

Mesure des paramètres de la turbulence atmosphérique pour les futurs systèmes d'optique adaptative



Promotion OSAE
Troposphère VI
2009-2010

Juliette VOYEZ

Mail : juliette.voyez@onera.fr - Tél. : 01 46 73 48 41

Département d'Optique Théorique et Appliquée – Unité Haute Résolution Angulaire
ONERA – Châtillon



Directeur de thèse : Aziz Ziad, Laboratoire Fizeau, Université de Nice Encadrante Onera : Clélia Robert, DOT/HRA

Contexte scientifique

Pour améliorer leurs performances, les nouveaux systèmes d'optique adaptative grand champ conçus pour les futurs grands télescopes nécessitent une connaissance précise des paramètres de la turbulence.

Profil de la turbulence

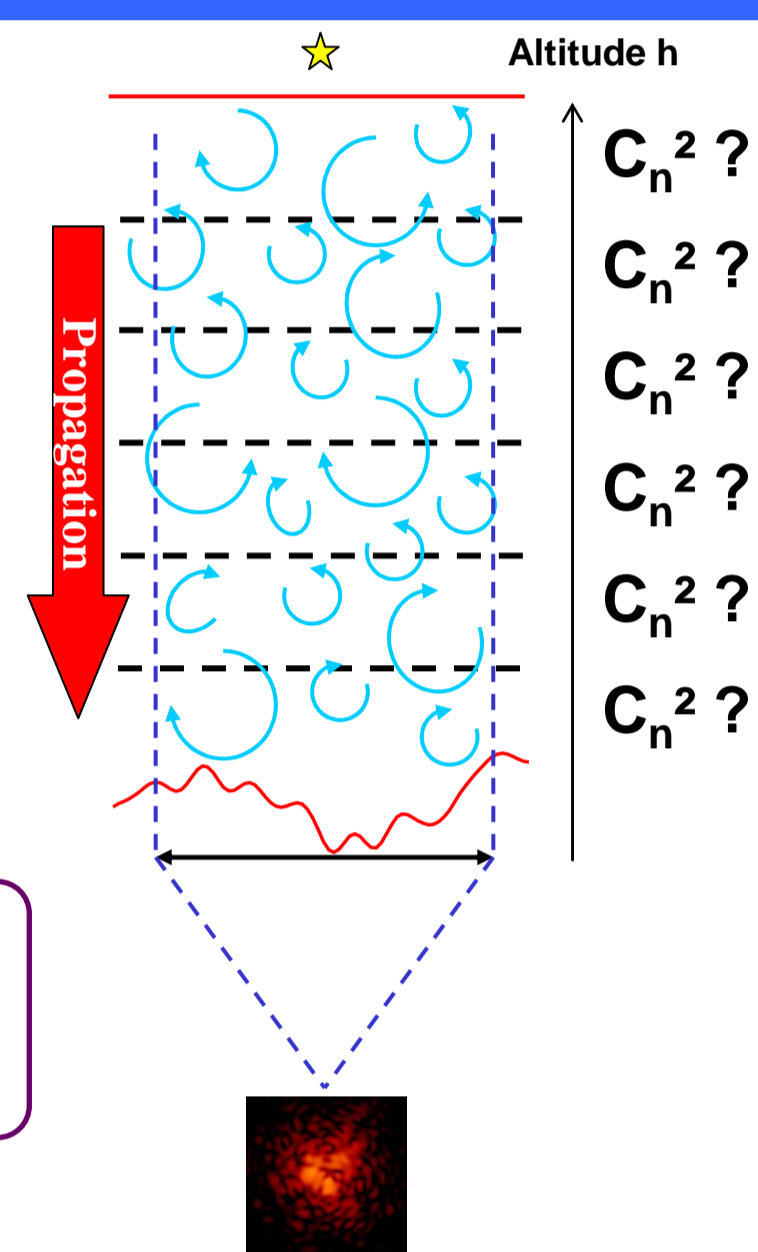
Fonction de structure de l'indice de réfraction n :

$$D_n(\rho) = \langle (n(\mathbf{r}) - n(\mathbf{r} + \rho))^2 \rangle = C_n^2 \rho^{5/3}$$

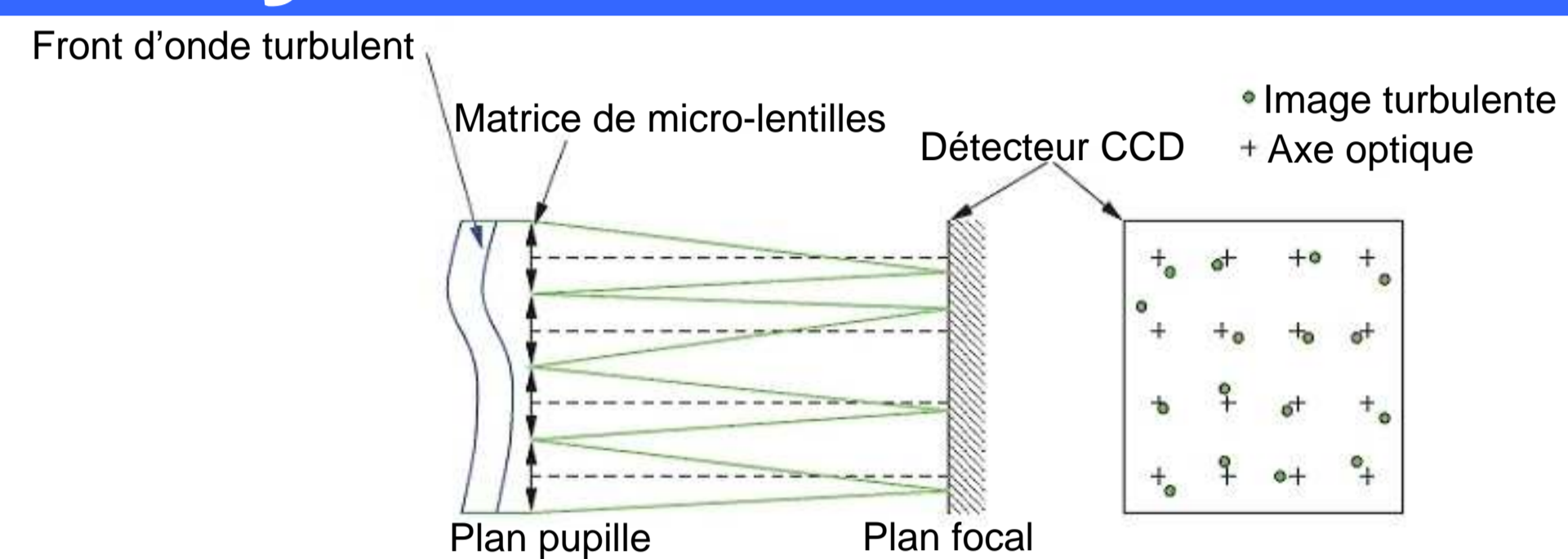
C_n^2 : constante de structure de l'indice de réfraction

- Dépend de l'altitude h
- Caractérise localement la force de la turbulence

Une connaissance précise du profil de C_n^2 est nécessaire



L'analyseur Shack-Hartmann



Données SH pour une étoile à la position angulaire α :

- $s_m(\alpha)$: pente moyenne du front d'onde dans la sous-pupille m
- $i_m(\alpha)$: intensité moyenne de l'onde incidente dans la sous-pupille m
- $o_m(\alpha)$: moyenne temporelle de $i_m(\alpha)$
- indice de scintillation : $\delta_m(\alpha) = \frac{i_m(\alpha) - o_m(\alpha)}{o_m(\alpha)}$

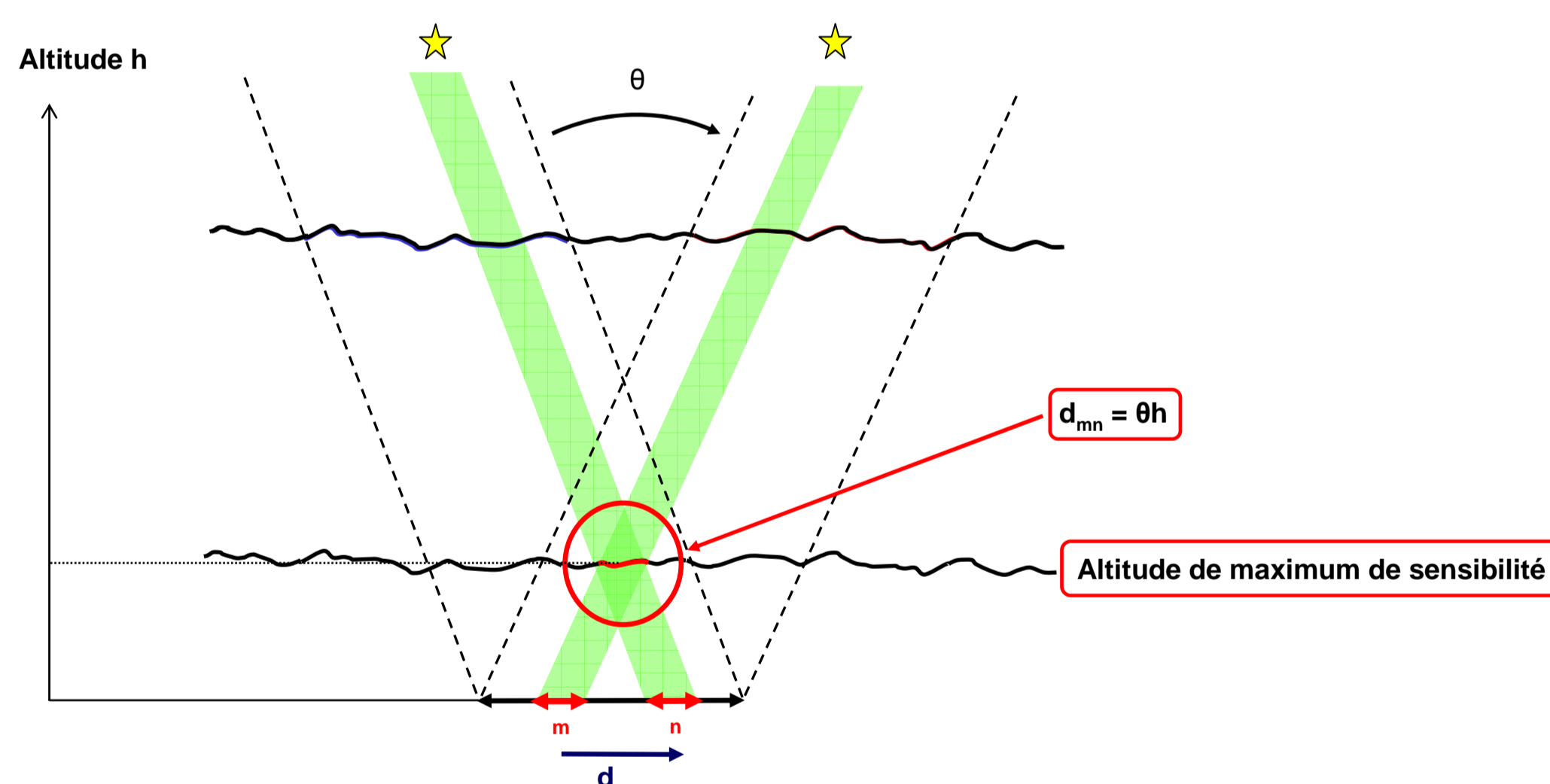
Détermination du profil de C_n^2 : méthode CO-SLIDAR

Détermination du profil de C_n^2 :

- Utilisation des corrélations des pentes du front d'onde : SLODAR
 - Sensibilité aux couches proches du sol
- Utilisation des corrélations des indices de scintillation : SCIDAR, MASS
 - Meilleure sensibilité aux couches de haute altitude

Utilisation des corrélations des pentes et de la scintillation mesurées conjointement avec un ASO-SH :
COupled **SL**ope and **sc**intillation **D**etection **A**nd **R**anging

Corrélations des pentes, de la scintillation et couplage



$$\langle s_m^k s_n^l \rangle(\theta) = \int C_n^2(h) W_{ss}^{kl}(h, d_{mn}, \theta) dh$$

Corrélations des pentes : C_n^2 au sol et à basse altitude

$$\langle \delta_m^k \delta_n^l \rangle(\theta) = \int C_n^2(h) W_{ii}^{kl}(h, d_{mn}, \theta) dh$$

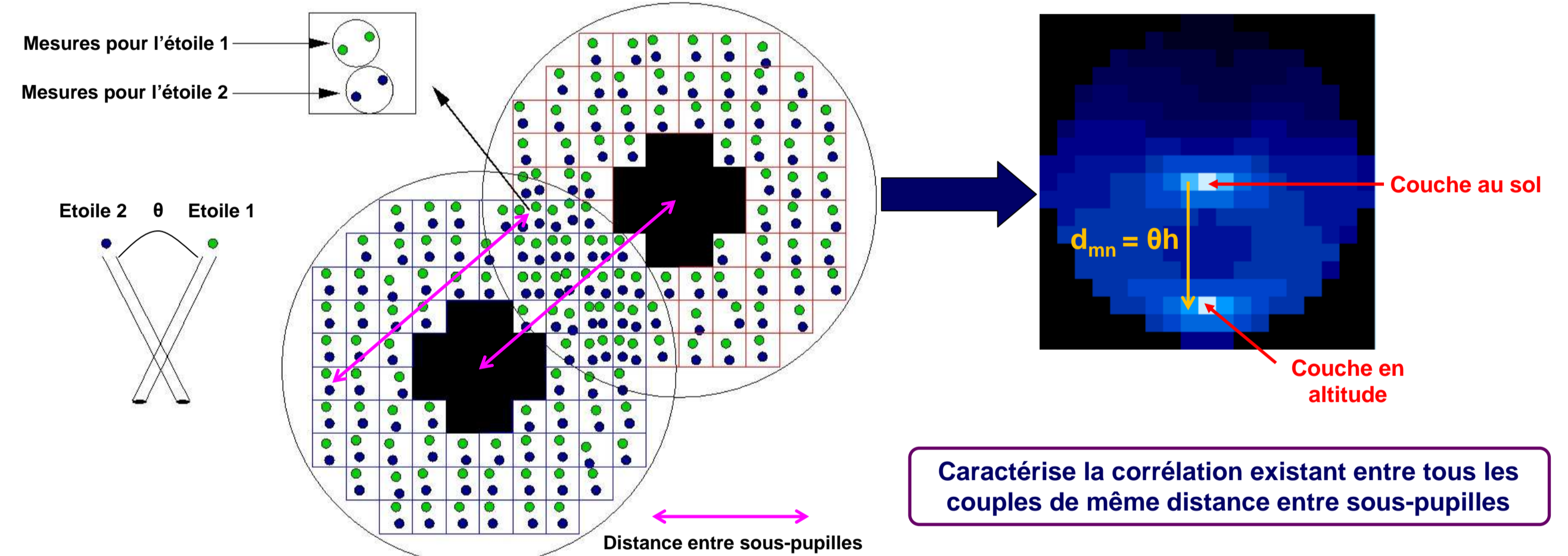
Corrélations de la scintillation : C_n^2 à haute altitude

$$\langle s_m^k \delta_n^l \rangle(\theta) = \int C_n^2(h) W_{si}^{kl}(h, d_{mn}, \theta) dh$$

Couplage : données additionnelles pour les couches intermédiaires

Les W sont des fonctions de poids qui dépendent de la géométrie de l'ASO-SH, des propriétés statistiques de la turbulence, de la séparation entre les étoiles et de la distance entre sous-pupilles.

Construction de cartes de corrélation



Caractérise la corrélation existant entre tous les couples de même distance entre sous-pupilles

Problème direct

$$C_{mes} = MC_n^2 + u$$

Le profil de C_n^2 échantillonné, S , est estimé par minimisation du critère de maximum de vraisemblance J , sous contrainte de positivité :

$$J = (C_{mes} - MS)^T C_{cov}^{-1} (C_{mes} - MS)$$

M : Matrice des fonctions de poids

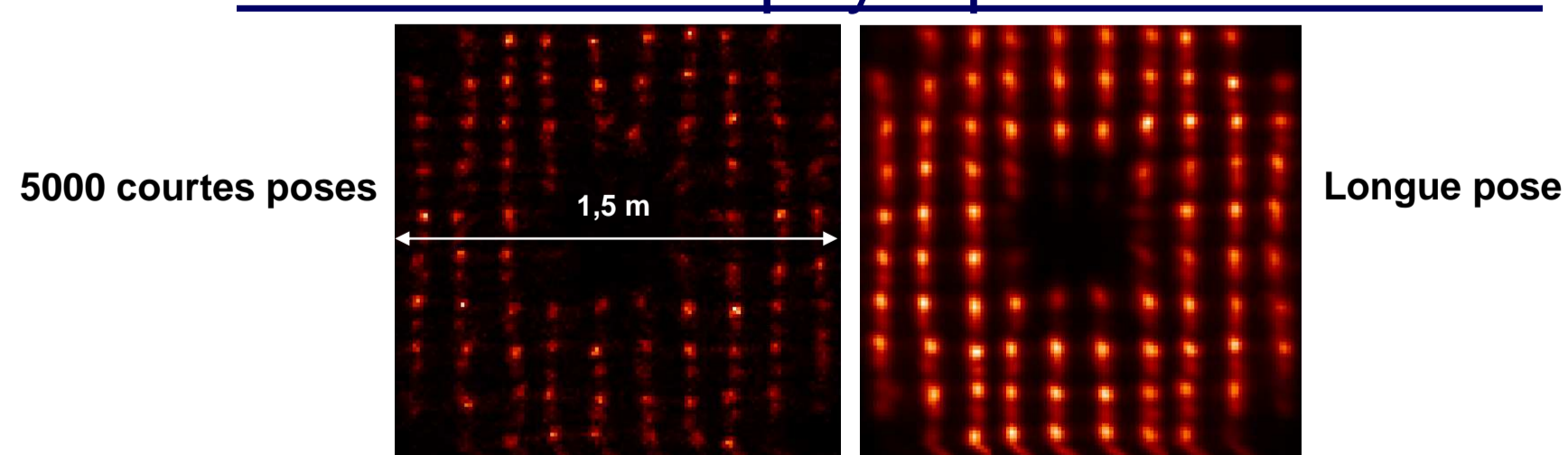
Bruit de convergence

Inconnu

Inverse de la matrice de covariance de u

Premiers résultats

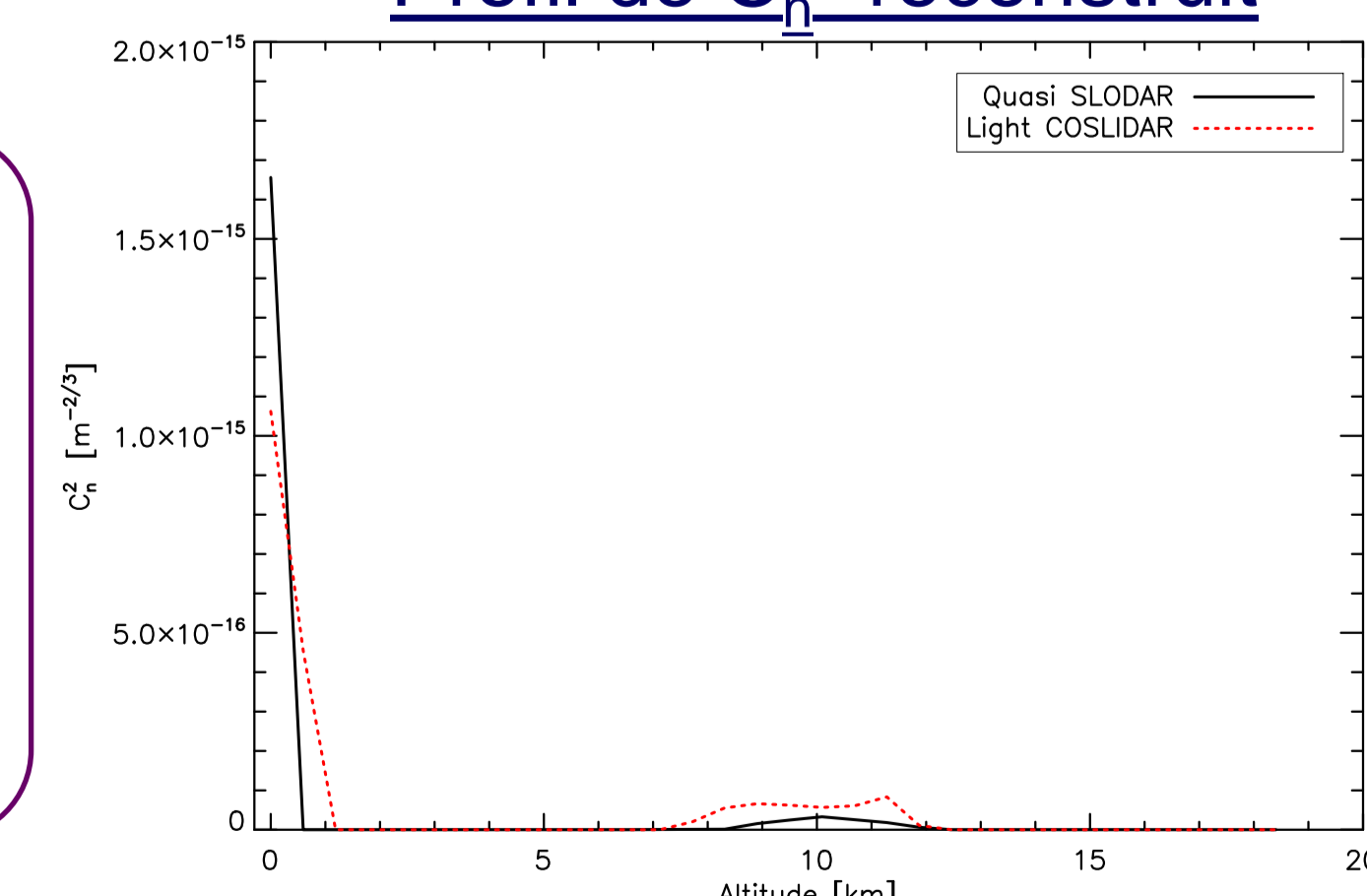
Traitement de données SH en provenance de l'Institut d'Astrophysique des Canaries



- Source : étoile binaire de séparation $\theta = 5,6''$, magnitudes $V = 4,8-5,9$
- Télescope : 1,5 m de diamètre, obstruction centrale de 40%
- ASO-SH : 10x10 sous-pupilles de 15 cm de diamètre
- Détecteur : EMCCD, 120x120 pixels, $F_{ech} = 330$ Hz, $\lambda = 0,6 \mu m$

- 76 sous-pupilles conservées pour le traitement
- Positions et intensités mesurées en utilisant un nouvel estimateur : Reconstarfield
- Extraction des pentes et des indices de scintillation
- Calcul des corrélations
- Reconstruction du profil de C_n^2

Profil de C_n^2 reconstruit



- Quasi SLODAR : utilisation des corrélations des pentes uniquement
- Light COSLIDAR : utilisation des corrélations des pentes et des corrélations des indices de scintillation

Perspectives

Court terme :

- Design d'un ASO-SH pour reconstruire le profil de C_n^2 sur 20 km d'atmosphère avec une résolution d'1 km
- Détermination du nombre de trames nécessaires pour atteindre une meilleure précision et prise en compte optimale des bruits de détection
- Implémentation d'un critère de maximum a posteriori

Long terme :

- Etude de l'influence de l'échelle externe sur le CO-SLIDAR
- Etude de la possibilité de détermination des profils de vent et d'échelle externe
- Détermination de la précision requise sur le profil de C_n^2 (et les autres paramètres de la turbulence) pour une correction par OA optimale
- Estimation du profil de C_n^2 par utilisation de l'OA grand champ

Références

- N. Védrenne, Propagation optique et correction en forte turbulence, Thèse de Doctorat, 2008.
- N. Védrenne, V. Michau, C. Robert et J.-M. Conan, C_n^2 Profile from Shack-Hartmann Data. Opt. Lett, Sept. 2007.