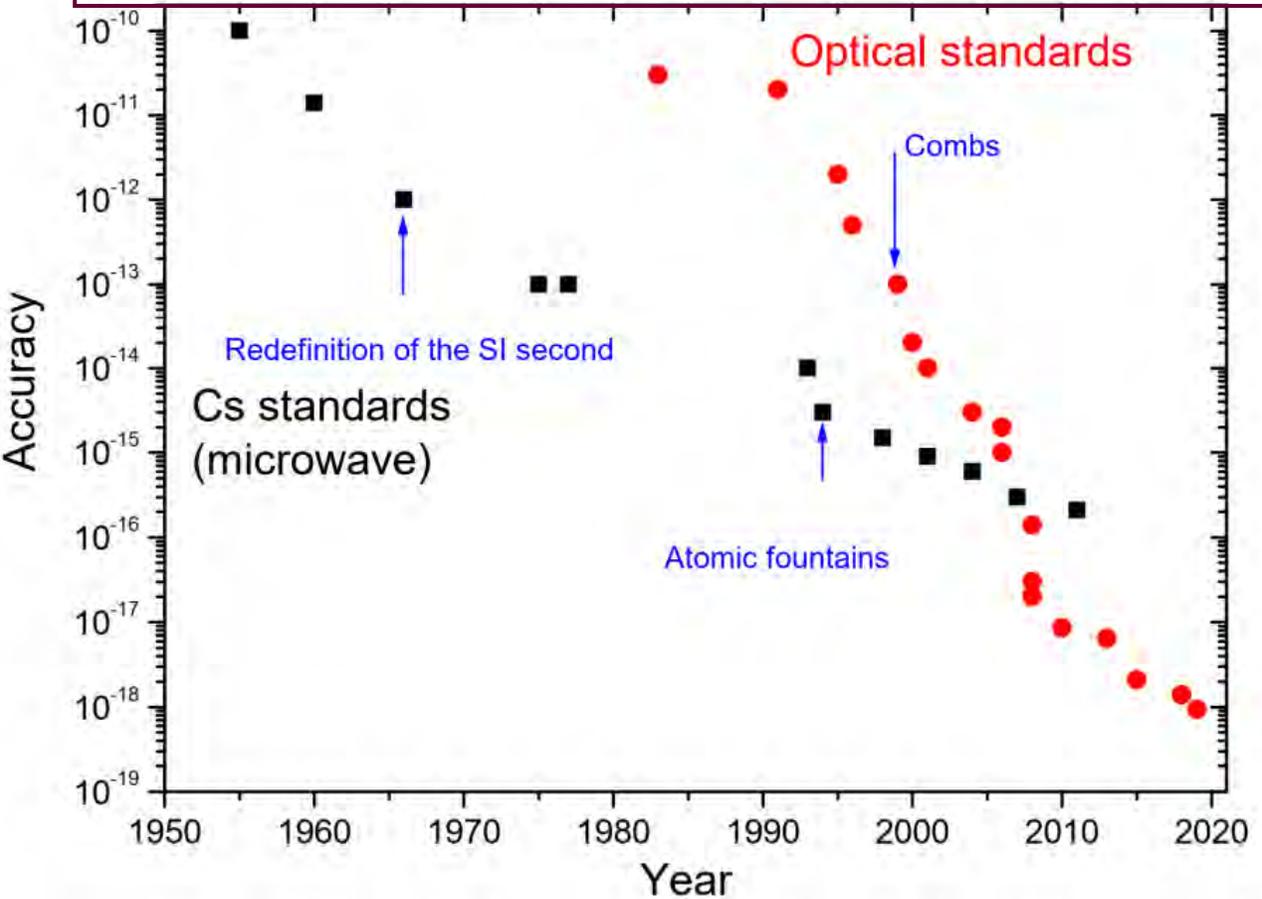


L'infrastructure de recherche REFIMEVE et sa possible extension européenne

Christian Chardonnet, PI (CNRS, LPL) et Paul-Eric Pottie, Co-PI (CNRS, SYRTE),

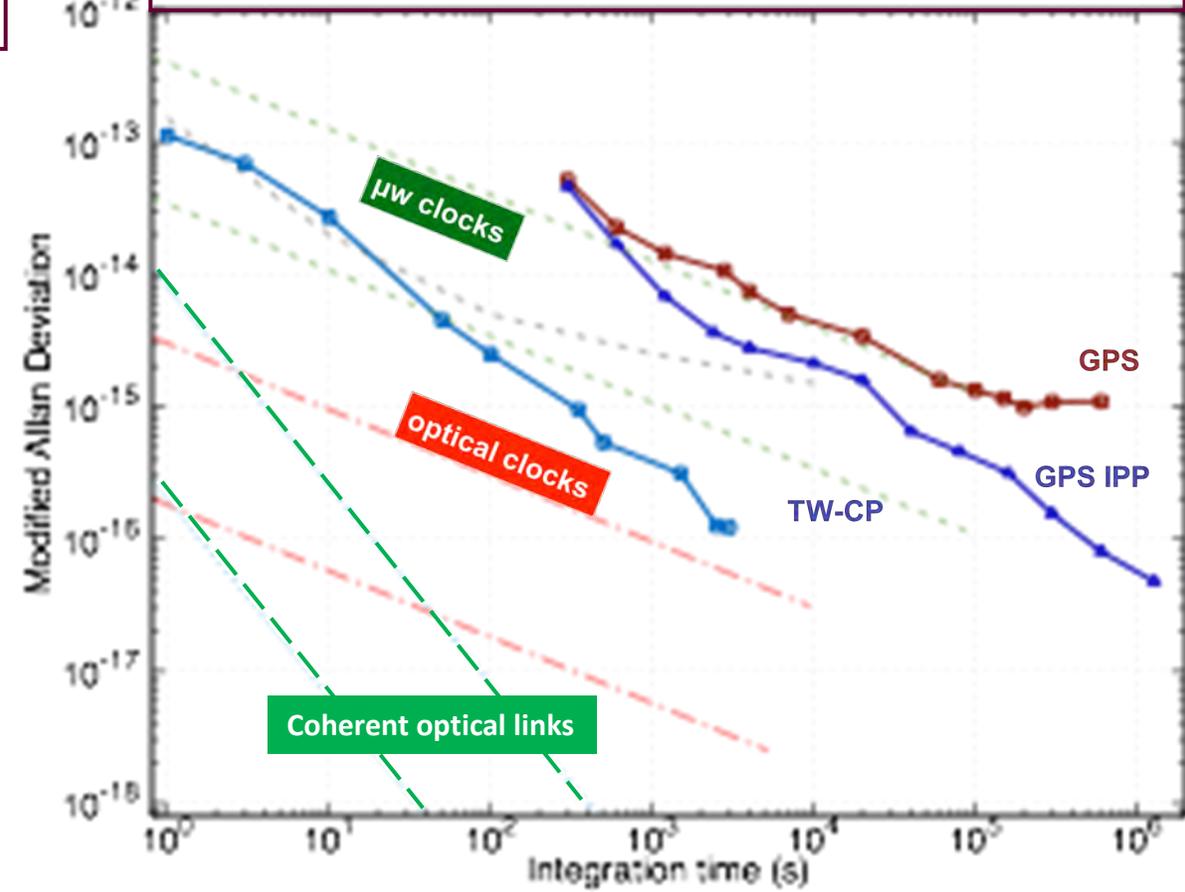
Les révolutions dans le champ du temps-fréquence

Progrès des standards de fréquence au cours du temps



3 révolutions dans le domaine des standards de fréquence:
 1/ Refroidissement des atomes par laser 2/Peignes de fréquence
 3/avènement des horloges optiques ; $10^{-17} - 10^{-18}$

Performances des comparaisons de fréquence



Révolution dans le domaine des comparaisons de fréquences :
 Les liens optiques cohérents surpassent les méthodes GPS et
 TW de plus de 4 ordres de grandeur $10^{-19} - 10^{-20}$



PIA3 T-REFIMEVE 9,9 M€
(PIA1 REFIMEVE+ 6,7 M€)

T-REFIMEVE :

En plus de la fréquence optique
ultra-stable à 1542,14 nm :

- Une échelle de temps
- Une radiofréquence
- connectées à l'UTC(OP)
- A court terme, déploiement de switches white rabbit sur l'ensemble du réseau REFIMEVE

T-REFIMEVE et la distribution de signaux temporels, une ouverture scientifique majeure

- **Résolution sub-femtoseconde à une seconde de temps de mesure en optique, résolution 10 picosecondes à une seconde de temps de mesure en radiofréquence / temps.** Cela permet :
- de comparer les meilleures horloges actuelles et celles à venir des 10 prochaines années « comme si elles étaient l'une à côté de l'autre » (réseau d'horloges)
- la recherche de corrélations entre des instruments de nature différente sur de grandes lignes de base (réseau de capteurs).
- des mesures intégrées avec une résolution inédite (réseau comme capteur)

Impact de REFIMEVE : des applications scientifiques très larges

- **Applications des utilisateurs connectés**

- Métrologie des fréquences, comparaison d'horloges européennes et redéfinition de la seconde, élaboration de l'échelle de temps internationale
- Tests de physique fondamentale : par exemple, variation des constantes fondamentales, recherche de matière noire, tests de relativité générale
- Spectroscopie de précision : physico-chimie de l'atmosphère, base de données, sciences de l'univers, physique moléculaire fondamentale
- Synchronisation pour les observations astrophysiques (VLBI), pour la physique des hautes énergies (accélérateurs)

- **Le réseau fibré en tant que champ d'expérimentation**

- Le réseau en tant que capteur. Projet européen SENSEI : effet Sagnac, effets sismiques, effets thermiques, ...
- Géodésie et suivi du niveau des mers (réchauffement climatique) : horloges transportables
- Synchronisation des réseaux télécom pour le très haut débit → intérêt pour RENATER
- Communications quantiques (TF-QKD)

- **La R&D pour le réseau REFIMEVE... et d'autres applications**

- Photonique : caractérisation du bruit des oscillateurs, stabilisation de lasers

Les 32 laboratoires partenaires de T-REFIMEVE

<i>Acronyme</i>	<i>Location</i>	<i>Statut</i>	<i>Acronyme</i>	<i>Localisation</i>	<i>Statut</i>	<i>Acronyme</i>	<i>Localisation</i>	<i>Statut</i>
LPL	Villetaneuse	INP	ARTEMIS	Nice – 06	INSIS	ISMO	Orsay – 91	INP
SYRTE	Paris	INSU	FEMTO-ST	Besançon – 25	INSIS	LAC	Orsay – 91	INP
RENATER	Paris	IR*	INSTITUT	Rennes – 35 &	INSIS	LCAR	Toulouse – 31	INP
			FOTON	Lannion – 22				
SOLEIL	Saclay – 91	IR*	IRCICA	Lille – 59	INSIS	LCF	Palaiseau – 91	INP
ESRF	Grenoble – 38	IR*	LAAS	Toulouse – 31	INSIS	LIPHY	Grenoble – 38	INP
IRAM	Plateau de Bure – 38	IR*	LPGP	Orsay – 91	INSIS	LKB	Paris – 75	INP
CNES	Toulouse – 31	EPIC	PIIM	Marseille – 13	INSIS	LP2N	Talence – 33	INP
SHOM	Brest -29	EPA	GEOAZUR	Nice – 06	INSU	LPENS	Paris – 75	INP
APC	Paris – 75	IN2P3	USN-Nancay	Nançay – 45	INSU	MPQ	Paris – 75	INP
IJCLab	Orsay – 91	IN2P3	UTINAM	Besançon – 25	INSU	PhLAM	Lille - 59	INP
LPNHE	Paris – 75	IN2P3	MONARIS	Paris – 75	INSU			

Porteurs opérationnels

En gras, les 22 laboratoires déjà raccordés à REFIMEVE

De nombreuses perspectives de raccordement

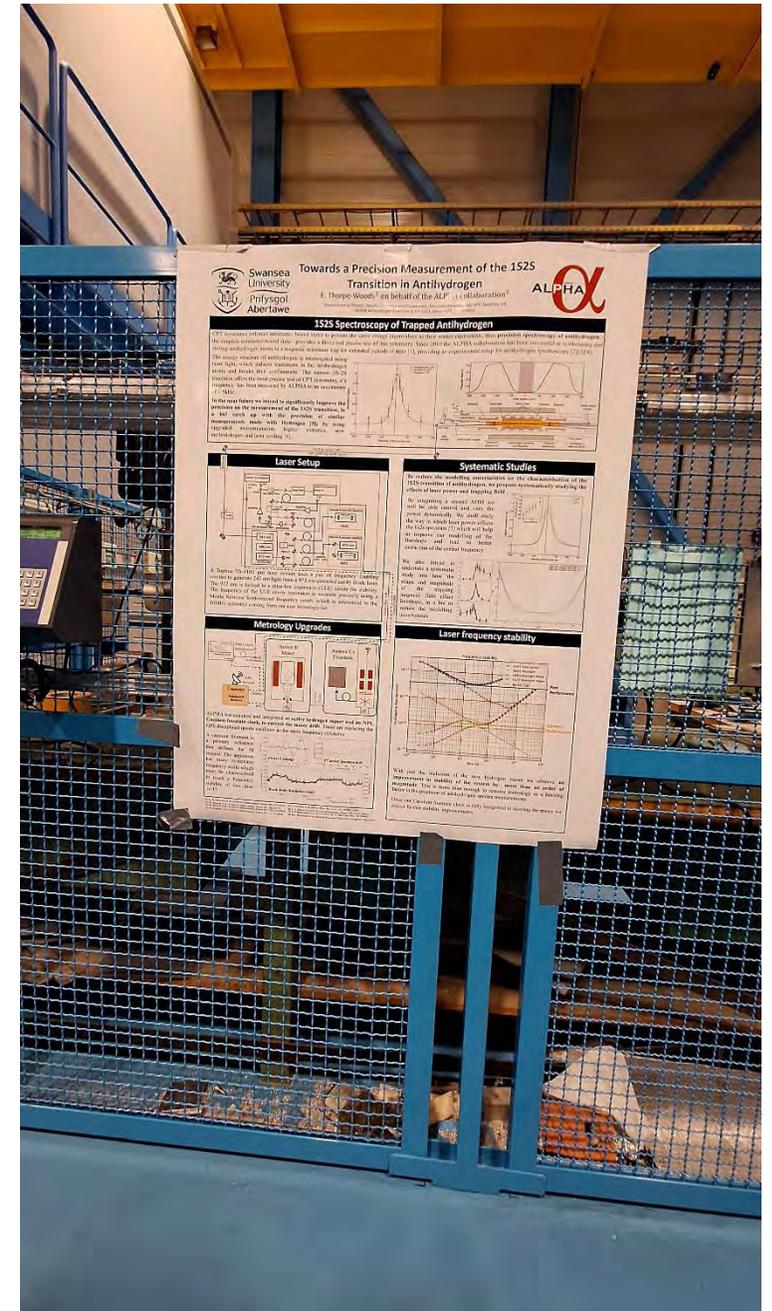
<i>Acronym</i>	<i>Location</i>	<i>Statut</i>	<i>Acronyme</i>	<i>Localisation</i>	<i>Statut</i>
LSM	Modane – 73	CNRS/UGA	DGA-MI	Bruz – 35	Min. Défense
IPAG	Saint-Martin d'Hères – 38	CNRS/UGA	ONERA	Palaiseau - 91	Min. Défense
LAB	Talence – 33	CNRS/UB	BIPM	Sèvres – 92	OSI
LSCE	Saint-Aubin – 91	CEA/CNRS/UVSQ	Obs. Royal Belgique	Bruxelles (BE)	
Géo-OCEAN	Plouzané – 29	CNRS/UBO	CERN	Genève (CH)	OSI
LSBB	Rustrel – 84	CNRS/U. Avignon			
EOST	Strasbourg - 67	CNRS/UNISTRA	ORANGE Innovation	Lannion – 22	Entreprise
IEMN	Lille - 59	CNRS/U. Lille	Thalès TRT	Palaiseau – 91	Entreprise
L2n	Troyes - 10	CNRS/UTT	Naval Group	Brest – 29	Entreprise
Station Biologique	Roscoff - 29	CNRS/Sorbonne U	Nokia	Massy – 91	Entreprise
			Nokia/ASN	Les Ulis - 91	Entreprise

Collaboration avec le CERN : WR longue distance
 Fourniture du signal REFIMEVE à l'expérience ALPHA
 → phase pilote avant une collaboration plus formalisée

Exemple emblématique : l'expérience alpha du CERN



Mesure de la gravité sur de l'anti-matière.
Expérience phare du CERN reposant sur
une horloge atomique achetée au NPL (UK)

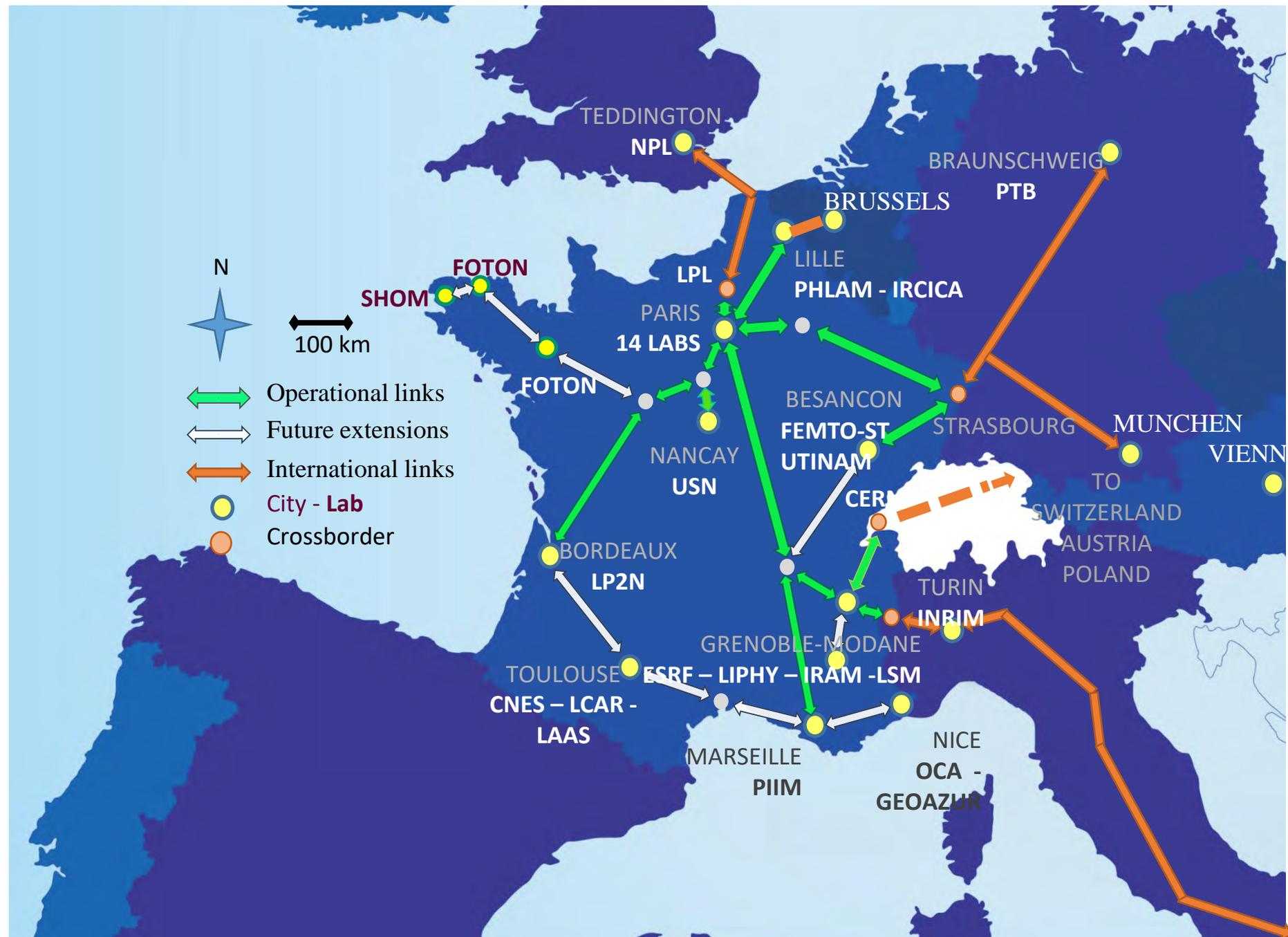




REFIMEVE : un réseau de fibres optiques opérationnel de 2x4000 km pour la distribution de signaux temps & fréquences ultra stables et raccordés à l'UTC(OP).

Ces signaux co-existent avec le trafic de données du réseau RENATER depuis 15 ans.

Unique au monde. Réseau utilisé pour toutes les comparaisons de fréquences entre les horloges optiques (FR, DE, UK, IT)



Les points forts de REFIMEVE

- **Mutualisation d'investissements nationaux très lourds** : le réseau RENATER et les outils nationaux de métrologie temps-fréquence (LNE-SYRTE), avec un **objectif de service aux utilisateurs accessible 7J/7 et simultanément à tous**.
- **REFIMEVE, instrument unique par son envergure et sa qualité de service.**

- *REFIMEVE a généré une filière industrielle (μ Quans/Exail, Lumibird, Syrlinks) exportatrice en plein développement. Liens avec Safran pour le WR. Avance technologique considérable toujours en dynamique. Les équipements produits sont les seuls qui sont supervisés à distance.*
- *La technologie française est en passe de s'imposer à l'échelle européenne.*



Un réseau d'industriels développant
les technologies REFIMEVE

Amplificateurs bidirectionnels par Keopsys (Lannion - 22) devenu Lumibird après fusion avec Quantel



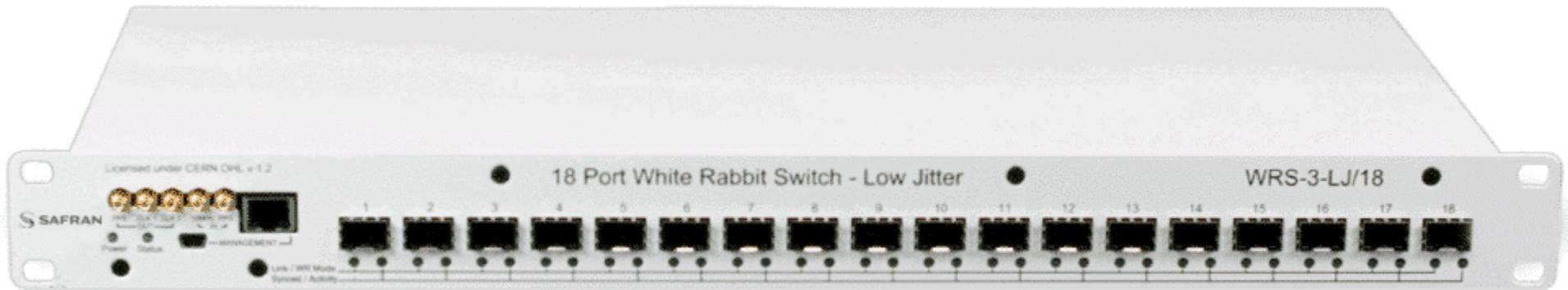
Transfert de savoir-faire par REFIMEVE
Produit exporté à travers le monde

Station de régénération laser (RLS) développée par μ quans
(Talence – 33), rachetée par iXblue, rachetée par Exail



Produit-phare de REFIMEVE, Transfert de savoir-faire
Produit exporté à travers le monde, en passe de devenir
un standard européen et international

Switch White Rabbit développé par Safran suite au rachat d'une start up Sevensol (Grenade – SP)



Inclusion de plusieurs savoir-faire REFIMEVE dans le cadre de la *White Rabbit Collaboration* pilotée par le CERN



Un réseau d'industriels français intéressés par
la technologie REFIMEVE

Potentiel d'innovation générée par REFIMEVE et sa technologie

- Bénéficier des signaux pour accélérer et améliorer la mise au point de nouveaux produits dans les champs :
 - Photonique
 - Technologies quantiques (communication et capteurs)
- Concerne autant des PME (ex: Silentsys) que des grands groupes (ex: Nokia)

Un contexte géopolitique favorable à la communication par liens fibrés

- **Les systèmes GNSS** sont fragilisés par les menaces de brouillage électromagnétique, par le « leurrage »
- La dépendance aux GNSS apparaît trop forte → besoin de résilience et donc de solutions alternatives
 - intérêt de la DGA, de Naval Group, d'ORANGE pour le transfert de référence de temps par fibre optique



ESFRI Roadmap 2026

Construction of an ESFRI project:

Fiber-based Optical netwoRk for European Science and Technology
—
FOREST



Historical and European context

- H2020 InfraInnov CLONETS – CLOck NETwork Services (2017-2019) led by Paris Observatory
- H2020 InfraDev CLONETS-DS (2020-2022) led by GéANT



Positioning of the European Infrastructure

Do not limit yourself to T&F applications of optical fiber networks

Federate all scientific and technological applications developed using optical fiber networks

4 axes:

- T&F applications
- Quantum communications
- Optical fiber networks as sensors
- Very high speed data traffic



FOREST

18 contacted partners

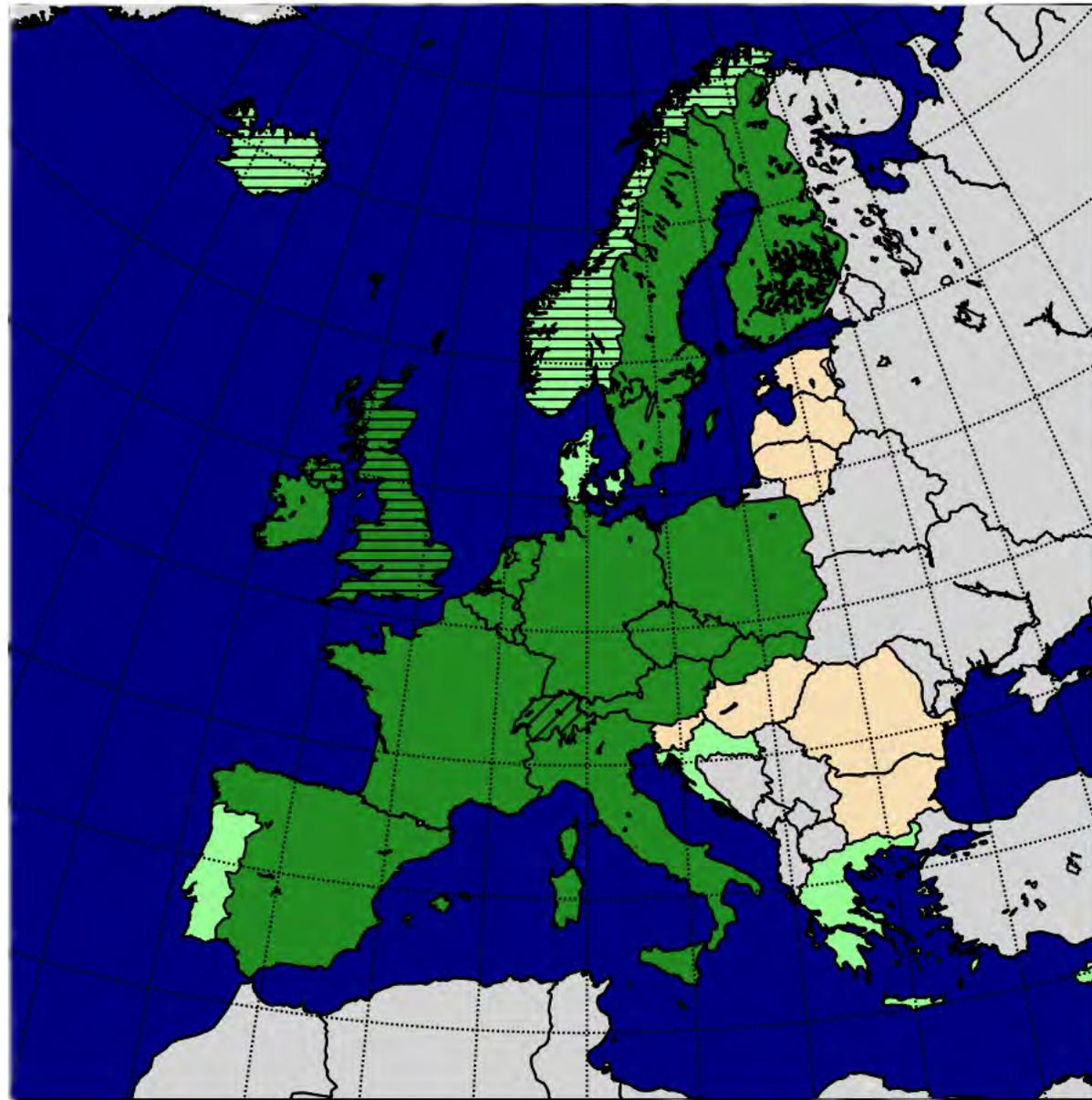
AT, BE, CZ, DE, ES, FI, FR, IE, IT, LU, MT, NL, PL, SE, SK, UK.

(+ CH) + CERN

7 other possible partners

CY, DK, EL, HR, ISL, NO, PT

Contacted partners
Possible partners
Out of UE



- AUT: Austria
- BEL: Belgium
- BGR: Bulgaria
- HRV: Croatia
- CYP: Cyprus
- DNK: Denmark
- EST: Estonia
- FIN: Finland
- FRA: France
- DEU: Germany
- GRC: Greece
- HUN: Hungary
- IRL: Ireland
- ITA: Italy
- LVA: Latvia
- LIT: Lithuania
- LUX: Luxembourg
- MLT: Malta
- NLD: Netherlands
- POL: Poland
- PRT: Portugal
- ROU: Romania
- SVK: Slovakia
- SVN: Slovenia
- ESP: Spain
- SWE: Sweden
- GBR: United Kingdom
- NOR: Norway
- ISL: Iceland
- CHE: Switzerland

+ *Specific role of GEANT*



Project highlights

An original positioning in the landscape of European infrastructures

A very broad geographical coverage

A very highly multidisciplinary dimension: several SWGs are involved: Physical Science and Engineering (PSE), Environment (ENV) and Data, Computing and Digital Research Infrastructures (DIGIT), Possibly Social Sciences & Humanities (SSH), and Health & Food (HF)

Strong complementarity and added value to several existing European research infrastructures: EPOS, EMSO, etc.



F O R E S T

Merci de votre attention !