

AG Labex First TF
24 mars 2016

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 :

Calern Atmospheric Turbulence Station (CATS)

GéoAzur Team : Julien Chabé, Etienne Samain, Clément Courde, Pierre Exertier et al.

Lagrange Team : Aziz Ziad, Eric Aristidi, Julien Borgnino , Flavien Blary, Mohammed Marjani, Yan Fantéi-Caujolle.

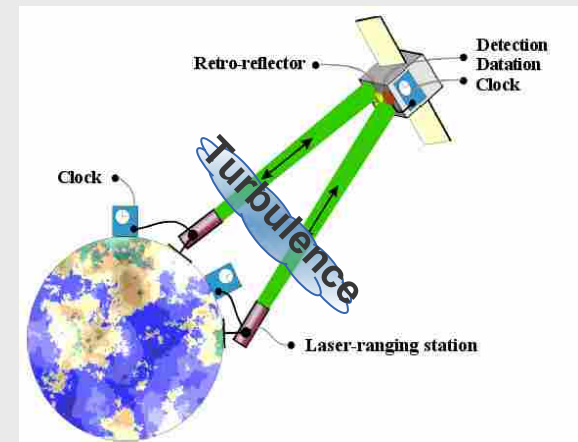
Laboratoire GéoAzur - Laboratoire Lagrange - Observatoire de la Côte d'Azur



Projet CATS

La turbulence optique dans l'atmosphère est un facteur limitant pour les liens lasers vers l'espace :

- Fluctuation de phase
- Scintillation
- Perte du signal



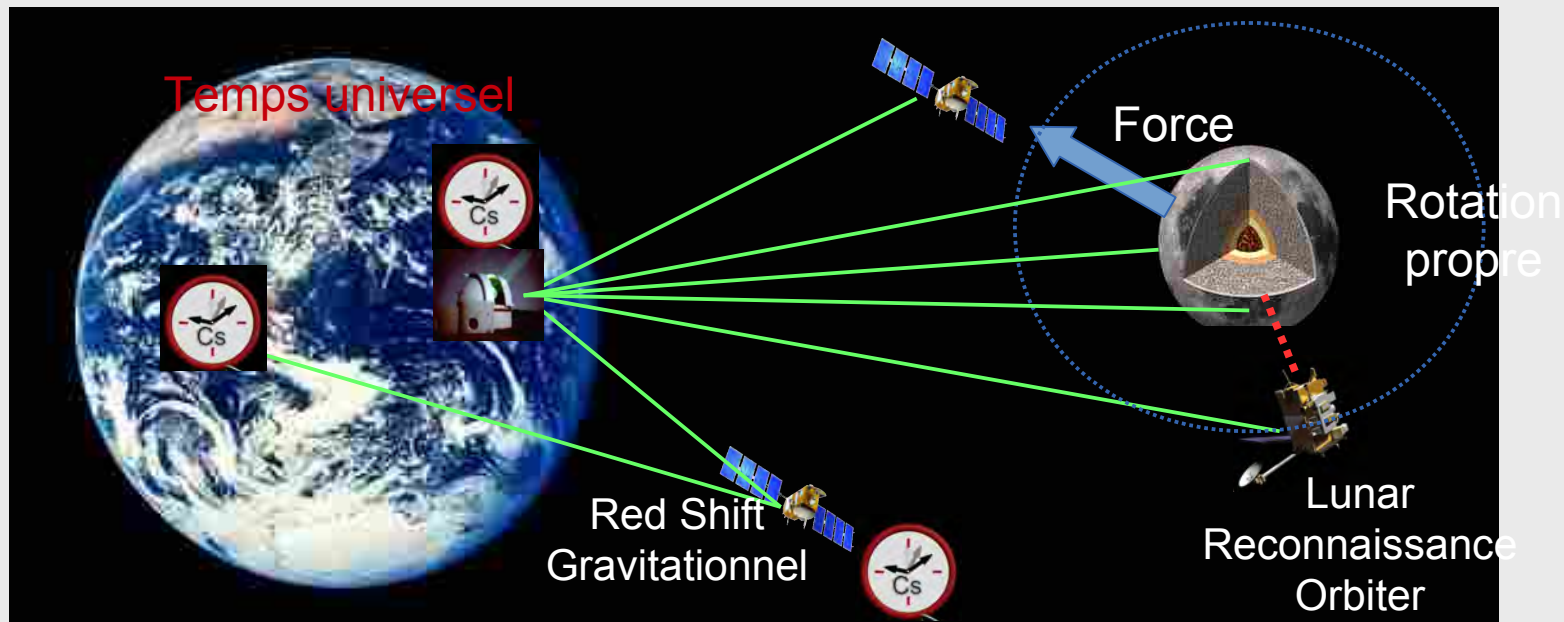
→ Bilan de liaison difficile :

1 photon reçu sur 10^{19} émis sur la lune

→ Problème pour les liens cohérents

→ Données de la turbulence quasi inexistantes sur Calern !

Des Liens Laser pour sonder l'univers proche



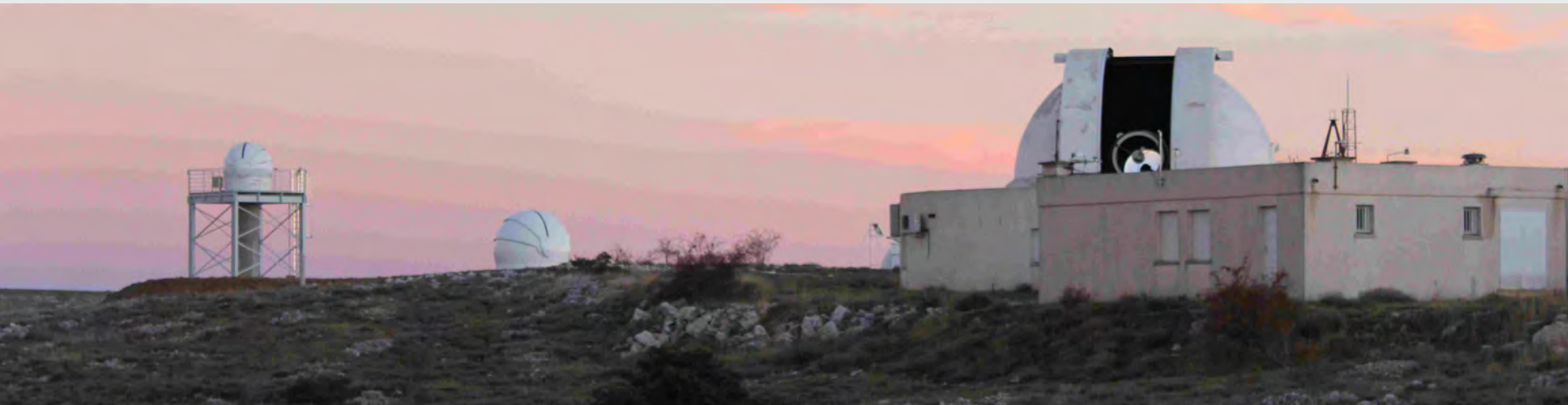
Liens métrologiques précis (cm et ps):

- Confronter les modèles relativistes d'éphémérides aux observations
 - **Information sur les forces internes et externes des corps**
- Références absolues de temps, d'espace, d'orientation
 - **Tâche traditionnelle de l'astronomie (ITRF, UTC, BIPM...)**
- Tests de la physique fondamentale
 - **Red shift gravitationnel, Lense-Thirring, Isotropie de la vitesse de la lumière...**

Objectifs scientifiques

- Comprendre l'impact de la turbulence sur les liens lasers (Transfert de temps T2L2, télémétrie)
 - Campagnes de mesure avec l'instrument T2L2 à partir du 15/05/2016.
- Aide au design d'une Optique Adaptative spécifique aux liens lasers
 - Nombres et positions des miroirs déformables
 - Excursion des miroirs déformables
 - Spécifications des senseurs de fronts d'onde (microlentilles, actuateurs, bandes passantes)
- Dégager les périodes favorables (smart scheduling)

Une station de mesure permanente

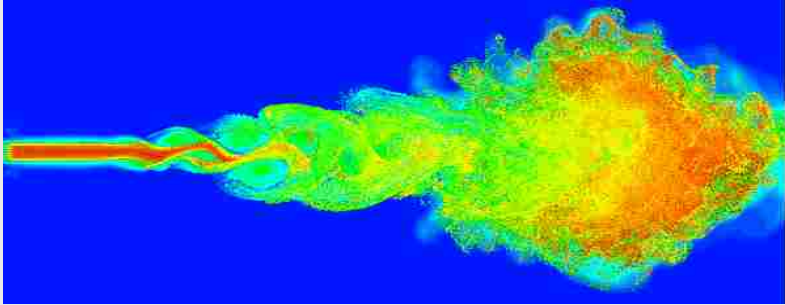


GDIMM

PBL

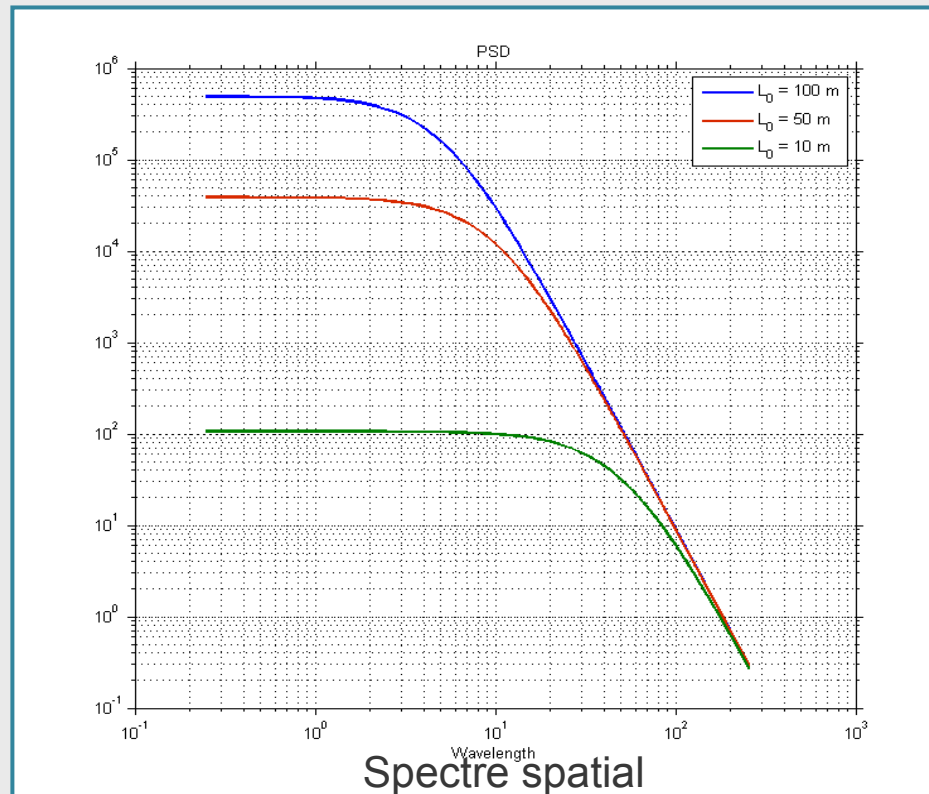
Télescope MéO

La turbulence



$$W_n(k) = 0.033 C_n^2 \left(k^2 + \frac{1}{L_0^2} \right)^{-\frac{11}{6}}$$

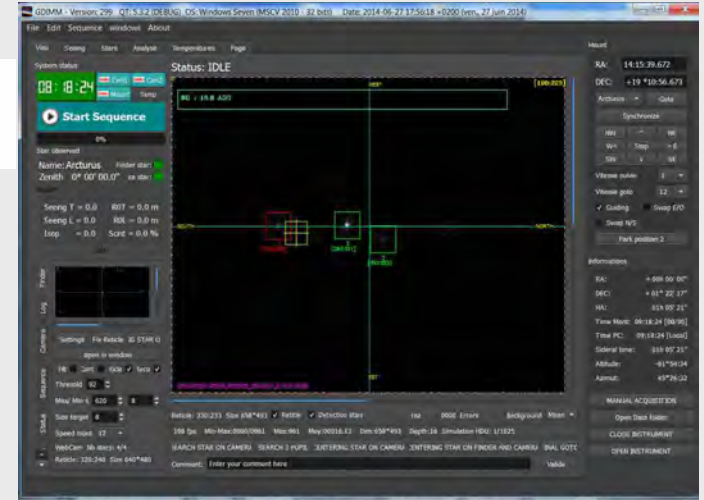
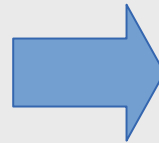
Modèle de Von Karman:



CATS GDIMM : Paramètres intégrés de la turbulence



$$\alpha(x, y) = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\partial \varphi(x, y)}{\partial x}$$

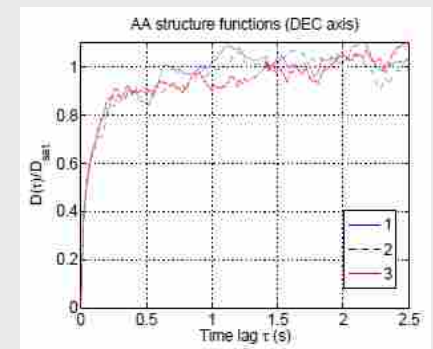


Seeing (ε_0): $\varepsilon_{||t} = 0.98 (\cos z)^{0.6} \frac{\lambda}{r_{0,||t}} = 0.98 (\cos z)^{0.6} \left(\frac{D}{\lambda}\right)^{0.2} \left(\frac{\sigma_{||t}^2}{K_{||t}}\right)^{0.6}$ Largeur de la PSF

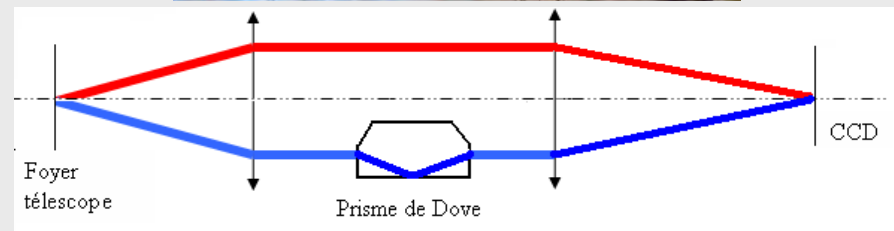
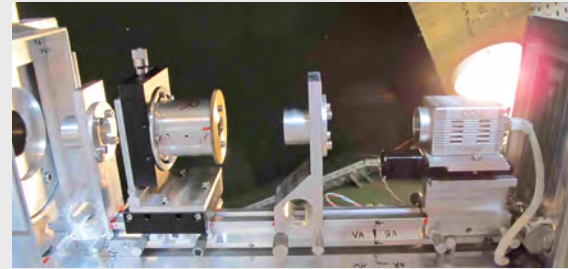
Angle Isoplanetique (θ_0): $\theta_0^{-5/3} = A (\cos z)^{-8/3} \varepsilon$ Distance angulaire sur laquelle la turbulence est corrélée

Échelle externe (L_0): $\sigma_D^2 = 0.17 \lambda^2 r_0^{-5/3} D^{-1/3} = 1.525 \mathcal{L}_0^{-1/3}$

Temps de cohérence (τ_0): $D_{x|y}(\tau) = \langle (x|y(t) - x|y(t + \tau))^2 \rangle$



CATS Profileur Bord Lunaire (PBL)



PBL Profileur Bord Lunaire - Version: J8 QT.5.3.2 (RELEASE) OS: Windows Seven (MSCV 2010 - 32 bits) Date: 2014-09-04 13:52:58 - 0200 (jeu, 04 sept. 2014)

Fichier Edition Sequence A propos

03:04:54 Start acquisition

Etat des sous systèmes

Status

- IMB/CAM
- WETCAM
- FOCUS
- MOHT
- TEMP

SWITCH

Diab. size: "C"

~ Libre: 40 Go
~ Occupé: 494 Go
~ Total: 474 Go

Disque C: 177 Go
RAM 2.71 / 36.085 Mo

Data Directory

Camera

Monture

Focus

Manual operation

Centre de image

Zoom = 1 Luminosité Contraste Expt Time = 5 ms

✓ Detect Réticle (120345)

Finder

✓ Réticle (30331)

Image analysis

Mount status

Theod status

Temperature Label

Log

Time	Msg	Time	Msg	Time	Msg	Time	Msg
54	26:11:2014	10:4:47:265	INFO	0	PBL_TheodDisplay.cpp	974	Reconnaissance du bord
55	26:11:2014	10:4:47:280	INFO	0	PBL_Dialog_main.cpp	3333	Détection du bord lunaire.
56	26:11:2014	10:4:49:95	INFO	0	PBL_Mount.cpp	352	Le port serie de la monture est en mode simulation
57	26:11:2014	10:4:49:257	DEBUG	0	PBL_TheodMain.cpp	1316	Partage OK
58	26:11:2014	10:4:49:268	INFO	0	PBL_Dialog_main.cpp	3995	Tracking error.

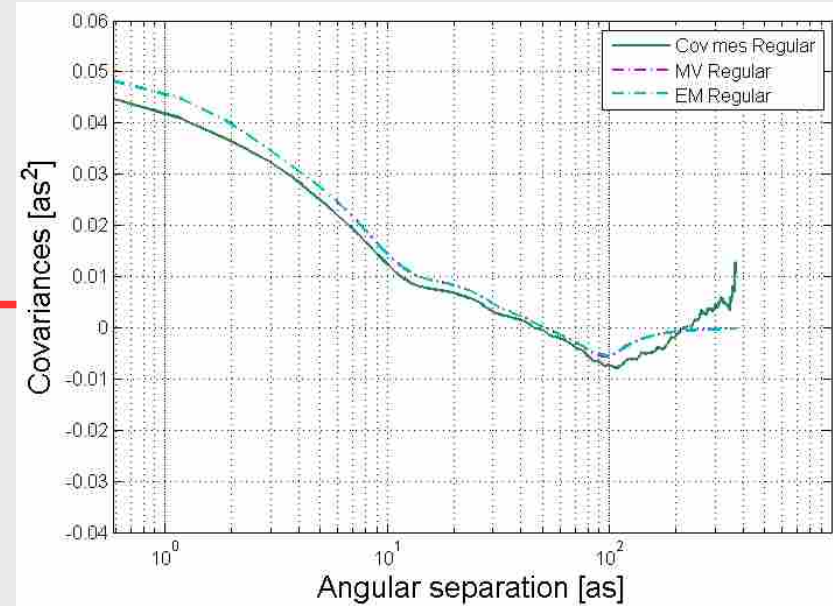
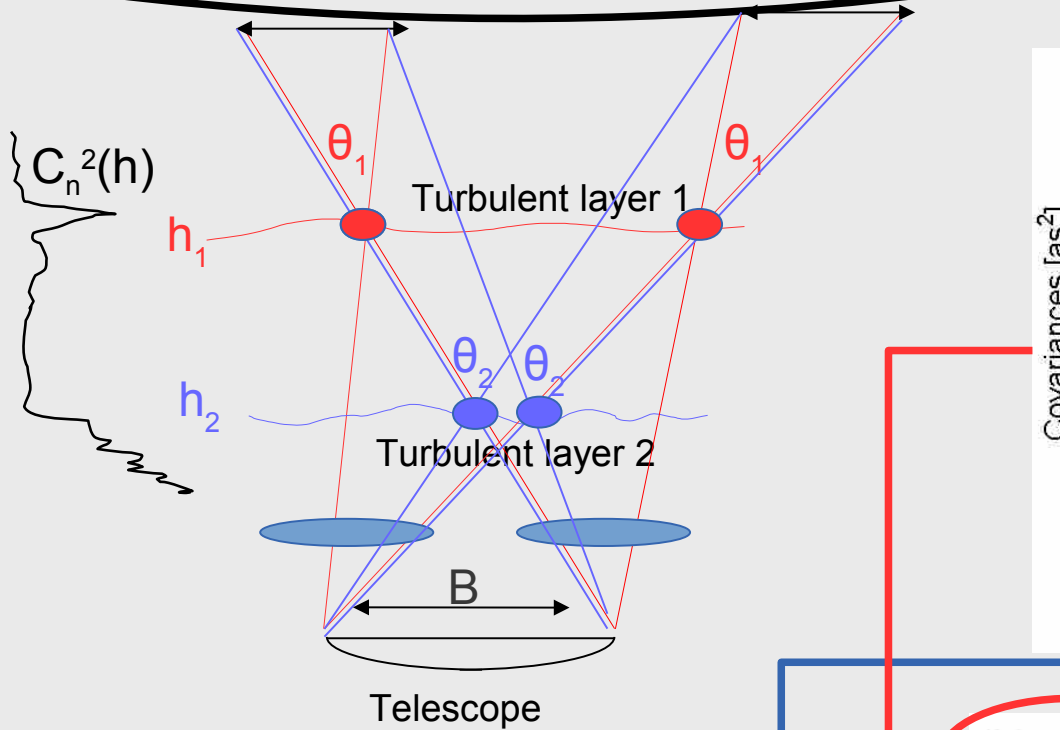
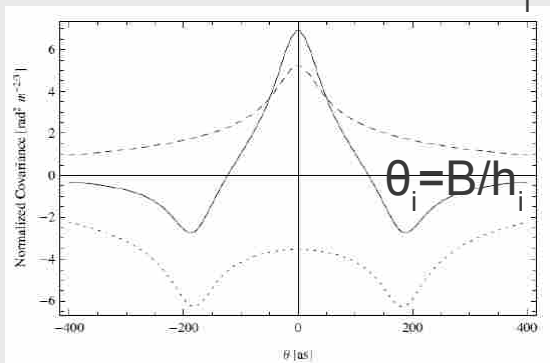


Traitement de l'image pour extraire les A.A:

- Alignement des bords
- Filtre Prewit

CATS PBL

Sources

Covariance 1 couche h_i 

$$C_{\Delta\alpha}(\theta_j) = \sum_i C_n^2(h_i) K'_\alpha(B, h_i, \theta_j)$$

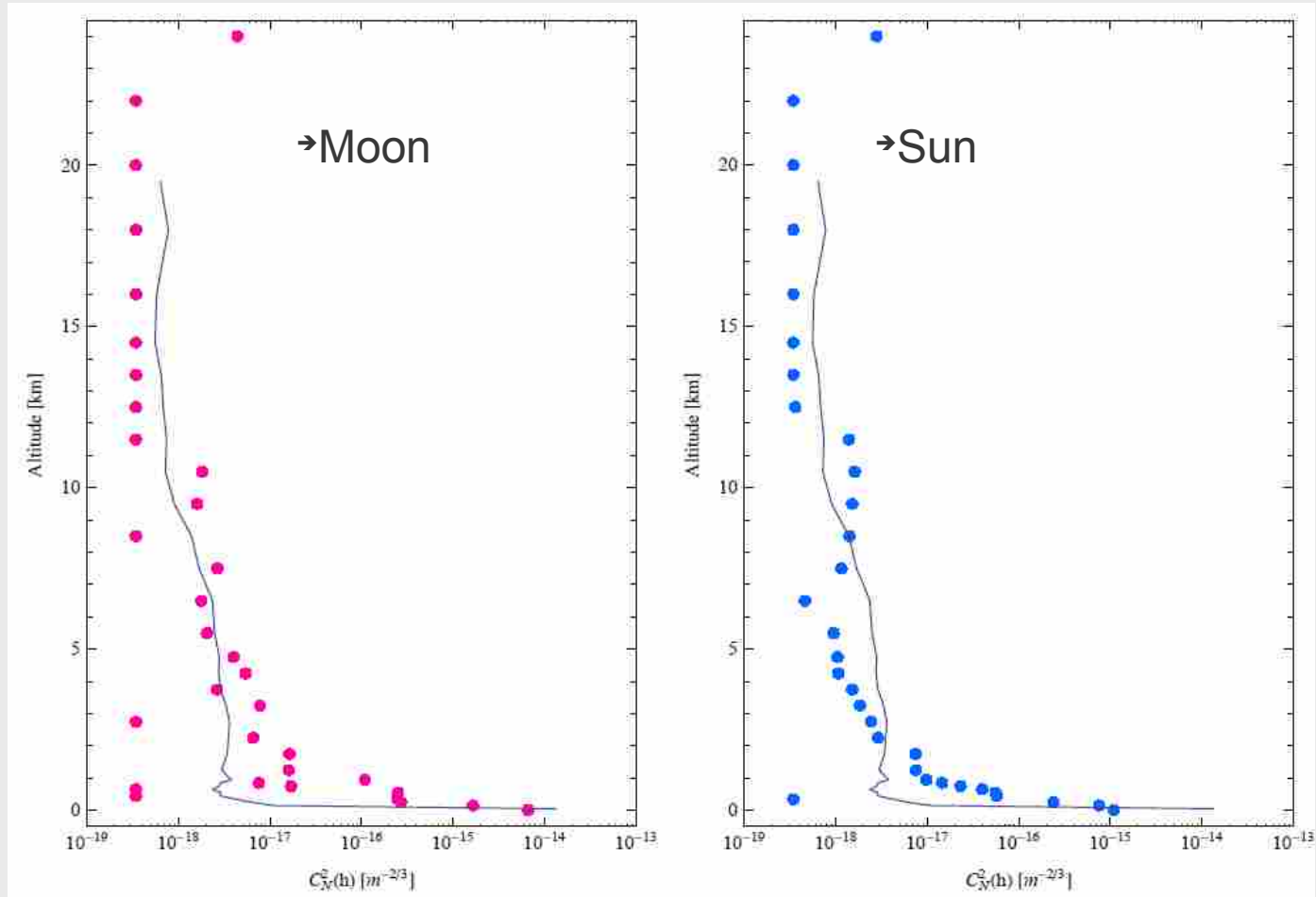
Mesuré

Modélisé

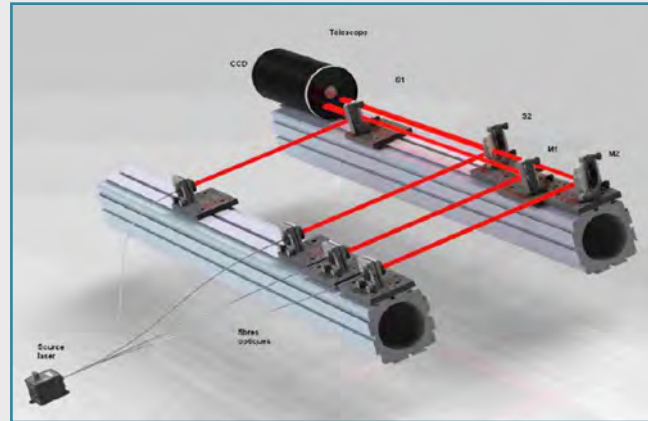
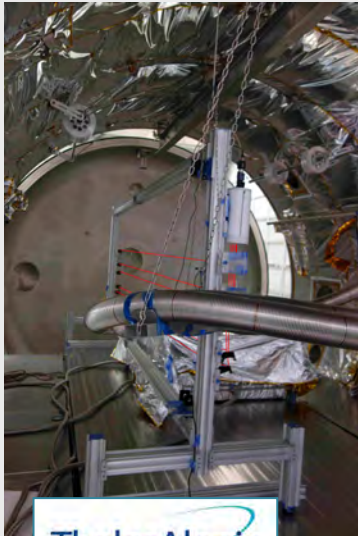
$$Y(\theta) = M \times C_n^2(h)$$

Il faut résoudre un problème inverse !

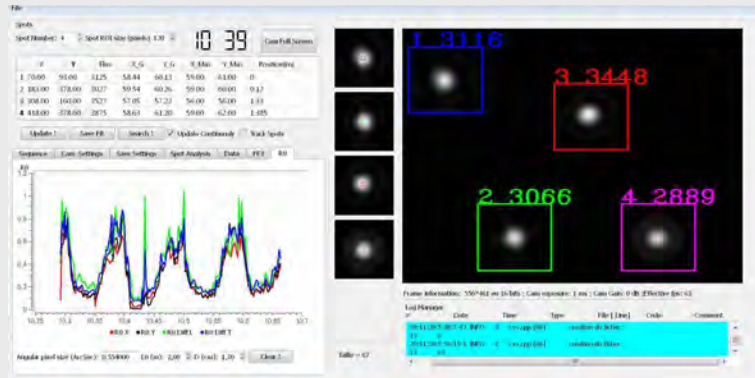
PBL : Profils de c_n^2



INTENSE : La turbulence à l'intérieur

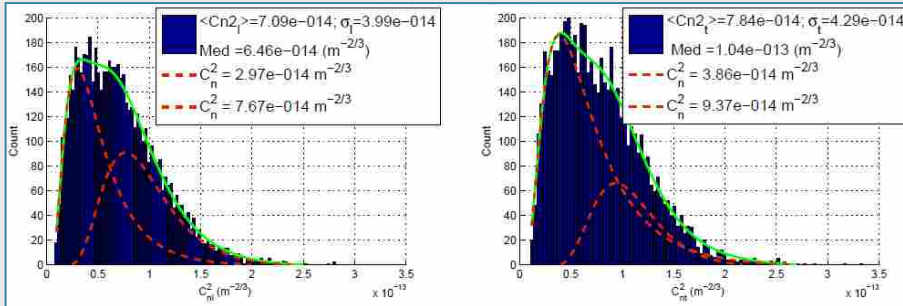


INDoor Turbulence Sensor



Résultats

Statistiques

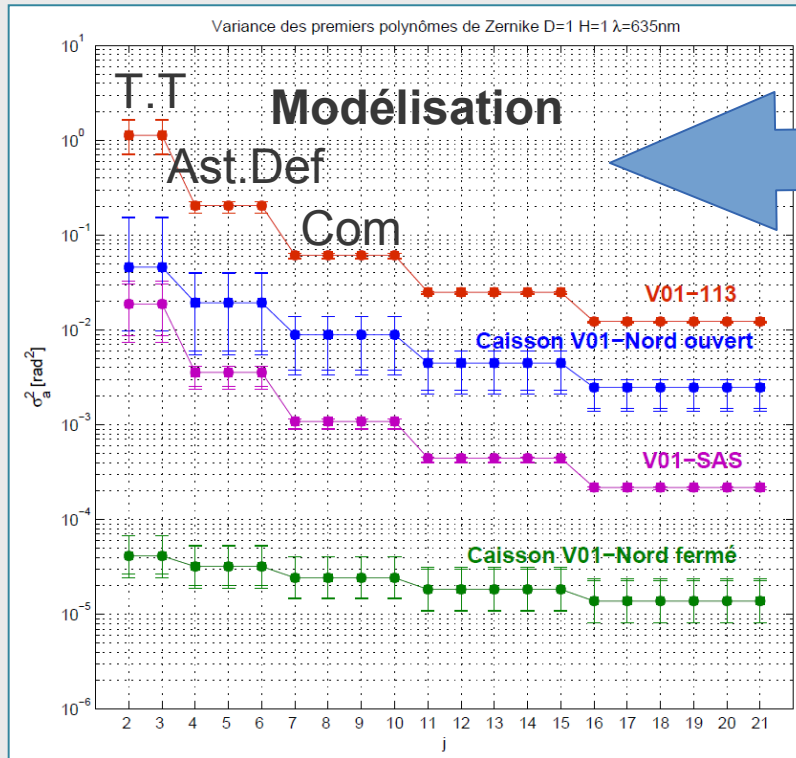


→ C_n^2

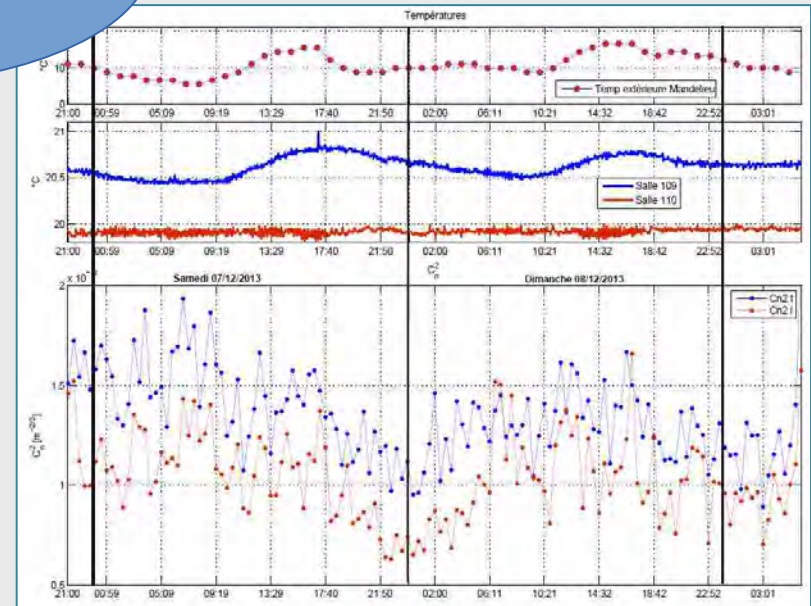
→ Échelle externe

→ Vitesse du vent

→ Profilométrie possible



Dynamique temporelle



Les infrastructures de CATS

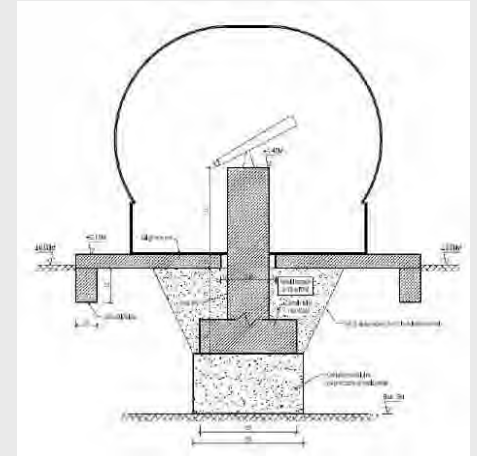
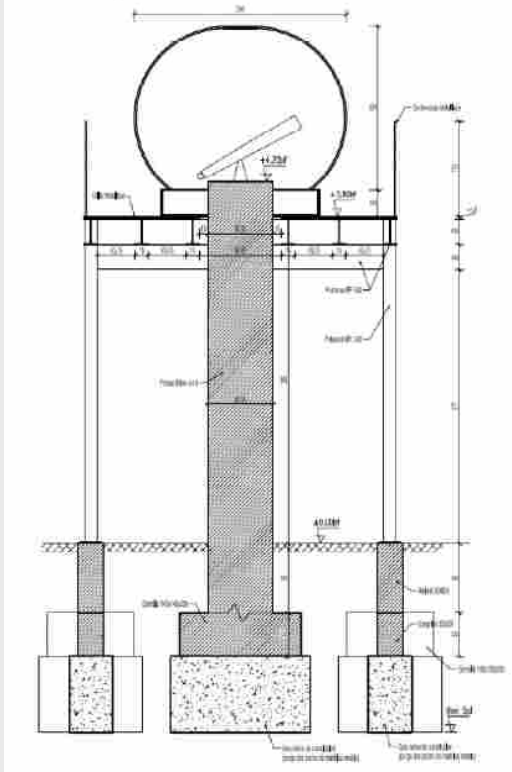
➤ Caméra All sky



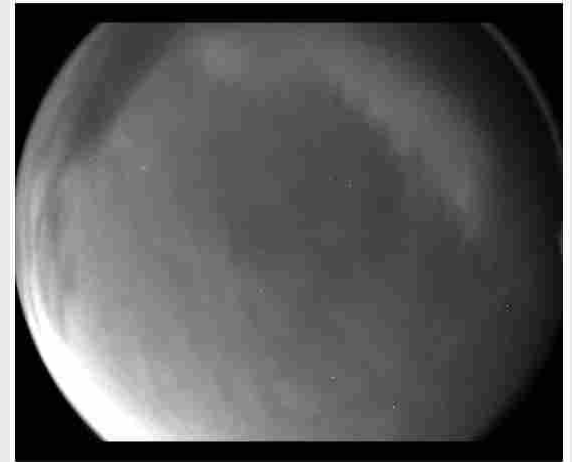
➤ Station météo



➤ Gestion automatique
des observations



CATS Allsky : surveillance du ciel



- Permet de calculer la fraction du ciel occultée par les nuages
- Anticiper l'arrivée de la pluie...

Contrôle de la station CATS

Liste des softs

Control Température Instr. (dome 1 & 2)

- Gestion des sondes de températures
- Sauvegardé dans la database
- Envoi alertes en cas de problèmes



DIMMG : Control instrument

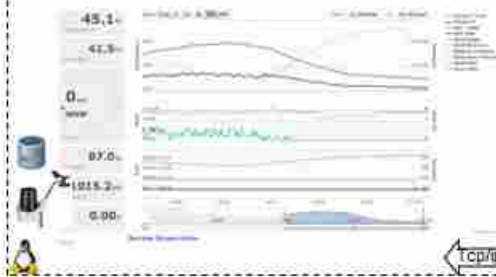


PBL : Control instrument



Logiciel gestion station meteo

Weewx (linux) disponible gratuitement



Logiciel Calcul couverture Nuageuse CATS_ALLSKY



Console instruments



Site internet

- Status des manip
- présentation résultats
- En cours ...*



Logiciel de gestion environnement météo CATS_WEATHER

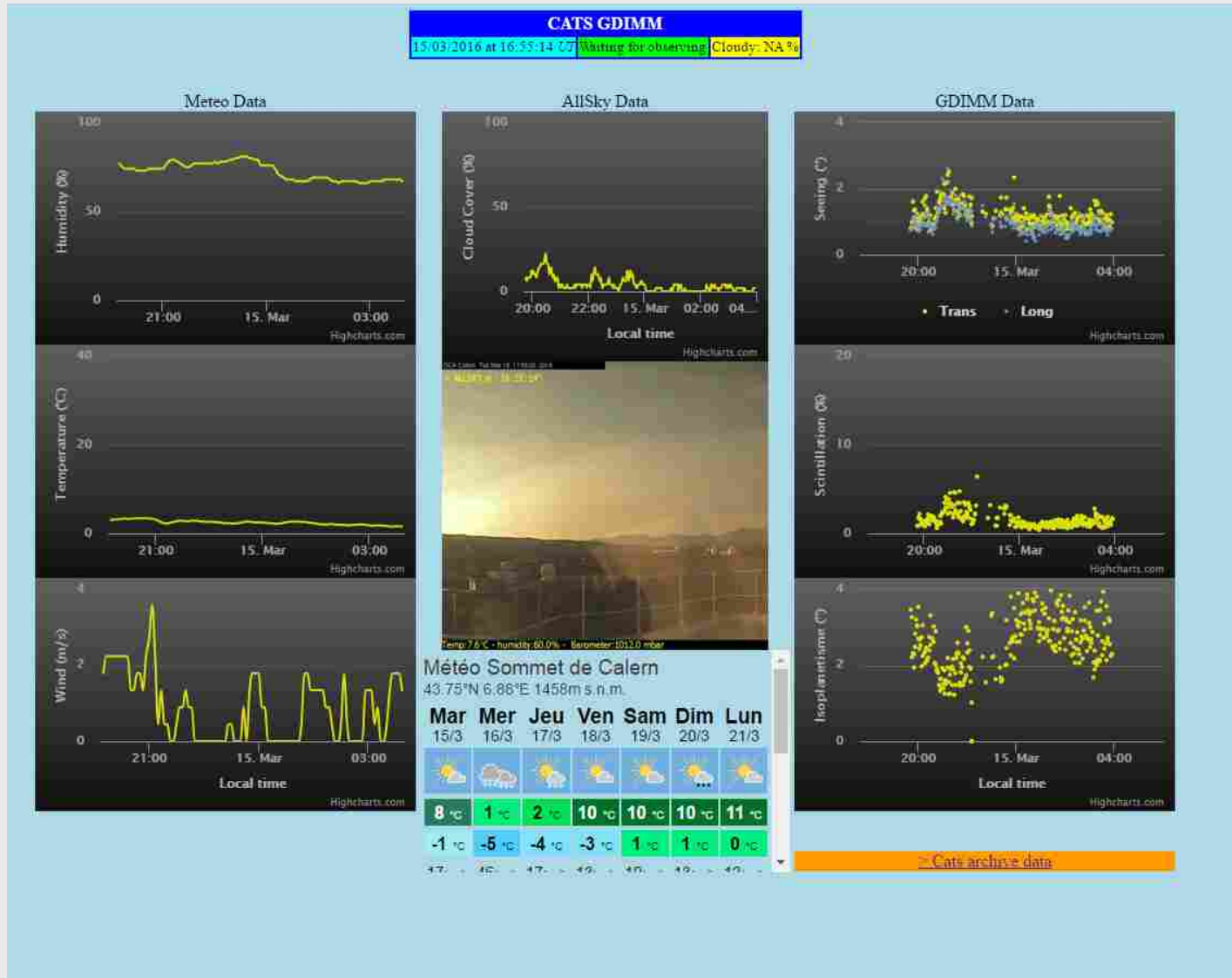
- Décide de l'observation
En cours ...



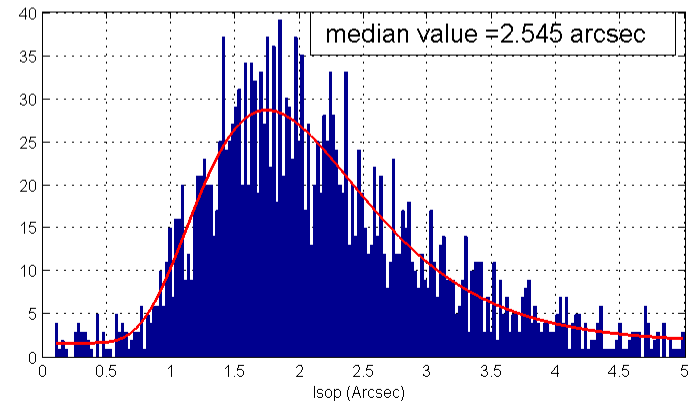
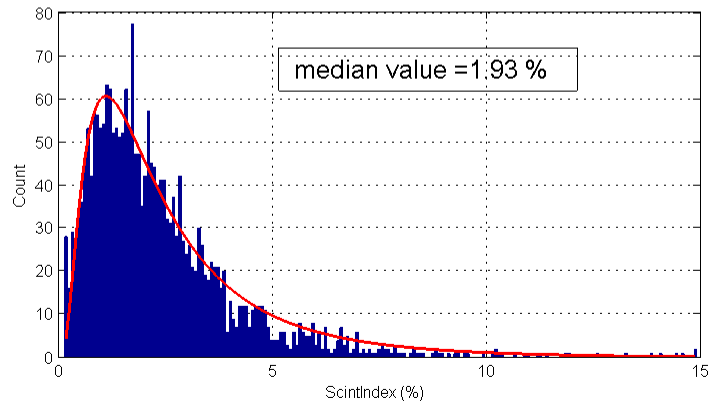
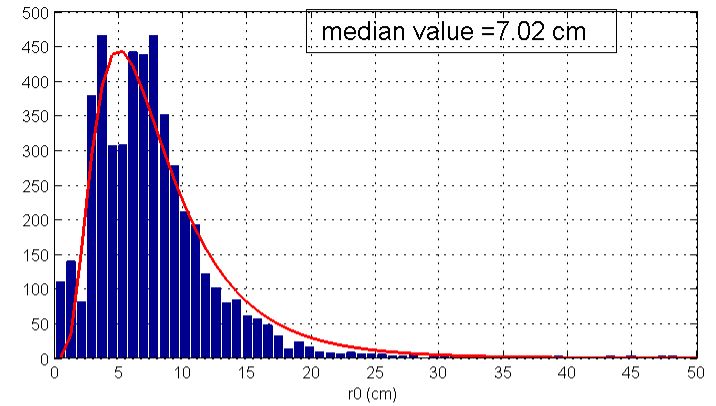
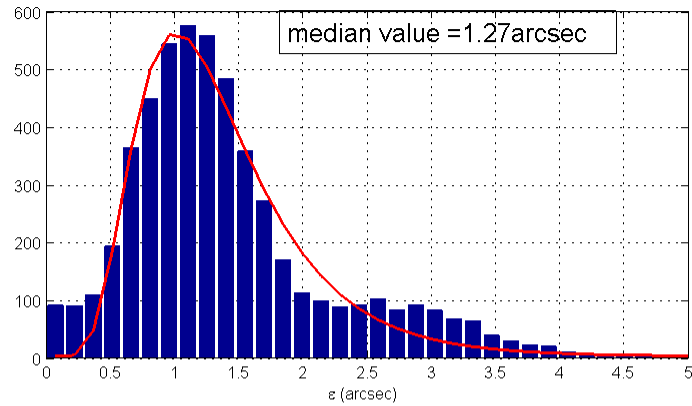
- Status des instruments
- Arrêt urgence (stop manip, fermeture dôme)
- Open Instruments
- Visu des caméras (live)
- Status et control manuel des dômes
- Status météo
- Visu et control des webcams
- Visu des log



Données « temps réel » sur site web



Données depuis novembre 2015



Projet CATS

- Financements:



- Fédération Doeblin

- Thèse co-financée CNES-Région PACA

Travaux dans un futur proche

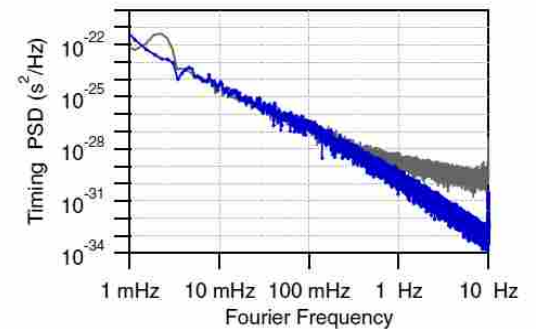
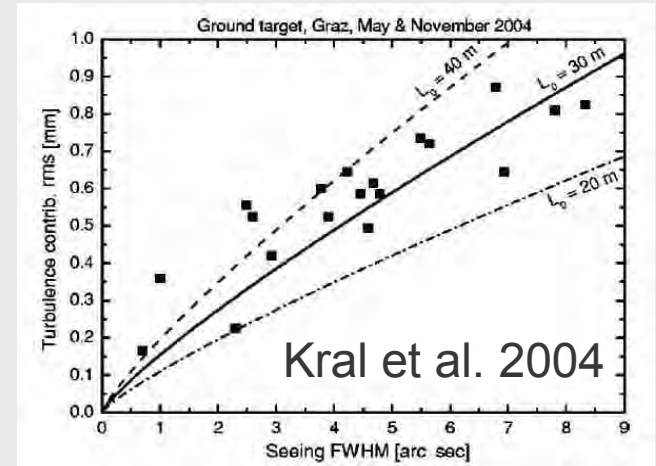


FIG. 8. (Color online) Angle-of-arrival PSD scaled as $(2\pi cf/V)^{-2} S_a(f)$, blue (dark gray) line, with $V = 0.7 \text{ m/s}$. From Eq. (2.7), this scaled PSD should overlap the time-of-flight PSD, light gray line, which it does, except where the fiber-path noise dominates at 2 mHz and above 0.5 Hz.

Sinclair et al. 2014



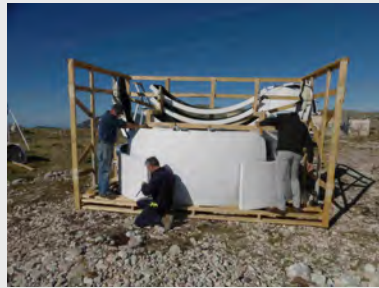
Conclusion

- Compréhension de l'impact de la turbulence sur les liens lasers.
 - Bilan de liaison
 - Timing Jitter sur transfert de temps T2L2
 - Smart scheduling / Optimisation
 - Bruit de scintillation sur lien télécom optique (Domino, Opals)
 - Optique Adaptative spéciale pour le laser

- Qualification diurne et nocturne du site de Calern (OA, HRA,..) :
 - Étude des variations à toutes les échelles de temps (du temps de cohérence à la décennie)
 - A long terme couplée aux données de la météo : faire un outil de prédiction.
 - Station prototype et modèle pour exportation vers d'autres observatoires.

Merci de votre attention !

Construction



Modélisation de la turbulence

