

Caractérisation et compensation des effets de la turbulence atmosphérique sur la télémétrie et le transfert de temps par laser et sur les systèmes de télécommunications optiques en espace libre

Characterization and compensation of the effects of the atmospheric turbulence on Laser Telemetry, Time Transfer by Laser Link and on Free Space Optical Communication

Porteur(s) : A. Ziad (LAGRANGE)

Partenaire(s) : J. Chabé, E. Samain (GEOAZUR)

Résumé du projet en Français :

Il n'existe pas actuellement de liens qui permettent de comparer des horloges optiques de stabilités de fréquence dans la gamme des 10^{-17} qui sont très éloignées (>1000 km) et sur des temps d'intégration raisonnables.

L'équipe AstroGéo, à travers son implication dans le Labex First-TF et dans l'Equipex Refimeve+, a l'ambition de valoriser le savoir-faire et les investissements effectués pour le projet T2L2. L'équipe souhaite activement s'associer au futur réseau fibré européen en développement au sol, afin de proposer un prolongement du transfert de temps vers l'espace via le télescope MeO du plateau de Calern. Un lien laser performant constituera alors une bonne extension à ces techniques pour comparer des horloges entre deux continents (ce qui serait délicat avec des fibres) ou depuis les futurs satellites GNSS ou géostationnaires (déjà équipés d'horloges atomiques) donc entre le sol et un satellite.

Le facteur limitant de ce type de lien est la turbulence atmosphérique qui génère une variation temporelle de l'indice de réfraction. Un bruit de phase et un bruit d'intensité (scintillation) s'ajoutent au signal à des fréquences comprises entre 10^{-2} et 10^3 Hz. Ces bruits très élevés dégradent sévèrement le bilan de liaison et peut provoquer la perte totale du signal. Cette situation peut pourtant être améliorée par l'Optique Adaptative (OA) à l'émission. Dans ce contexte, l'équipe AstroGéo de l'UMR GéoAzur s'est engagée, en collaboration avec l'ONERA, dans le développement d'une OA pour le télescope MeO. L'objectif est de déployer un banc d'OA intégré de façon définitive à la station MeO pour des applications en transfert de temps, en télémétrie laser, en liens telecom et d'astronomie.

L'étude des conditions de turbulence atmosphérique de l'Observatoire de Calern est fondamentale pour tout projet d'OA. Même s'il existe des études de la turbulence atmosphérique pour les sites d'observations astronomiques comme le site de Calern, les données recueillies concernent seulement quelques nuits sur une période de plusieurs années et ne sont donc pas utilisables dans le cadre du développement d'un lien optique d'utilisation fréquente.

L'équipe Optique Atmosphérique de l'UMR Lagrange de l'OCA propose de répondre à ce besoin, qui prend, de plus en plus, un caractère urgent par rapport aux projets d'OA sur le site de Calern. Cette équipe a développé depuis quelques années, une nouvelle génération d'instruments pour la qualification des sites astronomiques relevant de techniques originales et bénéficiant d'une autonomie très avancée. Les instruments de retour du Dôme C en Antarctique seront installés sur une plateforme à proximité du télescope MeO. Les données de cette station de mesures de la turbulence atmosphérique seront accessibles en temps réel via un site web dédié.

Abstract in English:

The objective of the proposed work is to study the problem of the atmospheric turbulence on the laser telemetry, Time Transfer and Free Space Optical Communications. First of all, a fine characterization of the turbulence above the site of the laser station MeO is needed. A specific equipment has been developed and is now available on the site (the Calern Atmospheric Turbulence Station: CATS). The goal of CATS is to study the evolution of the optical turbulence on the Calern site, spatially (height), temporarily (in the daytime, night, seasons) and angularly (sight direction). A study based on the measurements of the atmospheric turbulence using CATS simultaneously with laser tracking of satellites is in progress since May 2016, to conclude on the impact of the turbulence on the propagation of laser beam in the atmosphere. We are taking advantage of the spatial instrument T2L2 which embarks an equipment allowing to measure the surface density of energy of laser pulses emitted from earth.

Associated with our measurement capability on the ground with CATS, it is possible to study very finely link budgets for one and two ways laser ranging.

This study will allow to identify the suited periods according to the turbulence conditions to improve distance measurements and time transfert by laser link. It will also be question from the data accumulated on the atmospheric turbulence to study numerically the definition of an Adaptive Optics (OA) system allowing to compensate for the effects of the atmospheric turbulence in emission and in reception. The performances of this OA system will be also studied to conclude on the utility of such an equipment for the laser links of the Calern site.

Résultats marquants :

La station de mesure de la turbulence atmosphérique de Calern est opérationnelle depuis l'automne 2015 et une campagne de mesure spécifique avec l'instrument T2L2 est en cours depuis mai 2016. Un premier volet de ce travail en cours est consacré à l'étude des effets de la turbulence sur les liens laser à l'aide des données bord recueillies par l'instrument T2L2. Nous menons plusieurs études spécifiques sur l'effet de la scintillation, de l'extinction et du seeing sur la détectabilité du signal en télémétrie laser. Nous nous aidons de toute la banque de données que l'on a accumulée au moyen de nos instruments G-DIMM et PBL. Nous avons actuellement des résultats préliminaires qui confirment une tendance à l'amélioration de la densité des implusions laser reçu par T2L2 quand la scintillation est moindre et/ou le seeing s'améliore. L'avantage de PBL est de pouvoir fournir des profils de jour en observant le bord solaire, ceci devrait améliorer nos statistiques en exploitant les données de T2L2 lors de ses passages pendant la période diurne.

Highlights:

The Calern atmospheric turbulence station (CATS) is operational since autumn 2015 and a specific measurement campaign with the T2L2 instrument is in progress since May 2016. A first part of this ongoing work is devoted to the study of effects of the turbulence on the laser links using the data collected by the T2L2 instrument. We are conducting several specific studies on the effect of scintillation, extinction and seeing on signal detection in laser telemetry. We are using the entire database that we have accumulated using our G-DIMM and PBL instruments. We currently have preliminary results confirming a tendency of improvement of the density of laser pulses received by T2L2 when scintillation is less and seeing improves. The advantage of PBL instrument is to be able to provide day profiles by observing the solar edge, this should improve our statistics by exploiting the data of T2L2 during its passages during the diurnal period.

Publications and communications linked with the funded project:

Peer-reviewed articles:

L. Catala, A. Ziad, F. Blary, Y. Fanteï-Caujolle, J. Borgnino, S.M. Crawford, D.A.H. Buckley, M. Nickola, "High Altitude Resolution Profiles of the Atmospheric Turbulence with PML/PBL at the Sutherland Observatory", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 467, Issue 3, p.3699 (2017).

F. Blary, J. Chabé, A. Ziad, J. Borgnino, Y. Fanteï-Caujolle, A. Liotard, F. Falzon, "Optical turbulence in confined media: Part I, First results using the INTENSE instrument", *Applied Optics*, Vol. 56, Issue 22, p. 6272 (2017).

Proceedings:

Aristidi, E., Fanteï-Caujolle, Y., Ziad, A., Dimur, C., Chabé, J. and Roland, B. "A new generalized differential image motion monitor", *SPIE Astronomical telescopes and instrumentation*, Montréal, 22-27 Juin 2014, vol. 9145 (2014)

Védrenne, N., Velluet, M. T., Petit, C., Michau, V., Chabé, J., **Ziad, A.**, Phung, D. H., Maurice, N., Samain, E., Artaud, G., Issler, J. L., Toyoshima, M., Akioka, M., Kolev, D., Munemasa, Y., Takenaka, H. and Iwakiri, N. "First results of Wavefront sensing on SOT", *IEEE International Conference on Space Optical Systems and Applications (ICSOS)*, New Orleans, LA 26-28 Oct. 2015

Blary, F., Ziad, A., Borgnino, J., Fanteï-Caujolle, Y., Aristidi, E. and Lantéri, H. "Monitoring atmospheric turbulence profiles with high vertical resolution using PML/PBL instrument", *SPIE Astronomical telescopes and instrumentation*, Montréal, 22-27 Juin 2014, vol. 9145 (2014)

Chabé, J., Blary, F., Ziad, A., Borgnino, J., Fanteï-Caujolle, Y., Liotard, A. and Falzon, F. "The INdoor turbuLENce SEnsor (INTENSE) instrument", *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conference Series*, vol. 9145, id. 91453A (2014)

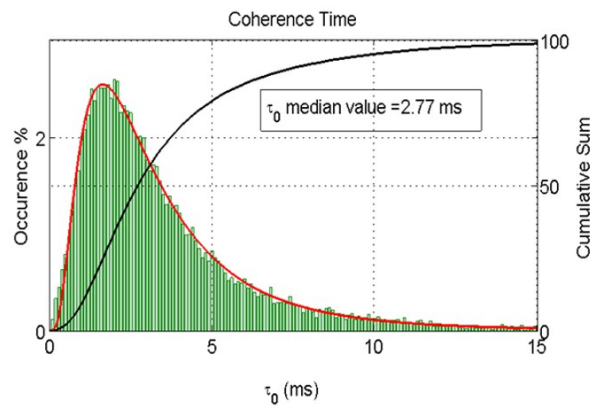
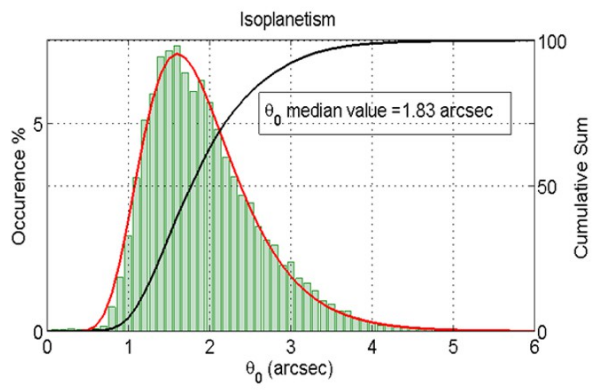
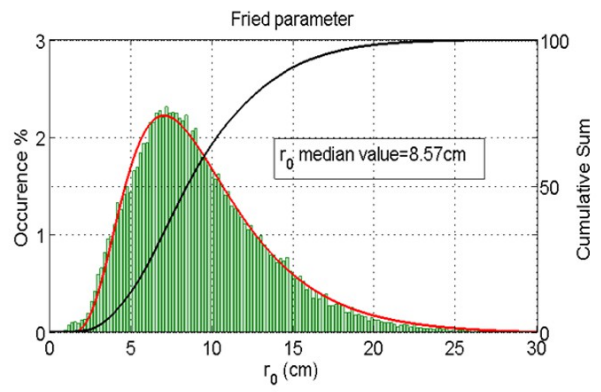
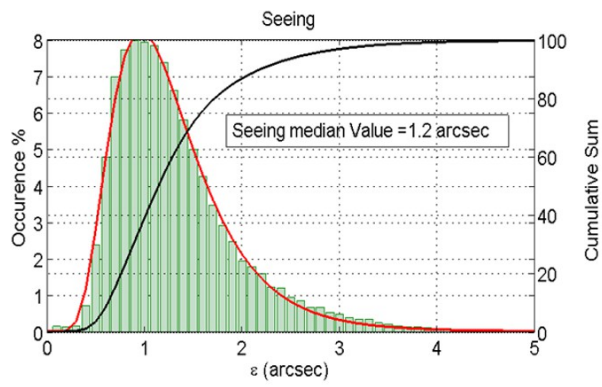
Julien Chabé, Aziz Ziad, Yan Fantei-Caujolle, Eric Aristidi, Catherine Renaud, Flavien Blary, and Mohammed Marjani, "The Calern Atmospheric Turbulence Station", SPIE Astronomical telescopes and instrumentation, Proceedings of the SPIE, Volume 9906, id. 99064Z 9 pp. (2016)

Aziz Ziad, Julien Chabé, Yan Fantei-Caujolle, Eric Aristidi, and Catherine Renaud, "CATS: a new station for a complete characterization of atmospheric turbulence", Proceedings of the fifth AO4ELT Conference, Tenerife, Spain, June 26-30, (2017)

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



Vue d'ensemble de la station CATS à Calern.



Premières statistiques des paramètres de la turbulence du site de Calern au moyen de la station CATS