



**Étude d'un lien télécom laser (1549 nm) à très haut débit (10 Gbps) en espace libre
sur le site instrumenté de l'Observatoire de la Côte d'Azur**

**Study of a very high speed (10 Gbps) free space telecom laser link (1549 nm)
at OCA (Observatoire de la Côte d'Azur)**

Porteur(s) : E. Samain (GEOAZUR)

Partenaire(s) : A. Ziad (LAGRANGE), J.-L. Issler (CNES)

Résumé du projet en Français :

En juin 2015, l'expérience DOMINO menée par GEOAZUR, le CNES, le NICT (Télécom Japon) et un consortium de plusieurs industriels a permis d'établir un lien télécom laser (1549 nm) à 10 Mbps entre le télescope MeO et le terminal spatial SOTA embarqué à bord du satellite japonais SOCRATES (altitude : 650 km). Les acquisitions obtenues au cours de plusieurs campagnes de mesure ont permis d'analyser les fluctuations de puissance optique reçue, les spectres de fréquence du signal télécom et les taux de bits d'erreurs du signal télécom.

Dans la continuité de ce succès DOMINO, nous proposons aujourd'hui dans le cadre du Labex FIRST-TF une expérience de télécom à très haut débit au sol sur le site instrumenté de l'Observatoire de la Côte d'Azur entre le télescope MeO et le sommet du site de l'observatoire sur un trajet aller-retour de 6 km. L'objectif de l'expérience est de caractériser le lien télécom laser à 1549 nm en espace libre à 10 Gbps et d'analyser les effets de la turbulence atmosphérique sur la performance du lien.

Abstract in English:

On June 2015, the optical link between SOTA (onboard SOCRATES Japanese microsatellite) and the Meo optical ground station has been successfully established at 10 Mbps & 1549 nm. Basic data such as power fluctuation, frequency spectrum, telecom data and BER were obtained. Atmospheric turbulence effects, downlink wavefront, link performances (pointing, tracking, bits errors rate ...) have been analyzed.

To continue the success of the DOMINO project, we propose today in the frame work of the Labex FIRST-TF a very high speed telecom project between the MeO telescope and a dedicated target for a total propagation through the atmosphere of 6 km. The goal of the experiment is to characterize the free space laser link at 1549 nm at 10 Gbps and to analyze turbulence effects on the performance of the telecom link.

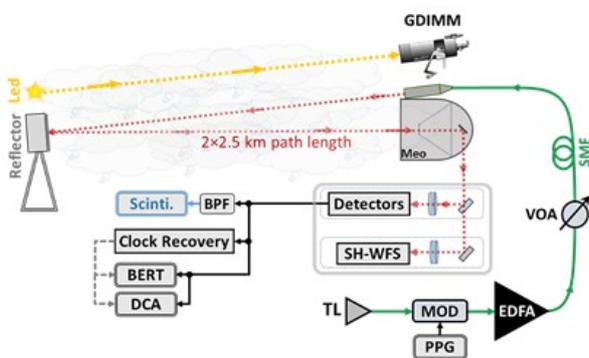
Résultats marquants :

- Mise en place du lien en espace libre sur 2,5 km : Miroir de réflexion installé, et motorisé (contrôlable par radio) sur un support (hauteur de 3 m) au sommet de Calern.
- Analyse des vibrations (par le vent et la stabilité du support) du miroir de renvoi. Le vent perturbe fortement le miroir et le faisceau de retour. Cause des difficultés sur la focalisation du faisceau sur la détection télécom. Il est nécessaire de travailler avec des conditions atmosphériques calmes.
- Développement et mise en place d'un analyseur de surface d'onde (Shark Hartmann WaveFront Sensor - SHWFS) Infrarouge (caméra IR rapide 250 fps) et visible (caméra visible rapide 75 fps) sur le banc de test.
- Test en laboratoire du système de modulation et démodulation télécom 10 Gbps réalisé par un BERTester et un modulateur optique.
- Tests du lien télécom 10 Gbps en espace libre (2,5 x 2 km de propagation horizontale) ; Paramètres de scintillations et r_0 acquis ; données télécom @ 10 Gbps en cours d'expérimentation.

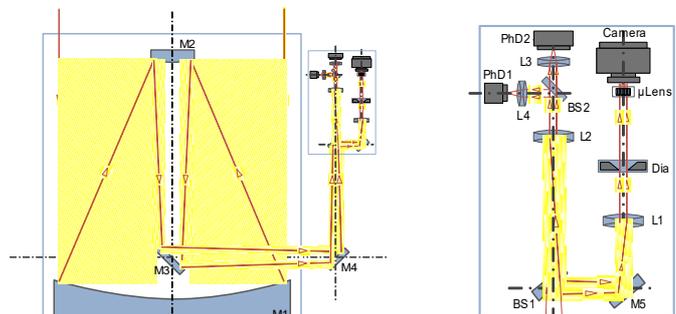
Highlights:

- Installation of a free space link over 2.5 km: Mirror of reflection installed, and motorized (controllable by radio) on a 3 meter height at the top of Calern mount.
- Mirror vibration analysis (generated by the wind and the stability of the support). The wind strongly disturbs the mirror and the return beam. Generates difficulties in focusing the beam on the telecom detection. It is necessary to work with quiet atmospheric conditions
- Development and implementation of a Shark Hartmann WaveFront Sensor - SHWFS dedicated for Infrared (fast IR 250 fps) and visible (fast visible 75 fps).
- Laboratory test of the 10 Gbps modulation and demodulation system made with a BERTester and a fast optical modulator
- Tests of the free space telecom link @10 Gbps (2.5 x 2 km in horizontal propagation); Scintillation parameters and r0 acquired ; telecom link @ 10 Gbps currently tested

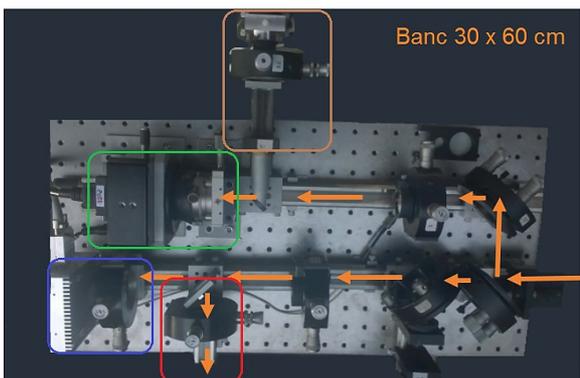
Pictures with captions (curve, photo, scheme ...):



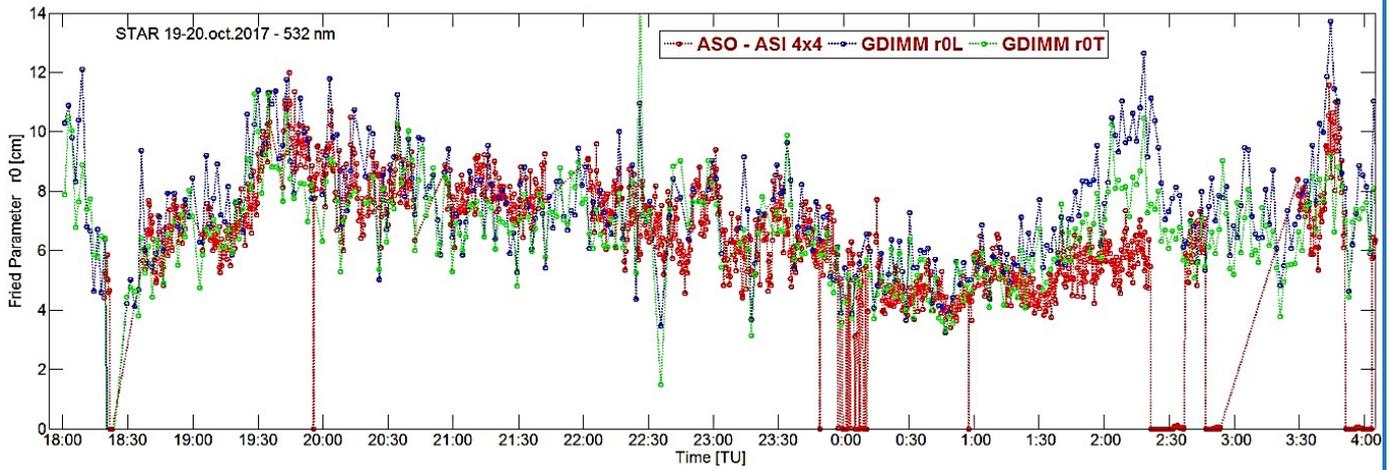
TL: Tunable Laser; MOD: Optical Modulator; PPG: Pulse Pattern Generator; EDFA: Erbium-Doped Fiber Amplifier; VOA: Variable Optical Attenuator; SMF: single mode fiber; Meo: 1.54 m telescope; BPF: band-pass-filter; SH-WFS: Shark Hartmann WaveFront Sensor; BERT: Bit-Error-Rate Tester; DCA: digital communication analyzer;



Optical components on Nasmyth bench - conception
M1-5: Mirrors, L1-4: Lens; BS1-2: Beam Splitter; Dia: Diaphragm; PhD1-2: Photodiode; μLens: μLenslet array

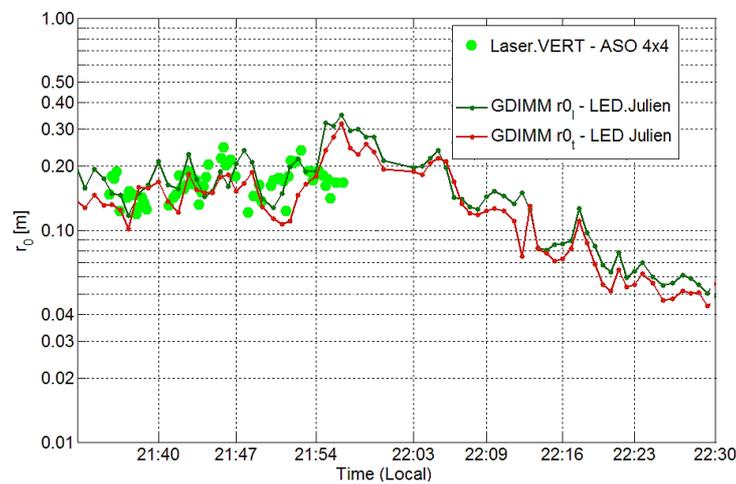


Optical components on Nasmyth bench – experiment
Green zone: Shark Hartmann WaveFront Sensor (IR or Visible camera + μLens array)
Blue zone: Scintillation measurement (low-speed APD- 300 μm)
Red zone: Telecom measurement (high-speed PIN photodiode)
Orange zone: MeO pupil vignette observation



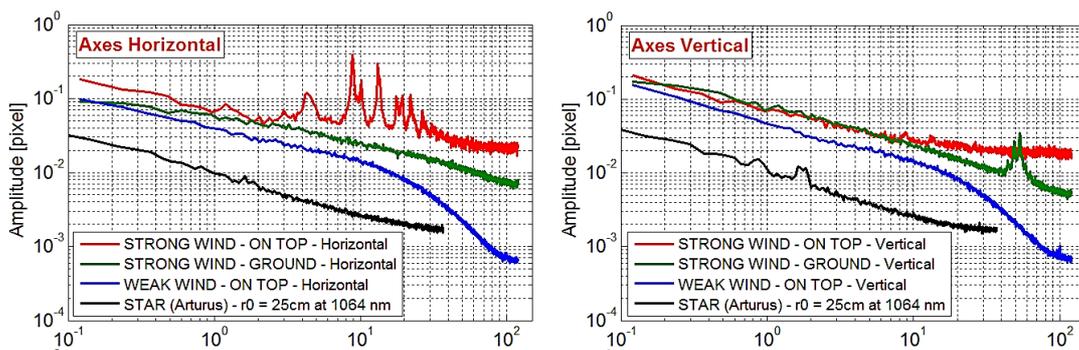
**Paramètre de turbulence atmosphérique, r_0 , mesuré par SHWFS et GDIMM
(Mesure sur étoile pendant > 10 heures de la nuit)**

La combinaison de deux méthodes peut fournir une bonne estimation de r_0 et de front d'onde déformé par la turbulence atmosphérique.

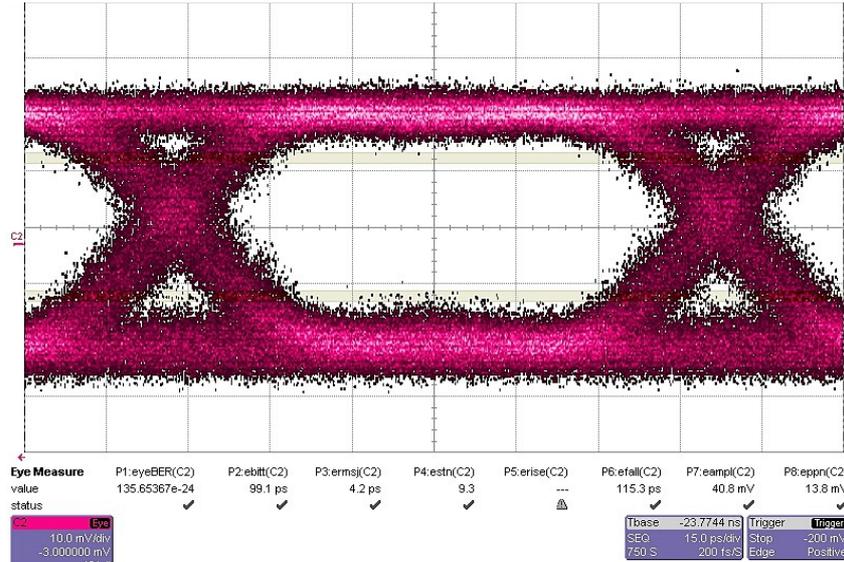


**Paramètre de turbulence atmosphérique, r_0 , mesurés
par SHWFS (sur le lien aller – retour 2.5×5 km, le facteur $2^{0.6}$ est ajouté)
et par GDIMM (sur le Led – lien 2.5 km),**

La mesure du paramètre de Fried (r_0) de SHWFS est collée avec la mesure de GDIMM (Calern Atmosphere Turbulence Station). La combinaison des données SHWFS installé sur le banc avec les mesures de GDIMM + INSTENSE, permet de caractériser la turbulence dans l'instrument MeO et les effets sur le signal télécom.



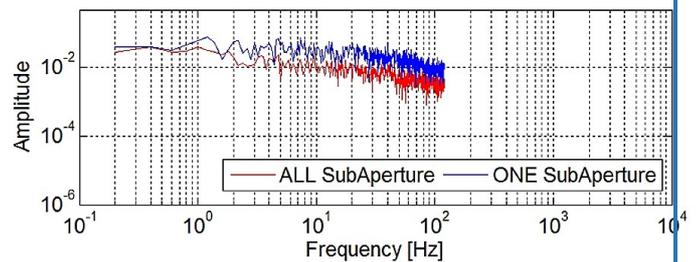
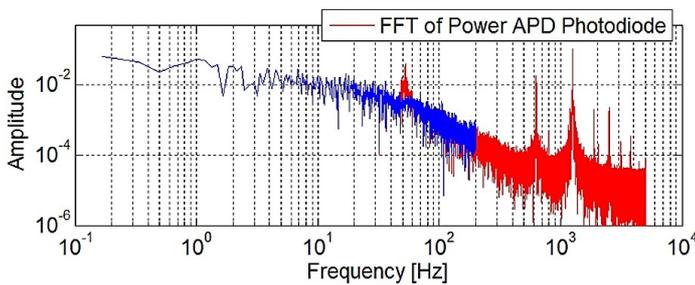
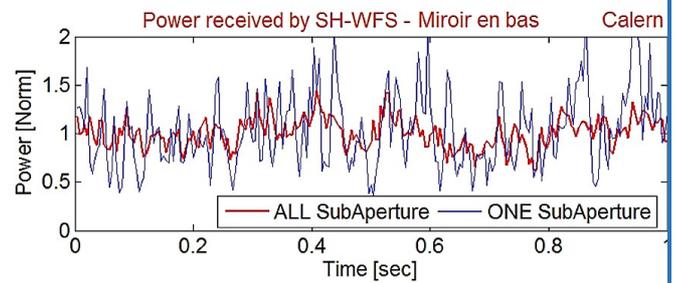
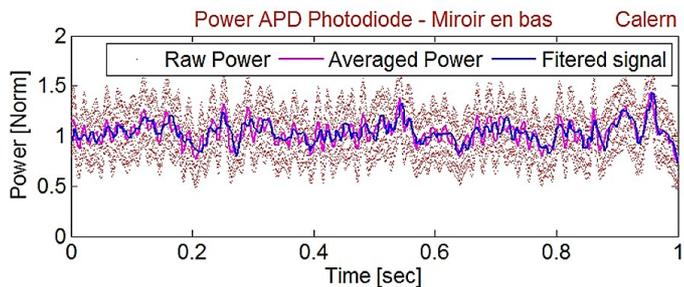
**Effet de vibration du miroir aux photocenters calculé par SHWFS, FFT en fréquence
Travailler avec la condition de vent faible est recommandé.**



Eye diagramme du signal télécom 10 Gbps qui sort de modulateur optique (signal de départ) avec les paramètres de l'Eye-diagramme mesurés par L'Oscilloscope

Le signal télécom de départ est caractérisé par :

- Rapport de signal sur bruit SNR ≈ 25 dB
- Front montant et descendant (20 % – 80 %) ≈ 20 ps
- jitter ≈ 4.2 ps
- eye BER $\approx 10^{-22}$



Première mesure de scintillation et de front d'onde du lien horizontale de signal de retour sur une sous-pupille de 50 cm, à très forte turbulence + vent (r_0 équivalent de 3.5 cm à 532 nm)