



Mini-DOLL (Miniature Deep Space Optical Laser Link)

Mini-DOLL: Miniature Deep Space Optical Laser Link

Porteur(s) : P. Wolf (SYRTE)

Partenaire(s) : GEOAZUR, ONERA

Résumé du projet en Français :

Le projet Mini-DOLL a été mené sur quatre ans (2009 à 2013) en collaboration entre le LNE-SYRTE et le laboratoire GéoAzur de l'OCA et avec l'aide de l'ONERA. Il s'agit d'un lien optique cohérent (mesure de la phase optique) en espace libre, pour des applications en physique fondamentale, métrologie temps/fréquences, télémétrie, et télécom. L'objectif du projet était de démontrer la faisabilité d'un tel lien en présence de la turbulence atmosphérique et d'étudier sa limite fondamentale, qui résulte justement des fluctuations de l'indice de l'air à cause de la turbulence.

Résultats marquants :

La première partie du projet concerne la réalisation d'un lien entre un télescope et un coin cube au sol à une distance d'environ 2,5 km. Cette phase a été réalisée avec succès en 2009 et a permis de démontrer la faisabilité du principe, et de mesurer le spectre du bruit imposé par la turbulence [Djerroud et al, Opt. Lett. **35**, 1479 (2010)]. On constate un bruit de mesure de phase de quelques dizaines de nm à court terme (sur la ms) avec un comportement spectral caractéristique de la turbulence atmosphérique. Ce résultat est très encourageant pour les futurs liens sol-satellite pour la comparaison d'horloges (comparables aux meilleurs liens fibrés) et a été confirmé depuis par une équipe américaine en 2012 [F. R. Giorgetta et al., Nature Photonics, **7**, 434, (2013)].

La suite du projet s'est orientée vers la réalisation d'un lien sol-satellite, en remplaçant le coin cube au sol par un coin cube sur des satellites en orbite basse existants. Cela pose un nombre de problèmes, parmi lesquels le bilan de liaison extrêmement faible (> 1 pW attendu au retour), les besoins en stabilité du laser, et l'effet Doppler important (± 12 GHz) du au mouvement du satellite. Dans la période 2010-2012 le LNE-SYRTE a construit un système laser correspondant au besoins de Mini-DOLL en termes de stabilité de fréquence ($< 10^{-13}$ en fréquence relative) et permettant un balayage contrôlé pour compenser l'effet Doppler. Nous avons démontrés que la performance de ce système est suffisante pour les besoins de Mini-DOLL [N. Chiodo, et. al., Applied Optics **52**, 7342, (2013)].

Finalement, ce montage a été transporté à l'OCA et installé sur le télescope MéO du site de Calern. Trois campagnes expérimentales ont eu lieu entre Novembre 2012 et Mars 2013. Initialement il a été prévu d'utiliser un système d'optique adaptative (OA) déjà sur place et fourni par l'ONERA afin d'améliorer le bilan de liaison et le pointage du satellite pour capter le signal retour. Malheureusement il s'est avéré que le système OA sur place n'était pas assez performant en termes de luminosité pour les satellites d'intérêt pour Mini-DOLL.

La leçon principale à retenir de cet échec est la nécessité d'utiliser une optique adaptative opérationnelle, ou au minimum un suivi active du satellite. Actuellement un nouveau banc d'optique adaptative est en cours de test sur MéO, et en fonction de ses performances nous envisageons des nouvelles expériences avec Mini-DOLL, probablement en 2014.

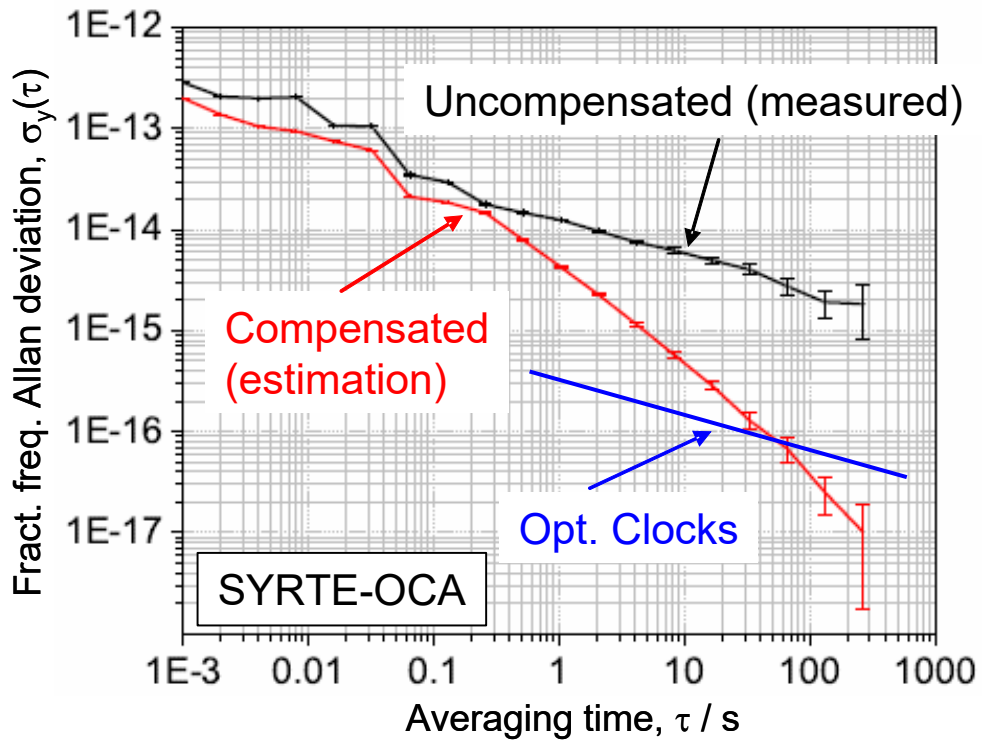
Malgré cet échec, qu'on espère provisoire, Mini-DOLL a permis d'avancer significativement vers la réalisation de liens sol-satellite pour la comparaison d'horloges distantes de prochaine génération, mais aussi pour des applications dans d'autres domaines comme l'observation de la terre et les télécoms. Le projet a aussi suscité beaucoup d'intérêt en dehors des groupes directement concernés, par exemple aux USA, et à l'ESA (projet STE-QUEST, plusieurs appels d'offres ITT).

Publications and communications linked with the funded project:

[1] K. Djerroud et al., *Coherent optical link through the turbulent atmosphere*, Opt. Lett. **35**, 1479 (2010).

[2] N. Chiodo, et. al., *Lasers for coherent optical satellite links with large dynamics*, Applied Optics **52**, 7342, (2013).

Pictures with captions (curve, photo, scheme ...):



Ecart-type d'Allan des résultats de l'expérience sol-sol (noir), de l'estimation d'un lien two-way sol-satellite géostationnaire (rouge), et des meilleurs horloges atomiques actuelles (bleue).