

# Assemblée générale de l'Equipex REFIMEVE+ 30 novembre 2020

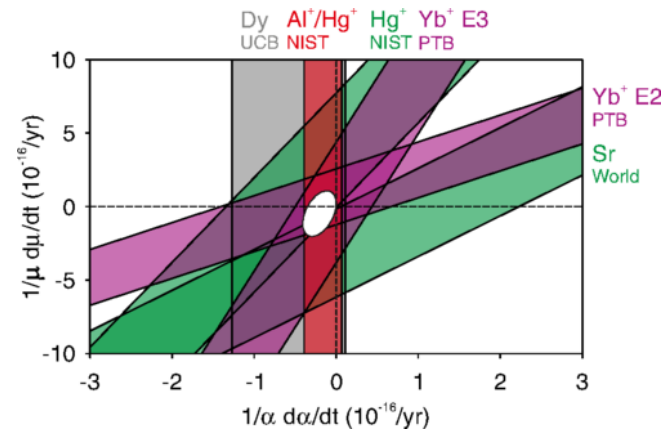


# Programme

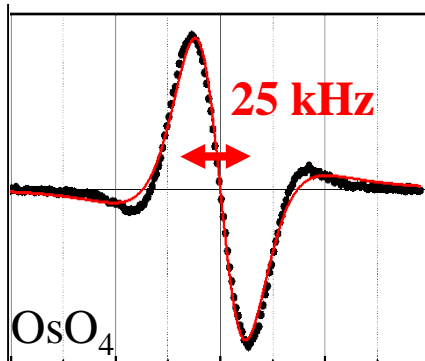
9:00-9:25	Equipex Refimeve+ : bilan et évolution	A. Amy-Klein (LPL)
9:30-10:00	Progress on the project and deployment of the network	E. Cantin (LPL)
10:15-10:40	REFIMEVE–referenced molecular spectroscopy	S. Kassi (LIPHY)
10:45-11:10	Operation and Supervision of the first industrial-grade coherent optical fiber link for optical frequency dissemination	M. Rabault (Muquans)
11:15-11:35	Arrival of the signals in laboratories	E. Cantin (LPL)
11:40-12:15	Table ronde - échanges avec l'audience	
13:30-13:55	European connections of REFIMEVE: a clock network and some applications	P.-E. Pottie (Syrte)
14:00-14:25	Updates of RENATER 6 network and REFIMEVE monitoring tools	N. Quintin (RENATER)
14:30-14:55	Fundamental constants from hydrogen molecular ion spectroscopy	L. Hilico (LKB)
15:00-15:25	Multiple frequency comb generation in optical fibers	A. Mussot (PHLAM)
15:45-16:10	Astronomica Aperture Synthesis by Heterodyne Interferometry in the Mid-IR	J.-P. Berger (IPAG)
16:15-16:40	Long-haul White Rabbit for fundamental physics research, radio astronomy, and navigation	J. Koelemeij (VUA)
16:45-17:10	Distributed acoustic sensing on telecom cables : applications to Earth science and environment.	D. Rivet (GeoAzur)
17:15-17:45	REFIMEVE, une nouvelle infrastructure de recherche ?	C. Chardonnet (LPL)
17:45-18:00	Conclusion	A. Amy-Klein (LPL)

Objective : transfer of a clock signal (optical frequency reference) to more than 20 labs in France for various precision measurements

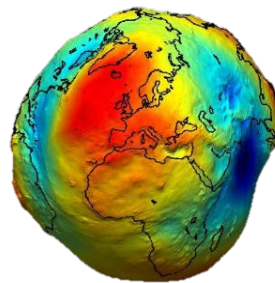
- Atomic and molecular spectroscopy
- Laser frequency stabilisation, stability assessment
- Tests of fundamental physics
- Chronometric geodesy
- Reference system for astrophysics
- ...



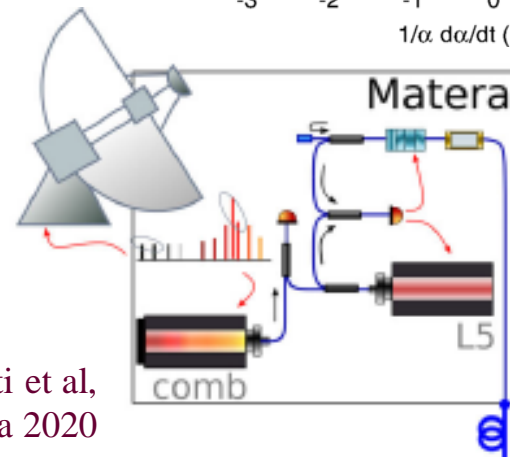
Huntemann et al,  
PRL 2014



Argence et al, Nat. Phot. 2015

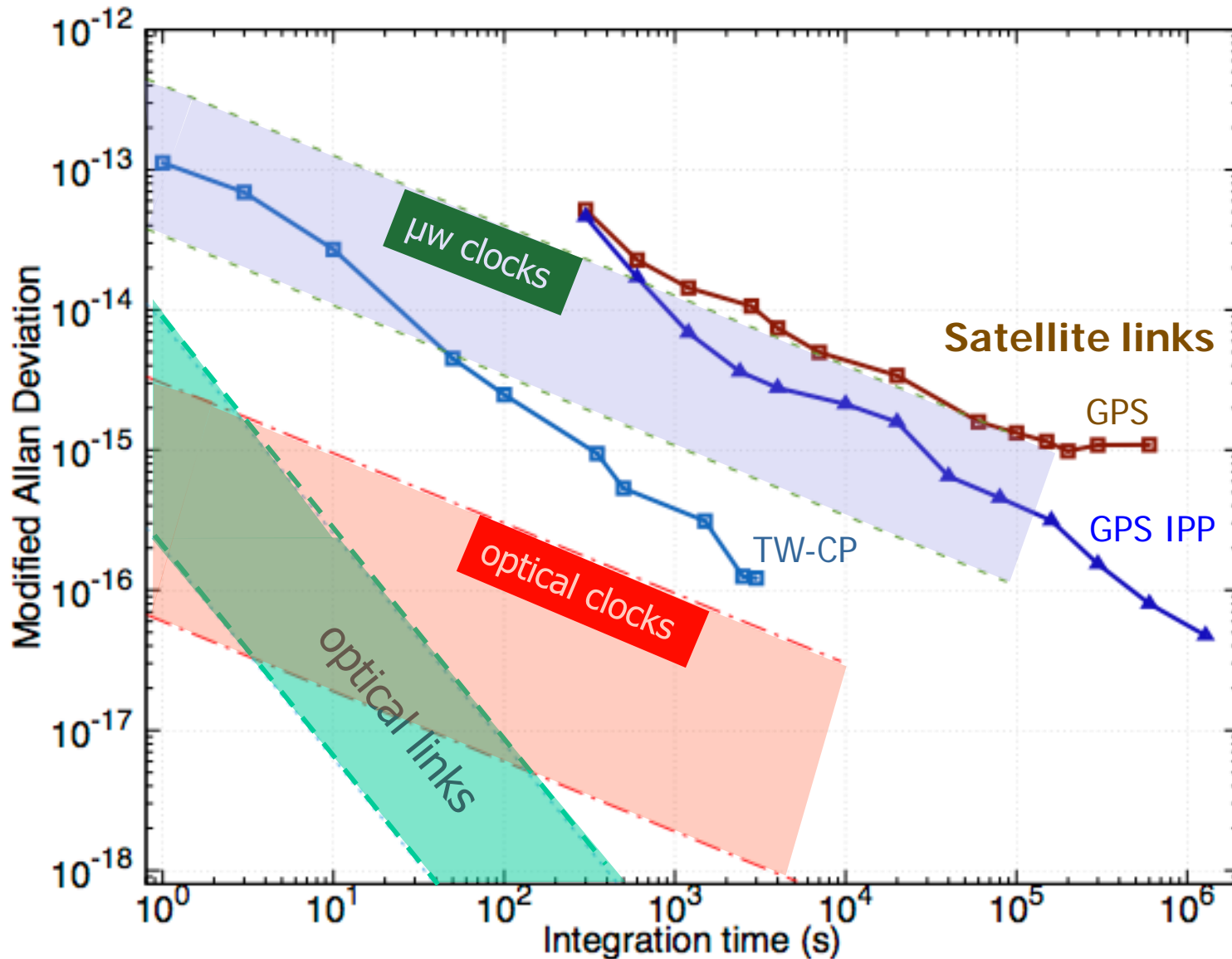


Takano et al., Nat. Phot 2016  
Lion et al., J Geod, 2017

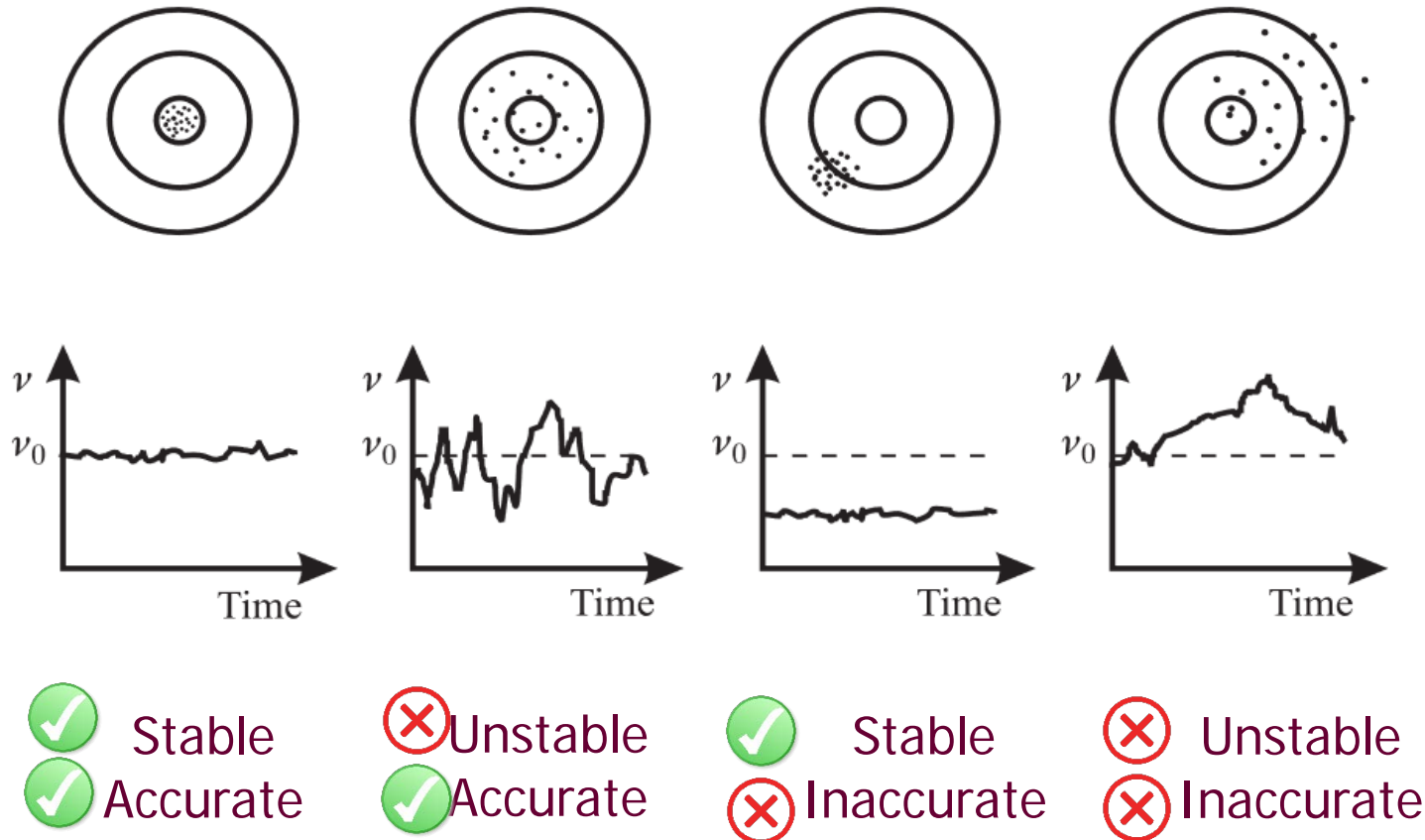


Clivati et al,  
Optica 2020

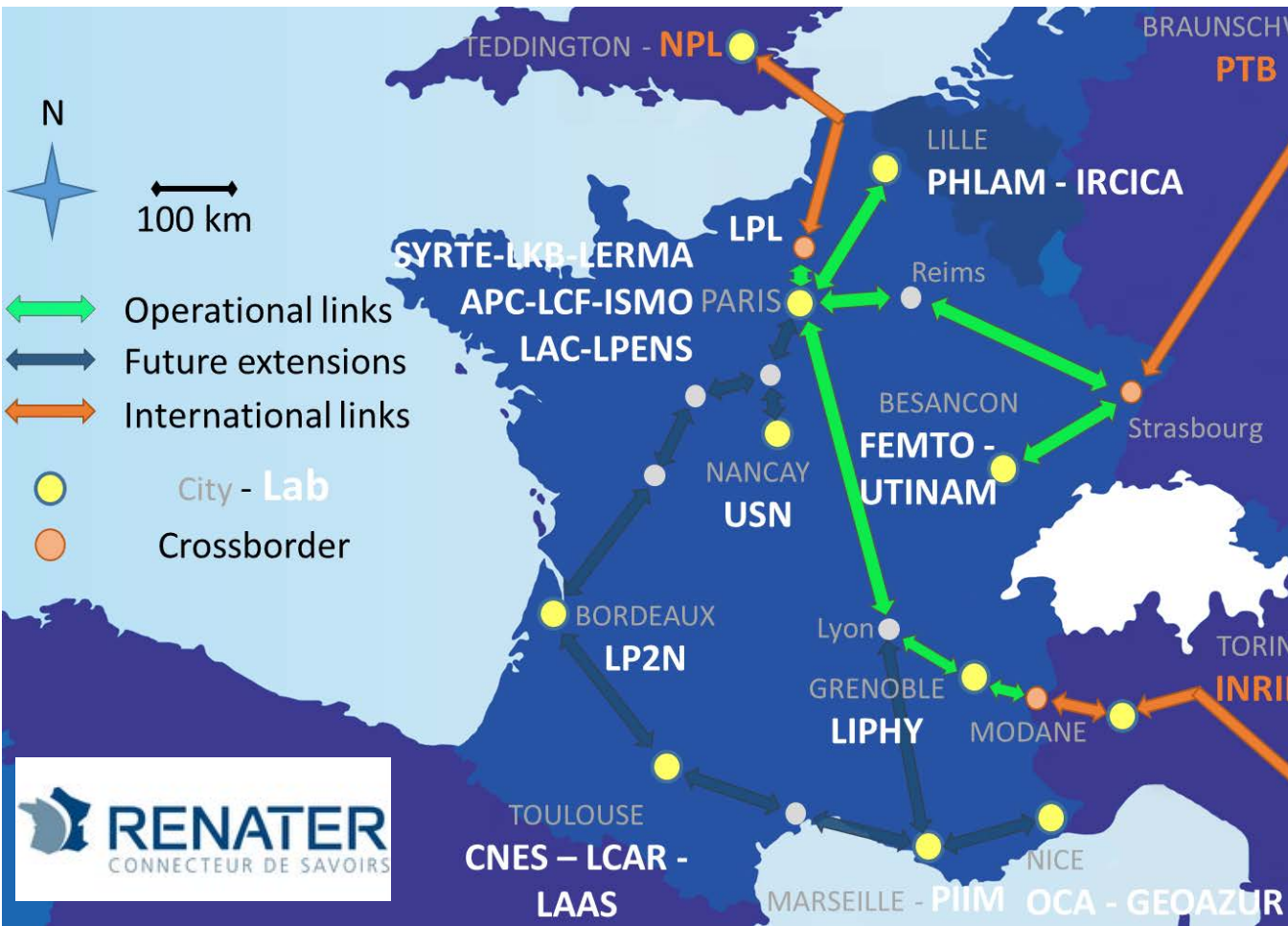
# Motivation



# Basics in metrology



# Network deployment



Links	Calendar
Regional - Île de France	Ongoing – early 2021
Paris - Lille	Operational
Paris - Strasbourg	Maintenance
Strasbourg - Besançon	Operational
Paris - Grenoble - Modane	Operational
Paris - Marseille	2021
Paris - Bordeaux	2021
Paris - Toulouse	2021
Toulouse - Marseille	2021
Marseille - Nice	2021

## **Avancée du déploiement :**

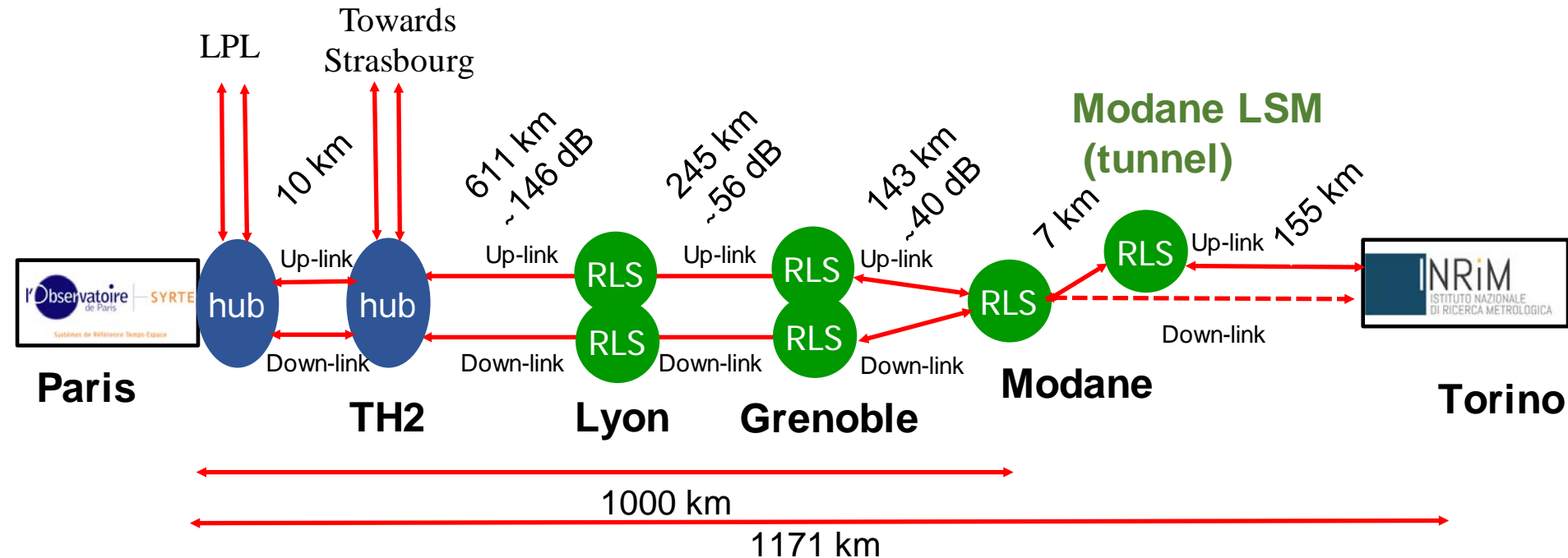
- les stations sont toutes construites depuis + d'1 an
- révision des stations d'extraction en cours, une station est prête, les autres seront intégrées dans les prochaines semaines
- déploiement selon le calendrier de RENATER6, avec plusieurs difficultés (en particulier à Lyon et en Ile de France)
- lien Paris-Grenoble mis en service en février 2020
- changement de fibres et déménagement à Strasbourg en cours

## **En cours**

- ✓ Lien Paris-Strasbourg à remettre en opération
- ✓ Déménagement Lyon2 vers LyonNetcenter démarré en novembre, cela déblocuera le déploiement vers Marseille
- ✓ Avancées en Ile de France (Odéon et Orsay)
- ✓ Freiné par Covid

# Paris-Lyon-Grenoble-Modane link

- Deployment and operation of the Paris-Modane link, up to Italian border





# Derniers résultats scientifiques

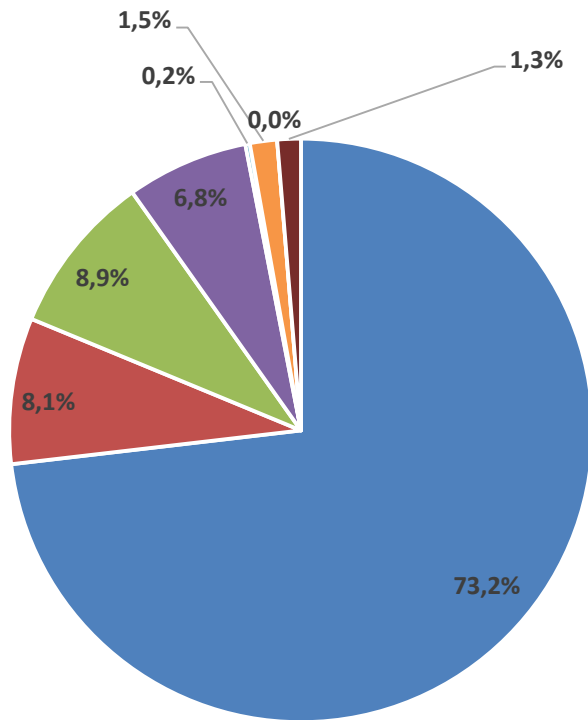
- Mars 2020 : campagne de comparaison d'horloges atomiques tripartite, interrompue par le confinement
  - Mesure de température par thermométrie optique : interrompue par le confinement et plusieurs difficultés
  - Mesures des performances d'une référence de fréquence optique à 1,5  $\mu\text{m}$  développée pour l'étude de peignes de fréquences à semi-conducteurs
  - Comparaison des cavités de Femto-ST (Besançon) et du Syrte
- Octobre 2020 : Spectroscopie du méthane au LIPHY à Grenoble
  - Voir l'exposé de Samir Kassi

# Contexte européen

- Projets européens
  - ROCIT : comparaison des horloges européennes par lien optique
    - Campagne en juin 2019 et mars 2020, comparaison des horloges et des cavités ultrastables, variation de  $\alpha$  et recherche de matière noire
  - TIFOON : transfert de temps et fiabilisation des liens
  - CLONET-Design study, étude de conception d'un réseau européen de liens optiques, vers la création d'une infrastructure de recherche (ESFRI)
- Développements de liens européens (voir exposé P E Pottie)
  - Lien Paris-Turin
  - En projet :
    - lien Paris-CERN,
    - lien Cern-Pologne : lien unidirectionnel avec prêt de RLS

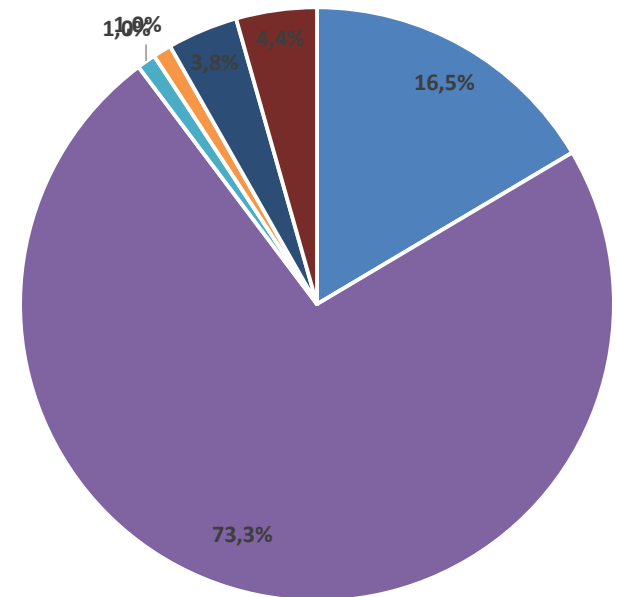
# Budget de Refimeve+

## Tranche 1 4 M€ investissement dépensé



- Equipements
- Reversement CNRS
- Personnels
- Prestations de service externes
- Missions
- Autres dépenses externes
- Frais de gestion
- Solde disponible

## Tranche 2 2,7 M€ fonctionnement reliquat 120 k€ pour finaliser le déploiement



# Bilan et évolution

Vers une pérennisation de Refimeve+

- recrutement d'Etienne Cantin au LPL au 01/12/2020, IR CNRS sur le projet REFIMEVE
- accord de partenariat en cours d'élaboration entre les tutelles du LPL et du SYRTE et RENATER
- vers une labellisation comme infrastructure de recherche (voir exposé C Chardonnet)

Futur : développement de nouveaux services, transfert de temps et transfert RF

# Projet T-REFIMEVE

**2020 – T-REFIMEVE**, projet ESR/EQUIPEX+ dans le cadre du PIA3 : budget d'investissement demandé de 11,65M€ sur 8 ans

Objectif : proposer un service complet de distribution de temps et de fréquence via le réseau RENATER. Plus de 30 utilisateurs concernés dont 3 infrastructures de recherche (SOLEIL, IRAM, ESRF)

- ✓ Premier pilier : consolidation/extension du réseau existant, distribution de radiofréquence et d'une échelle de temps par la méthode dite « white rabbit »
- ✓ Deuxième pilier : transfert de temps haute performance, plateforme mobile pour les mesures de précision



# Les signaux distribués

Signal provided by T-REFIMEVE		Stability @1s	Stability @1day	Uncertainty	
				routine	dedicated
Radiofrequency	1 <sup>st</sup> pillar - 10 MHz (White Rabbit)	$10^{-12}$	$10^{-15}$	$10^{-14}$	$10^{-15}$
	2 <sup>nd</sup> pillar - 1 GHz	$10^{-13}$	$3 \times 10^{-16}$	$10^{-14}$	$2 \times 10^{-16}$
Time	1 <sup>st</sup> pillar (White Rabbit)	1 ns	1 ns	10 ns	10 ns
	2 <sup>nd</sup> pillar	20-50 ps	500 ps	10 ns	2ns to 100ps
Optical frequency (194,5 THz - 1542 nm)	Today	$10^{-15}$	$3 \times 10^{-16}$	$10^{-14}$	$2 \times 10^{-17}$
	Expected progress in 5 years	$10^{-16}$	$2 \times 10^{-17}$	$10^{-14}$	$10^{-18}$

# Scientific applications

- ✓ high resolution molecular spectroscopy applied to environment and astrophysics
- ✓ fundamental spectroscopy: precise measurement of fundamental constants and their spatio-temporal dependence; parity violation in molecules, new spectroscopic methods
- ✓ generation of versatile ultra-stable and accurate optical frequency reference for various lab applications (cold atom/molecule physics, strongly correlated quantum matter, ... )
- ✓ laser sources development: QCL, frequency comb based on photonic crystal fibre, ...
- ✓ atom interferometry, accelerometer
- ✓ Time/frequency metrology: optical and microwave clock development and comparison
- ✓ fundamental physics tests: equivalence principle, special and general relativity
- ✓ optical generation of high spectral purity microwaves



# Scientific applications

- ✓ chronometric geodesy (sea level elevation, seismology, ...)
- ✓ Sagnac effect and application to seismology, Earth rotation and tides measurements
- ✓ gravitational wave detection
- ✓ development of the white rabbit technology
- ✓ high performance timing and synchronisation
- ✓ timing, synchronization of large-scale instruments based on accelerators
- ✓ timing reference of telescopes, VLBI, and application for subsequent astrophysical projects

# Calendar

- December 2020 : results of PIA3 open call
- 2021 : end of deployment
- 2021 : candidature labellisation Infrastructure de recherche ?
- 2021 : mise en place d'un accord de partenariat pour le fonctionnement du réseau avec RENATER
- 2024 : end of REFIMEVE+