

RENATER, partenaire du projet CLONETS pour l'étude de la construction d'un réseau métrologique européen

Nicolas Quintin

GIP RENATER

Étude et Projets Réseau

23-25 rue Daviel

75013 Paris

Résumé

Un bouleversement scientifique et technologique est en train de se produire dans la manière de distribuer des signaux de référence de fréquence et de temps. La mise au point de nouvelles techniques ces dernières années a permis d'utiliser la fibre optique comme support pour réaliser cette distribution, en démontrant des performances meilleures, de plusieurs ordres de grandeur, que les méthodes classiques par GNSS (GPS, Glonass...), ceci sur des distances allant jusqu'à des échelles continentales. CLONETS (CLOCK NETWORK SERVICES) vise à préparer le transfert de cette nouvelle génération de technologie de distribution de temps et de fréquence à l'industrie. Ce sont ainsi 16 acteurs européens représentant l'ensemble des parties impliquées (des laboratoires métrologiques nationaux, des réseaux de télécommunication nationaux pour la recherche et l'éducation, ainsi que plusieurs entreprises) qui ont collaboré pour étudier les enjeux du déploiement d'un réseau paneuropéen métrologique basé sur des horloges atomiques et définir la meilleure stratégie pour l'implémenter. Ce réseau, en proposant des services de temps et de fréquence de très haute performance, sera à même de répondre aux besoins en croissance rapide créés par le Cloud Computing, l'Internet des objets, la distribution de l'énergie (smart-grid) et ouvre la voie pour le déploiement de nouvelles applications innovantes, comme l'avait fait le GPS en 2000 lors de son ouverture au grand public.

Mots-clefs

CLONETS, signal d'horloge, transfert de fréquence, transfert de temps, DWDM, longueur d'onde, fibre optique noire, GIP-RENATER, Géant.

1 Introduction

Ces dernières années, le monde de la métrologie est en pleine effervescence. Le succès de l'implémentation des premiers réseaux dits « métrologiques », c'est-à-dire transférant des signaux de temps et/ou de fréquence issus d'horloges atomiques nouvelle génération, promet une mini-révolution dans le paysage scientifique. Le magazine « La Recherche » a d'ailleurs décidé de le faire figurer parmi les 10 découvertes majeures en 2016 [1].

Améliorer considérablement les précisions sur la fréquence (3 ordres de grandeurs) et le temps (mieux que le protocole NTP, jusqu'à 7 ordres de grandeurs supérieur), promet un impact considérable dans notre quotidien. La multitude des projets scientifiques qui pourraient profiter de ces liens optiques pour réaliser des mesures plus précises et synchronisées a poussé de nombreux pays dans le monde, et notamment en Europe, à financer le développement de ces technologies. Grâce aux succès des premiers tests, nous sommes passés de liens isolés de quelques km en 2004 à des premiers réseaux nationaux [2]. La France fait notamment figure de proue grâce au projet REFIMEVE+, REseau Fibré METrologique à Vocation Européenne, qui prévoit d'ici la fin d'année 2019 d'équiper plus de 4 350 km fibres du réseau RENATER pour connecter 19 centres de recherche. La mise en place de réseaux internationaux est de toute première importance car

permettant de connecter les différents NMI (*National Metrological Institutes*), chacun de ces instituts étant le gardien du Temps réel dans son pays. L'Observatoire de Paris fournit par exemple l'UTC(OP) qui est le seul Temps légal en France. L'inter-comparaison des différents UTC et des nouvelles horloges atomiques en Europe et dans le monde est donc une priorité qui aboutira à la redéfinition plus précise de la seconde, unité fondamentale du Système Internationale (SI).

Actuellement les toutes premières comparaisons internationales d'horloges atomiques dernière génération ont pu être menées sur des liens transfrontaliers, mais se sont heurtées au fait qu'il n'existe pas de normes ou de standards pour faciliter ces interconnexions [3]. CLONETS (*CLOCK NETWORK SERVICES*), financé par le programme européen pour la recherche et l'innovation Horizon 2020, a eu pour objectif de structurer cette effervescence. Ce projet a dans un premier temps rassemblé l'expérience accumulée dans les différents programmes nationaux (comme REFIMEVE+ ou LIFT, *Link for Frequency and Time*, en Italie), puis étudié la mise en place d'un réseau métrologique majeur paneuropéen qui ouvrira la voie au développement d'applications inédites dans des domaines aussi variés que la métrologie, la physique ou la géodésie.

2 CLONETS, activité et objectifs

2.1 Des services permettant des qualités de mesure sans précédent

De très nombreuses expériences se basent en effet sur des références de fréquence pour pouvoir faire des mesures qui soient à la fois fiables (stabilité) et précises (valeur exacte). Les radioastronomes en ont besoin notamment pour mesurer avec un minimum d'incertitude les objets lointains, les physiciens pour mesurer les constantes fondamentales ou les métrologues pour comparer des horloges atomiques distantes de plusieurs milliers de kilomètres. Ces mesures nécessitent une excellente calibration des diverses sources de fréquence avec une incertitude qui peut parfois atteindre 19 chiffres significatifs sur une journée, soit l'équivalent d'une dérive d'une seconde sur 300 milliards d'années (environ 20 fois l'âge de l'univers) ! Une telle précision n'est réalisable qu'avec les meilleures horloges atomiques dans un environnement parfaitement contrôlé comme c'est le cas dans les laboratoires de métrologie [4]. Les méthodes standards utilisant les satellites comme le GPS (15 ou 16 chiffres significatifs) ne peuvent pas suivre. Plutôt que de mettre en œuvre des moyens extrêmement coûteux pour s'assurer d'une qualité de mesure (le coût de ces horloges et de leur entretien se chiffre en millions d'euros), il est plus simple pour les utilisateurs de tels signaux de se raccorder aux laboratoires de métrologie grâce à la fibre optique.

De la même manière, les besoins en synchronisation pour les expériences étendues comme les accélérateurs de particules au LHC du CERN ou pour les futurs réseaux 5G, forcent les opérateurs à déployer de nombreux récepteurs GPS dont les signaux sont soumis à des perturbations atmosphériques et à des effets multi-trajets (notamment en zone urbaine). Ces perturbations ont conduit au développement de technologies hautes performances utilisant la syntonisation (synchronisation en fréquence) et la synchronisation (domaine temporel) dans la fibre optique. Un exemple bien connu étant le « *White Rabbit* », développé par le CERN [5].

2.2 Un savoir-faire déjà reconnu, mais qui doit se structurer

Des liens sur fibres dédiées ont pu être mis en place entre Brunswick et Munich jusqu'à des distances de 900 km. Néanmoins, déployer ce type de solution est très difficile d'un point de vue logistique (mise en place d'équipements télécoms, supervision, maintenance), financier (ces liaisons coûtent très cher) et humain (les laboratoires de recherche n'ont pas vocation à maintenir des réseaux de cette envergure).

Le GIP RENATER, en sa qualité de maître d'ouvrage du réseau national français de télécommunications pour l'enseignement supérieur et la recherche, dispose d'un réseau de plus de 12 000 km de fibres noires pour relier les universités et laboratoires de recherche en France métropolitaine et DROM-COM. En autorisant REFIMEVE+ à utiliser son réseau (allocation du canal à 194.4 THz de la grille ITU *International Telecommunication Union DWDM Dense Wavelength Division Multiplexing*), et grâce à son expertise dans la gestion des réseaux de télécommunications, RENATER a permis la mise en place d'une solution alternative. D'ici la fin d'année 2019, environ 4 121 km de fibres sur les 4 350 km du futur réseau REFIMEVE+ seront équipés et le signal se propagera en parallèle des trames Ethernet en toute transparence.

Ces travaux montrent que la technologie est arrivée à un stade de maturité et nous permet d'envisager des déploiements à plus grande échelle. Le projet d'étude CLONETS, sur la même base que REFIMEVE+, rassemble différentes communautés : 8 laboratoires de recherche, 3 NREN (*National Research and Education Network*) et 5 industriels.

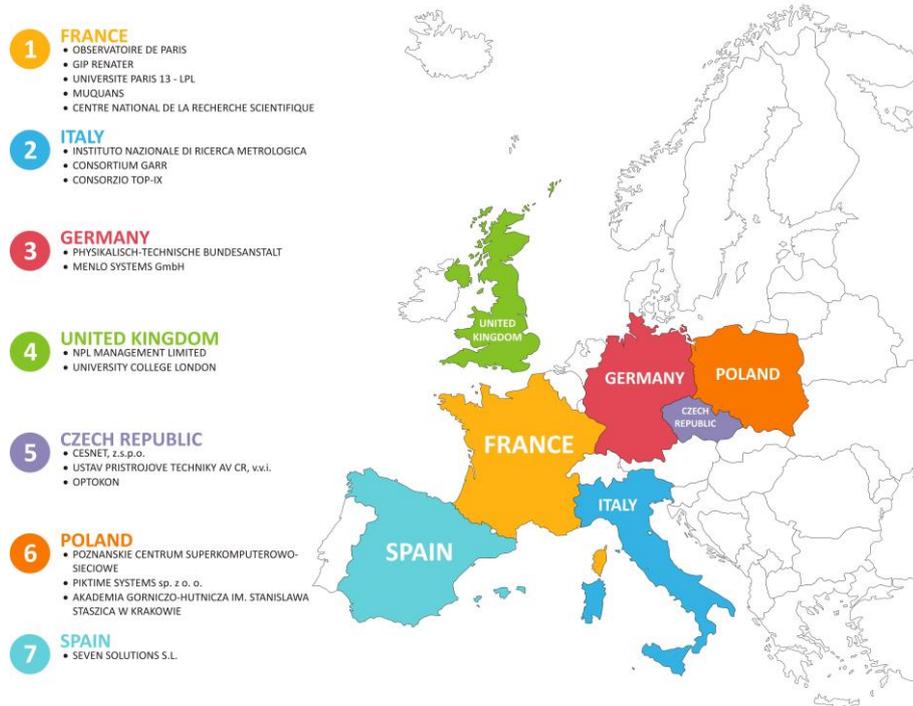


Figure 1 - CLONETS rassemble de nombreux acteurs européens

2.3 Objectifs

Grâce à un large panel de compétences et d'experts, CLONETS a pu catalyser les travaux isolés des uns et des autres au sein d'un projet à l'échelle continentale aux objectifs ambitieux :

1. Collecter les informations pour écrire plusieurs livres blancs concernant :
 - a. Les techniques scientifiques actuellement disponibles pour le transfert de temps-fréquence en se donnant comme principe que ces techniques doivent être plus performantes que celles actuellement disponibles sur le marché (notamment les méthodes basées sur les satellites type GPS, le PTP *Precision Time Protocol* <https://standards.ieee.org/project/1588.html>) ;
 - b. Les technologies actuellement déployées ou qui vont l'être prochainement par les différents réseaux de télécommunication nationaux via lesquels seront transmis les signaux métrologiques ;
 - c. Les différents domaines de recherche qui pourraient bénéficier de tels services.
2. Recenser les applications sociétales et les organismes privés pour identifier les utilisateurs, leurs besoins et évaluer le potentiel économique du déploiement d'un réseau métrologique. Il est en effet fondamental dans l'idée de CLONETS d'assurer un fonctionnement pérenne du futur réseau métrologique. Les coûts de déploiement et de maintenance d'un tel réseau à la pointe de la technologie doivent être financés par les services qu'il proposera afin de pouvoir être indépendant des fonds de recherche.

3. Définir la stratégie pour le(s) futur(s) projet(s) qui s'appuieront sur CLONETS pour la phase d'implémentation d'un tel réseau : comment le construire, le déployer, l'exploiter et le maintenir en conditions opérationnelles... Ce point est particulièrement compliqué à mettre en place car nécessitant une réflexion approfondie de l'ensemble des parties pour aboutir à une administration et un effort communs. La participation de Géant (NREN européen) pour organiser la gestion quotidienne d'un tel réseau apparaît comme centrale.
4. Contribuer à la formation de spécialistes à très forte compétence pour soutenir ces développements avec une vision globale des enjeux (mise en place de formations pour les futurs utilisateurs, création d'un master européen...).
5. Synthétiser ces travaux pour étudier la manière de contractualiser l'accès à ces services

3 Travaux réalisés

Le projet CLONETS a débuté en janvier 2017 et l'ensemble des informations et des avancées concernant le projet peut être consulté sur le site www.clonets.eu. De nombreux livrables ont été rendus publics et sont directement consultables sur le portail du projet.

Les différentes enquêtes menées auprès des laboratoires de recherche en Europe et des réseaux nationaux pour l'éducation et la recherche (équivalents du GIP RENATER) ont rencontré un large succès et de nombreuses personnes qui n'étaient pas sollicitées ont souhaité participer à ces études. Ils nous ont permis de mieux comprendre les attentes des instituts de recherche tout en faisant un état des technologies dont disposent les réseaux de télécommunications. Un autre sondage, à destination des entreprises privées cette fois-ci, a permis de couvrir un large éventail d'autres domaines d'application, y compris pour le gouvernement, l'industrie, la finance, le transport de l'électricité, etc.

Grâce à l'ensemble de ces données, les laboratoires de métrologie ont pu notamment déterminer, parmi les techniques de transfert de temps et de fréquence à haute performance sur la fibre optique développées à ce jour, lesquelles étaient les plus idoines pour couvrir ces besoins.

L'ensemble de ces aboutissants de ces études permettront de définir les contours du futur réseau paneuropéen de fibre optique pour le temps et la fréquence et les services qu'il prendra en charge

Par contre, il faut noter qu'un programme de Master européen n'a pas pu être mené à bien en temps et en heures mais que l'INRIM, *Istituto Nazionale di Ricerca Metrologica*, compte bien le proposer dans les années à venir. Ce Master international basé à Turin est ouvert à tous les étudiants du monde entier et permettra de former les futurs ingénieurs à l'ensemble des problématiques soulevées par ce projet européen de premier plan.

4 Impacts

CLONETS en sa qualité de projet d'étude, n'est qu'une première étape dans la construction d'un futur réseau métrologique paneuropéen basé sur les horloges optiques se trouvant dans les laboratoires nationaux de métrologie, mais il promet déjà des applications qui impacteront de nombreux utilisateurs dans différents domaines (recherche fondamentale, amélioration du système de navigation, favoriser le développement des *Smart Grids*, etc.). Nous n'en sommes qu'aux prémices d'un tel réseau, mais déjà la mutualisation des efforts des 16 acteurs européens et leur diversité permettent d'entrevoir la mise en place de ce réseau non pas bien comme une possibilité, mais comme un enjeu scientifique, économique et d'utilité publique de première importance.

Bibliographie

- [1] P. Pajot. Vers un réseau d'horloges ultra-précises. *La Recherche*. Janvier 2017. Mensuel n° 519.
- [2] O. Lopez, et coll. Ultra-stable long distance optical frequency distribution using the Internet fiber network. *Opt. Express*. 2012. 20, 23518–23526.
- [3] C. Lisdat, et coll. A clock network for geodesy and fundamental science. *Nature Communications*. 9 août 2016. DOI: 10.1038/ncomms12443.
- [4] N. Hinkley, et coll. An atomic clock with 10^{-18} instability. *Science*, 2013.
- [5] M. Rizzi, et coll. White Rabbit clock characteristics. ISPC, 2016.