruit rapporté par les perturbations sur la liaison fibrée est corrigé électroniquement de façon très efficace. La qualité de la recopie de fréquence de quelques  $10^{-19}$  est environ 100 fois meilleure que les performances des meilleures horloges au monde. Il est la seule alternative au système GPS environ 100 000 fois moins performant pour le transfert de temps-fréquence.

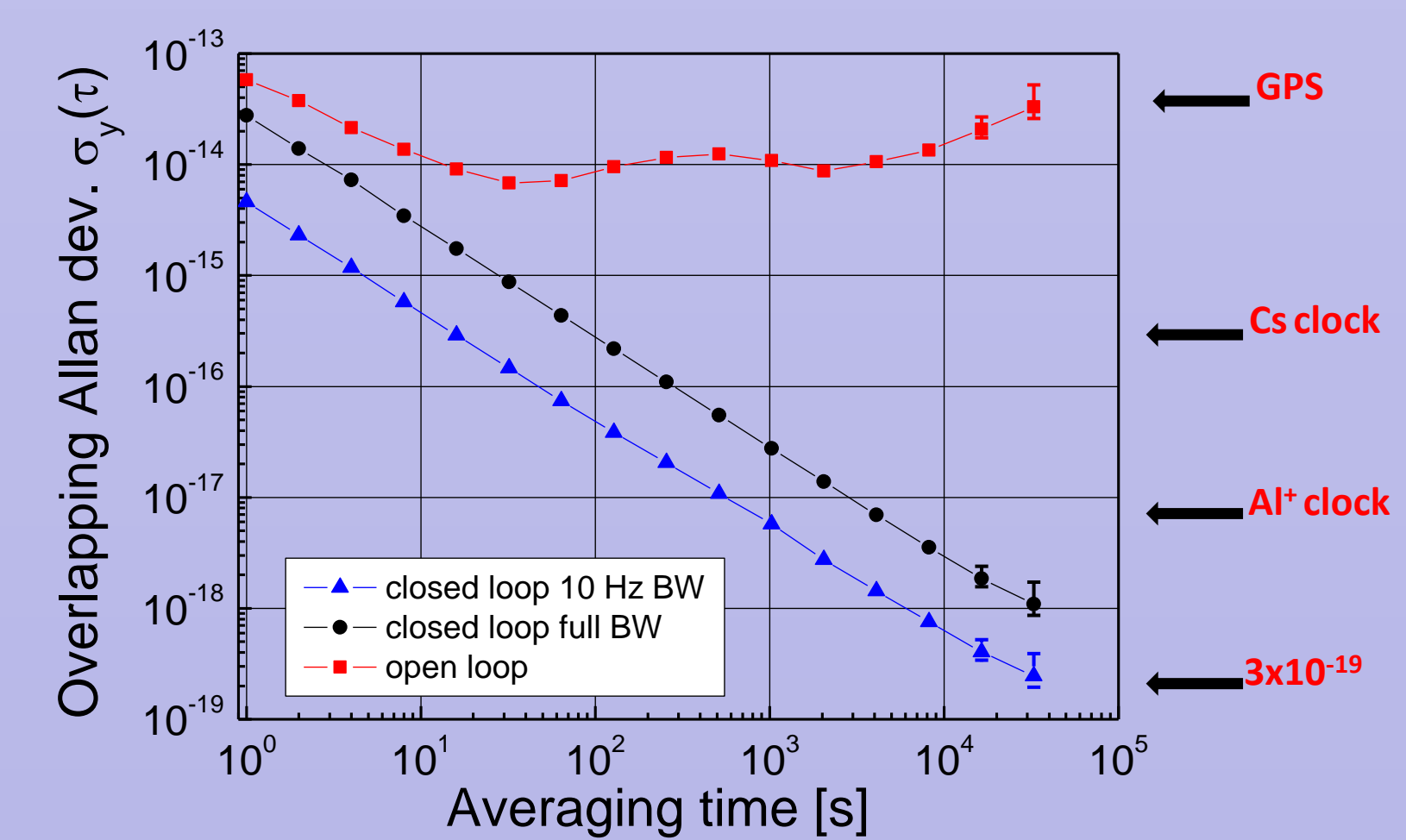
Avec des investissements modestes, les laboratoires connectés disposeront effectivement des meilleures horloges atomiques françaises. Une distribution à l'échelle continentale peut dès lors être envisagée car de nombreux pays s'engagent dans cette voie.

### Architecture et stabilité du lien optique



### Transfert de fréquence optique via le réseau internet de RENATER

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



### Perspectives et applications

La construction de REFIMEVE+ prendra environ 3 ans. Les applications scientifiques sont nombreuses :

- la comparaison des horloges développées par les laboratoires connectés
- La comparaison d'horloges terrestres et spatiales au travers du projet PHARAO-ACES (2015-2018) qui permettra de vérifier la relativité générale à un niveau de précision jamais atteint.
- Des mesures de constantes fondamentales
- Une recherche d'une variation des constantes fondamentales qui permet d'explorer les modèles de physique au-delà du modèle standard
- Des applications géodésiques comme la mesure des fluctuations de la rotation de la Terre par effet Sagnac
- Des expériences entre laboratoires auxquelles on n'a pas encore pensé.

Par ailleurs, REFIMEVE+ est un réseau ouvert qui permettra d'accueillir d'autres partenaires volontaires académiques ou industriels. Des applications dans le domaine de la synchronisation ultra-précise pourraient avoir des retombées industrielles importantes.