

# Premiers tests de l'algorithme de reconstruction de PSF pour NACO

Yann Clénet

LESIA (CNRS, Observatoire de Paris), Phase



# Collaboration

- ESO

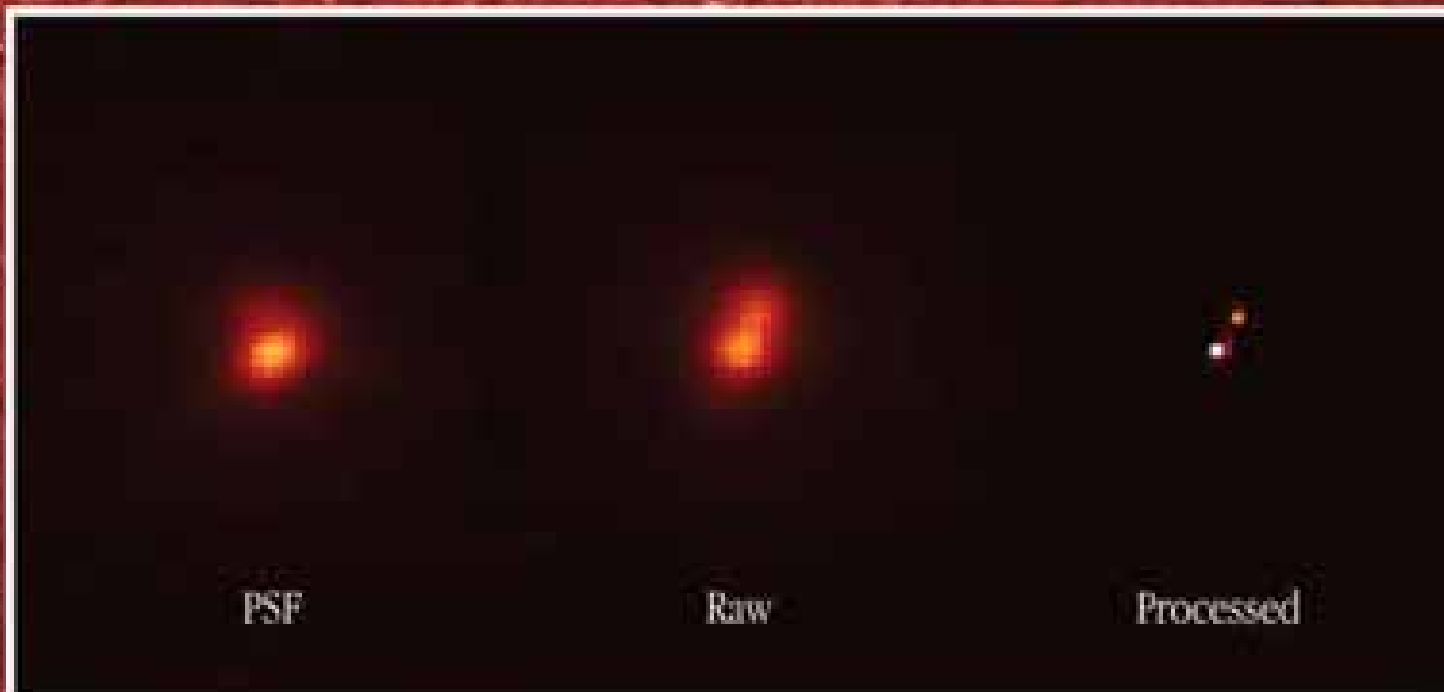
- Chili : C. Lidman, N. Ageorges, O. Marco
- Garching : M. Kasper

- Phase

- Observatoire de Paris : E. Gendron, G. Rousset
- ONERA : T. Fusco

# Motivation

- Améliorer la qualité d'image



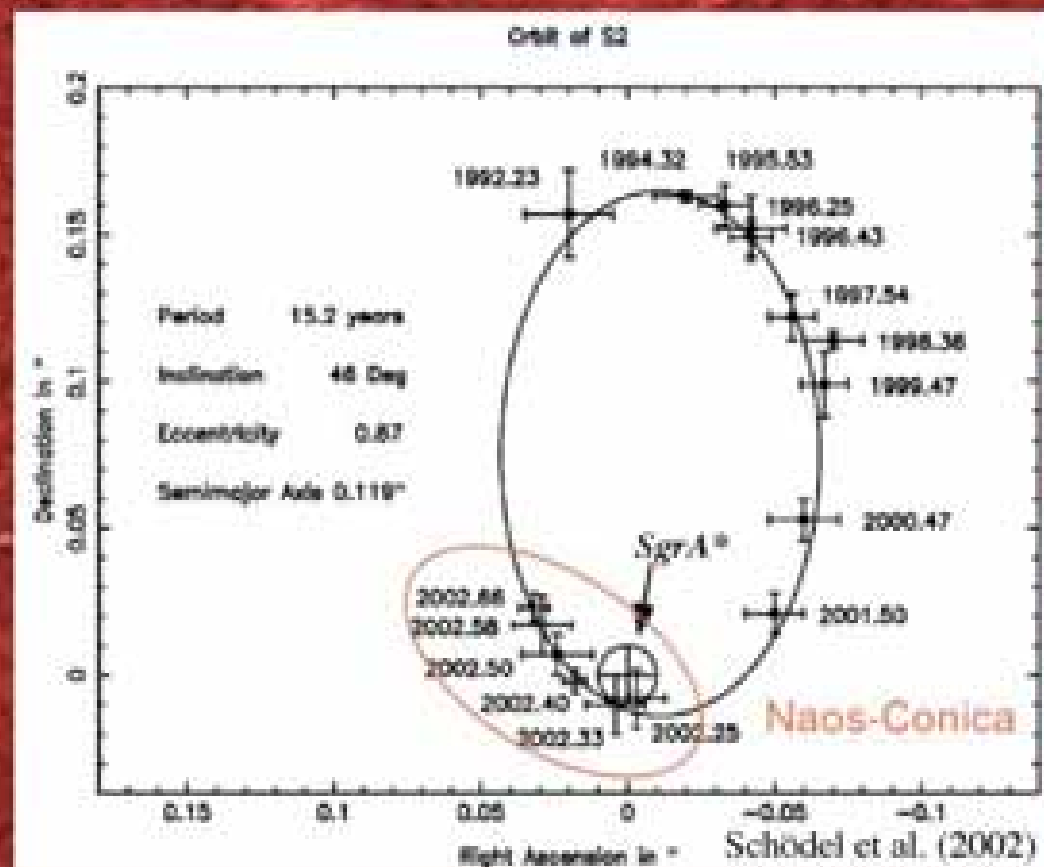
Separation of a Very Close Double Star  
(VLT YEPUN + NAOS-CONICA)

# Motivation

- Astrométrie et photométrie



© MPE



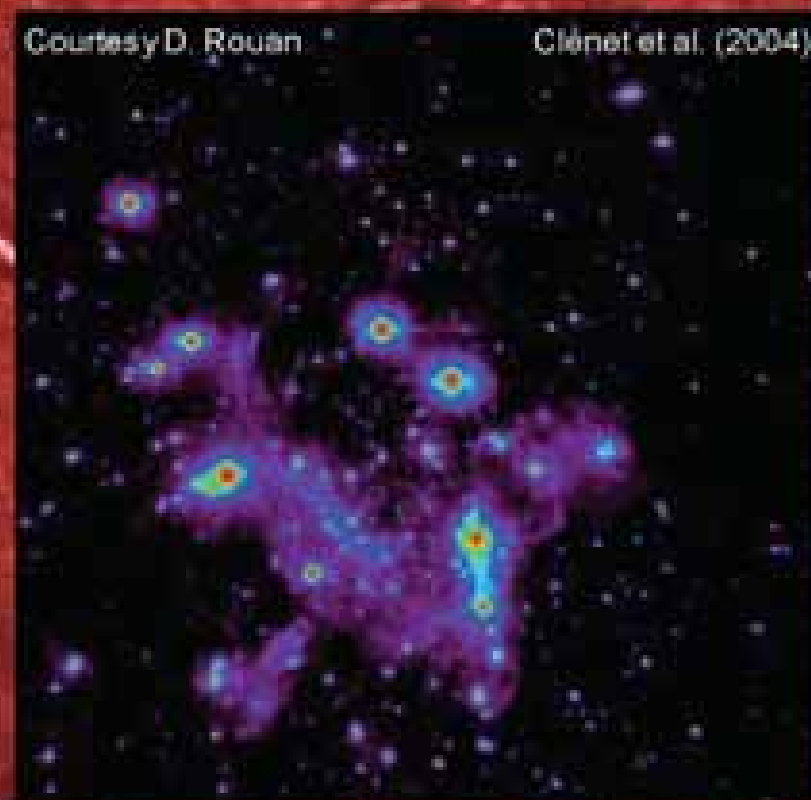
# Calibration de la réponse impulsionnelle

- Classiquement : alternance de poses astrophysiques et de calibration
  - Nécessité d'une qualité de correction équivalente
    - Même flux et distribution spatiale/spectrale du flux
    - Même conditions d'observation (airmass, turbulence)
  - Perte de temps d'observation

# Variabilité temporelle et spatiale de la PSF

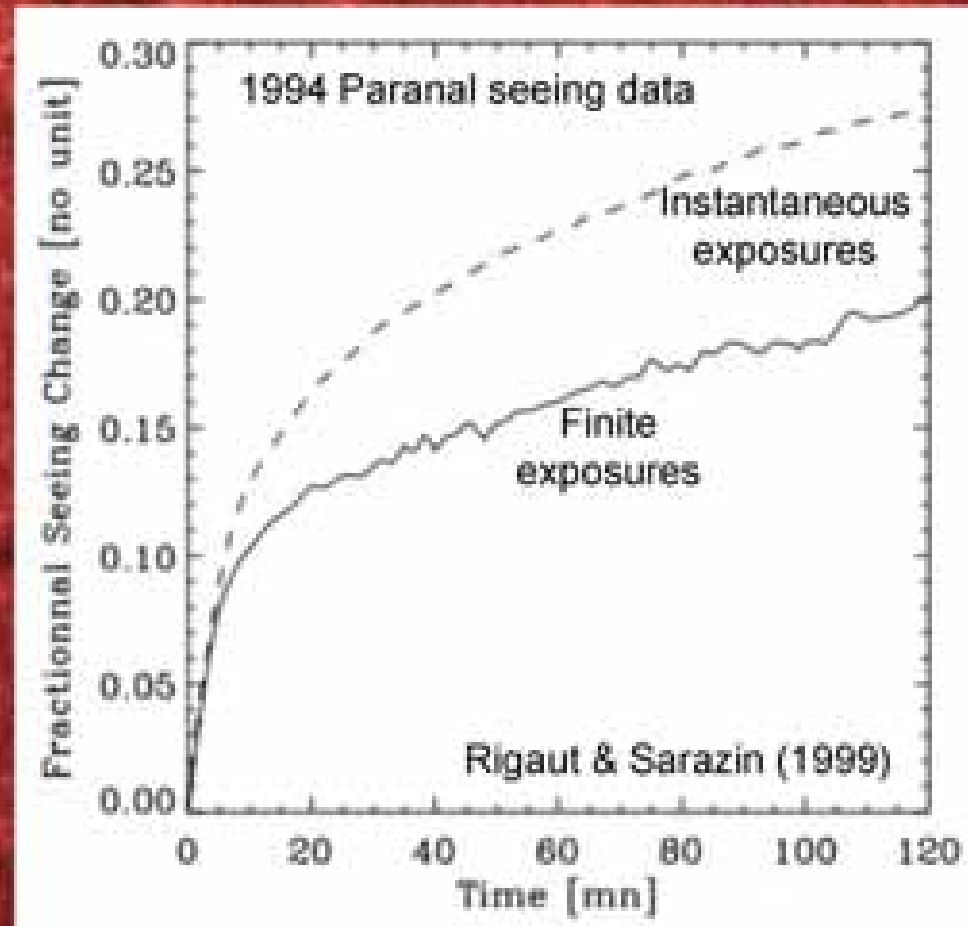
Courtesy D. Rouan

Clénet et al. (2004)

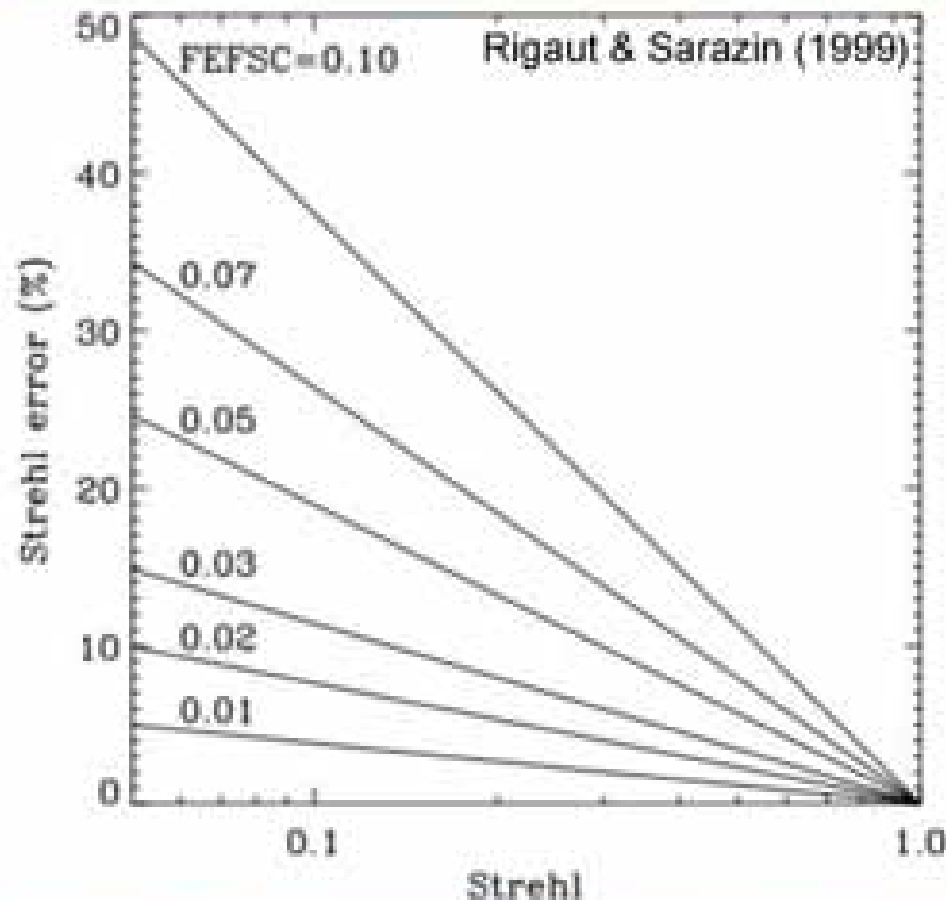


# Variabilité temporelle

- A 10 min d'intervalle
- Variation du seeing de 13% en moyenne pour des poses instantanées
- Variation du seeing de 10% en moyenne pour des temps de poses finis



# Variabilité temporelle



- Avec un modèle simple

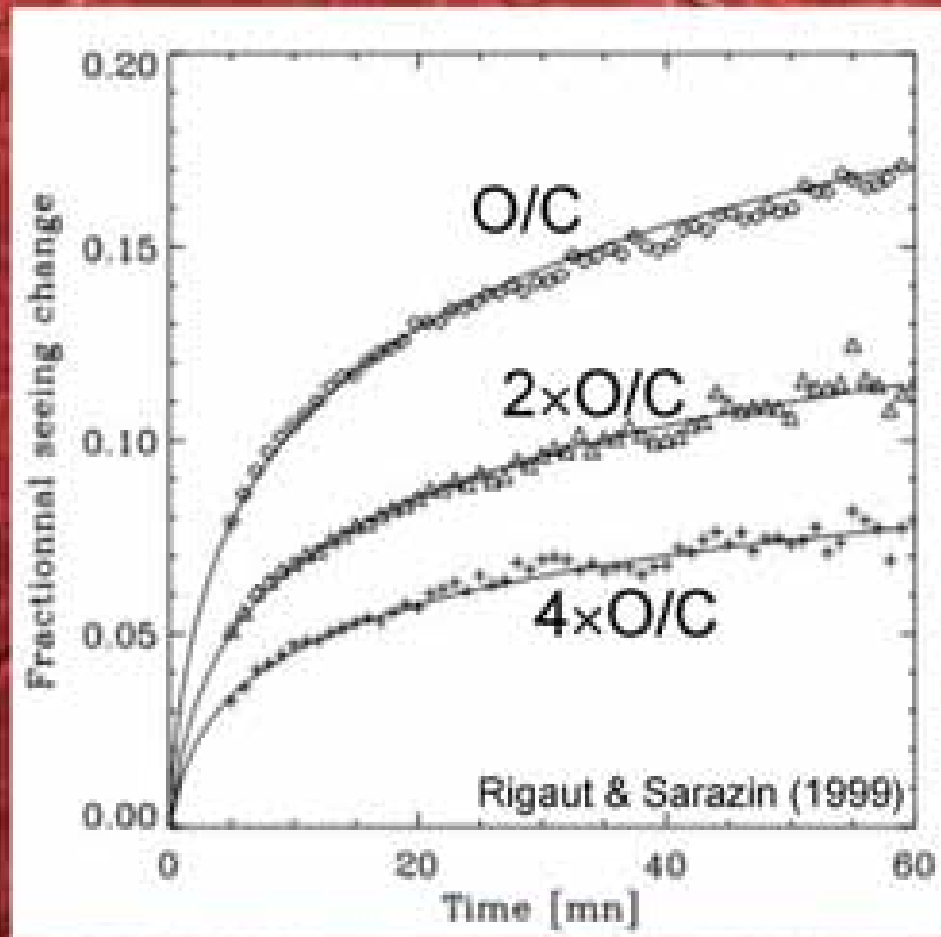
$$SR = \exp(-\sigma_{\phi}^2)$$

$$\sigma_{\phi}^2 \propto r_0^{5/3}$$

- 10 min d'intervalle  $\Rightarrow$  20% d'erreur pour SR=30%



# Variabilité temporelle



- L'alternance de poses science/calibration décroît FSC ( $\sqrt{N_{\text{exp}}}$ )
- Mais pour 10 min d'intervalle, atteindre 2% d'erreur sur SR  $\Leftrightarrow$  100xO/C !

# La reconstruction de PSF

- Objectif : s'affranchir de la variabilité temporelle et spatiale de la PSF pour en obtenir une calibration fiable
- Moyen : exploitation des données temps-réel de la boucle d'OA

# A l'origine

- J.-P. Véran (et al. 1997)
  - PUEO/CFHT (ASO à courbure, 36 modes)
  - Qq hypothèses critiques ( $\Rightarrow m_V < 14$ )
    - Bande passante temporelle de l'ASO "grande"
    - Statistique gaussienne de la phase
    - Phase corrigée quasi-stationnaire sur la pupille

$$\langle OTF(\vec{\rho}/\lambda) \rangle = \langle OTF_{\phi_{e_{\parallel}}}(\vec{\rho}/\lambda) \rangle \times \langle OTF_{\phi_{e_{\perp}}}(\vec{\rho}/\lambda) \rangle \times OTF_{\text{tel}}(\vec{\rho}/\lambda)$$

$$\langle \epsilon_{\parallel} \epsilon_{\parallel}^t \rangle = \langle \hat{\epsilon}_{\parallel} \hat{\epsilon}_{\parallel}^t \rangle - \langle n n^t \rangle + \langle r r^t \rangle$$

- Utilisée de façon routinière à chaque observation PUEO

## Autres développements

- Harder S. & Chelli A. (2000), ADONIS
- R. Weiss (2003), ALFA/Calar Alto 3.5m
- M. Fitzgerald (2004), Lick Observatory 3m
- L. Jollissaint (2004), Altair/Gemini North
- J. Marino, K. Richards & T. Rimmele (2004),  
Dunn Solar Telescope

# NACO



# Reconstruction de PSF pour NACO

- Envisagée dès le design : données temps-réel dédiées fournies avec les images (Rabaud et al. 2000)
  - covariances et moyennes des coefficients modaux
    - déduits des pentes résiduelles
    - déduits des tensions
  - Variance de Zernike "moyenne"
- Estimation de paramètres atmosphériques :  $r_0$ ,  $L_0$ ,  $\tau_0$  (Fusco et al. 2004)
- Mais aucun algorithme existant à l'origine  
⇒ développement d'un algorithme dédié (Clénet et al. 2006)

# Reconstruction de PSF pour NACO

- Basée sur l'algorithme de Véran et al.

$$\langle OTF(\vec{\rho}/\lambda) \rangle = \langle OTF_{\phi_{e_{\parallel}}}(\vec{\rho}/\lambda) \rangle \times \langle OTF_{\phi_{e_{\perp}}}(\vec{\rho}/\lambda) \rangle \times OTF_{\text{tel}}(\vec{\rho}/\lambda)$$

$$\langle OTF_{\phi_{e_{\parallel, \perp}}}(\vec{\rho}/\lambda) \rangle = \exp\left(-\frac{1}{2} \bar{D}_{\phi_{e_{\parallel, \perp}}}(\vec{\rho})\right)$$

- Mais algorithme de Véran et al.
  - Modifié
  - Adapté au système NAOS



# FTO de la phase résiduelle : "l'algorithme des $V_{ij}$ "

- Classiquement : 
$$\bar{D}_{\phi_{\epsilon_{\parallel}}}(\vec{\rho}) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \langle \epsilon_{\parallel i} \epsilon_{\parallel j} \rangle U_{ij}(\vec{\rho})$$
- Mais les  $U_{ij}$  sont
  - Nombreux ( $N \times (N+1)/2$ )
    - NACO:  $\sim 10^4$   $U_{ij}$  (VLT/SPHERE: few  $10^5$ )
  - Des tableaux de grande dimension
    - Sauvés sur le disque  $\Rightarrow$  besoin en espace disque important
    - Lus pendant la reconstruction  $\Rightarrow$  processus long



# FTO de la phase résiduelle : "l'algorithme des $V_{ii}$ "

- Dans la base diagonalisant la matrice de covariance de la phase résiduelle :

$$\bar{D}_{\phi_{e_{\parallel}}}(\vec{\rho}) = \sum_{i=1}^N \langle \eta_i \eta_i \rangle V_{ii}(\vec{\rho}) = \sum_{i=1}^N \lambda_i V_{ii}(\vec{\rho})$$

⇒ Plus de tableaux à sauvegarder sur disque  
Algorithme bien plus rapide  
Résultat mathématiquement égal

(Gendron et al. 2006)

# FTO de la phase résiduelle

$$\langle \epsilon_{\parallel} \epsilon_{\parallel}^t \rangle = \langle \hat{\epsilon}_{\parallel} \hat{\epsilon}_{\parallel}^t \rangle - \langle nn^t \rangle + \langle rr^t \rangle$$

- Matrice de covariance des mesures fournies avec les images NACO
- Matrice de covariance du bruit
  - A l'origine : estimée à partir de la variance "moyenne" de Zernike
  - Légère modification (récente) du soft NAOS pour fournir le vecteur entier de variances de Zernike
- Matrice de covariance du repliement : modèle de Shack-Hartmann avec des modes Zernike

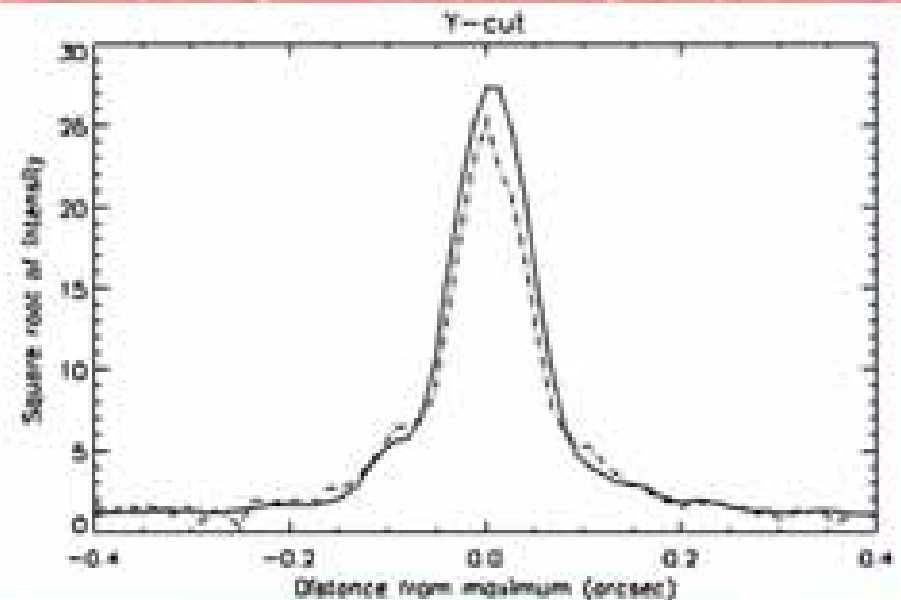
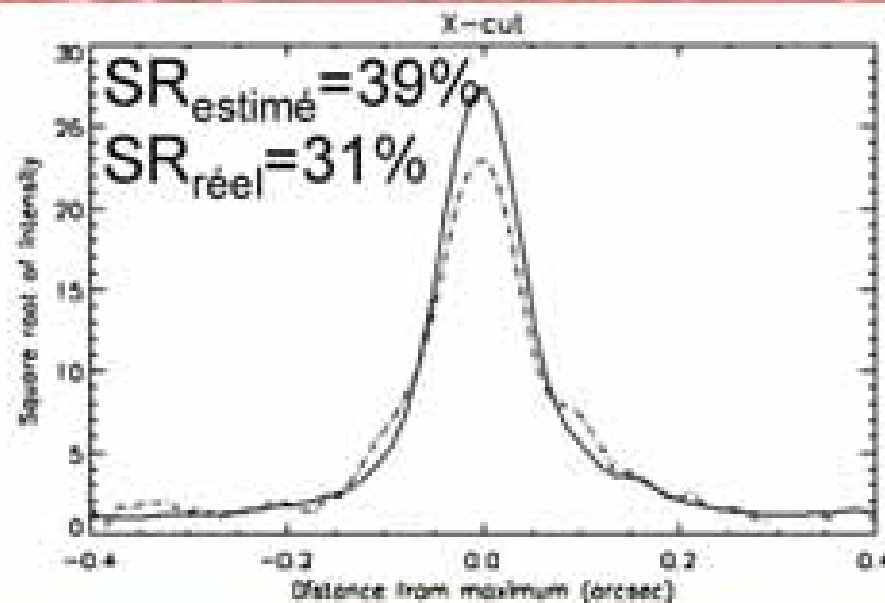
$$\langle nn^t \rangle = \left( \frac{D}{r_0} \right)^{2\text{cov}} (D_M^+ D_Z - P_{ZM}) C_{\text{Noll}} (D_M^+ D_Z - P_{ZM})^t$$

# Tests

- Données de test
  - Fournies par l'équipe ESO de l'instrument NACO
  - Obtenues lors de créneaux "libres" du temps technique NACO
    - ⇒ Pas de base régulière
    - ⇒ Météo critique !

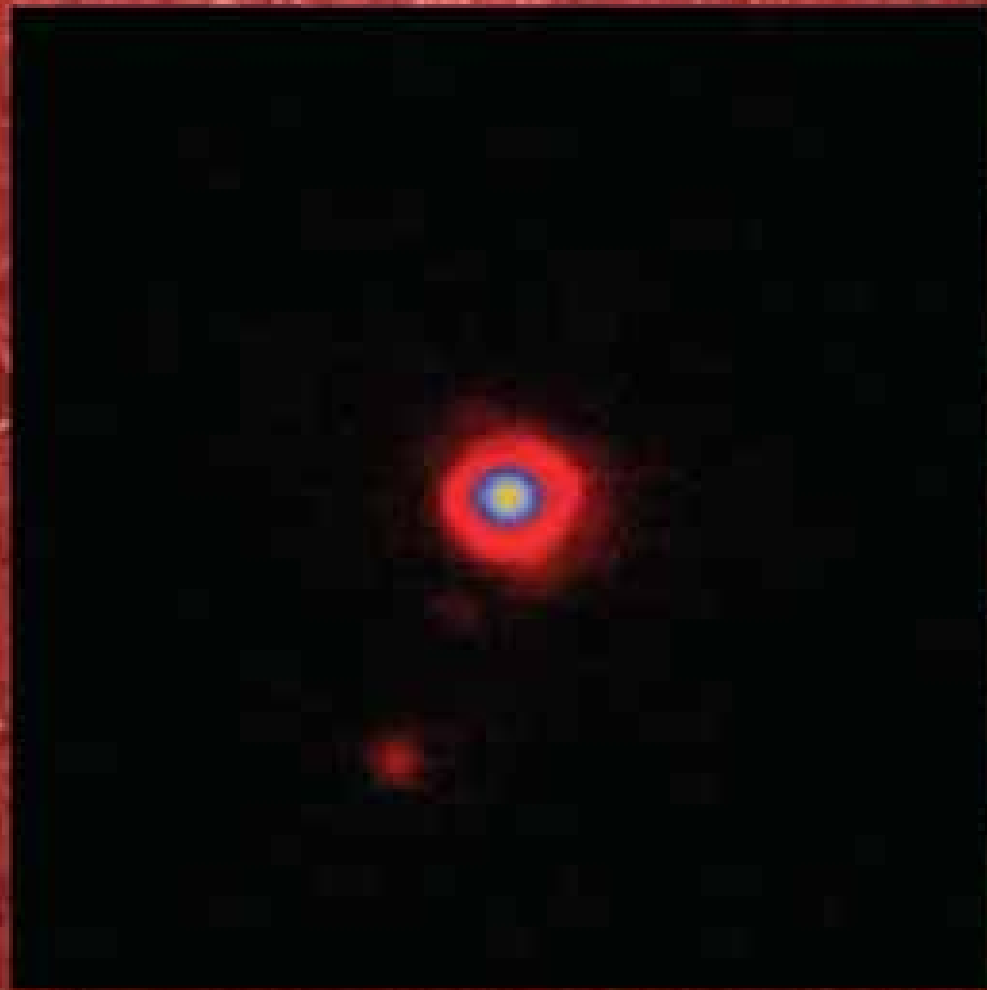
# Résultats

- 1<sup>er</sup> test : une étoile V=9



- SR surestimé
  - Aberrations statiques : image de fibre
  - Pas d'aliasing
  - Compagnon

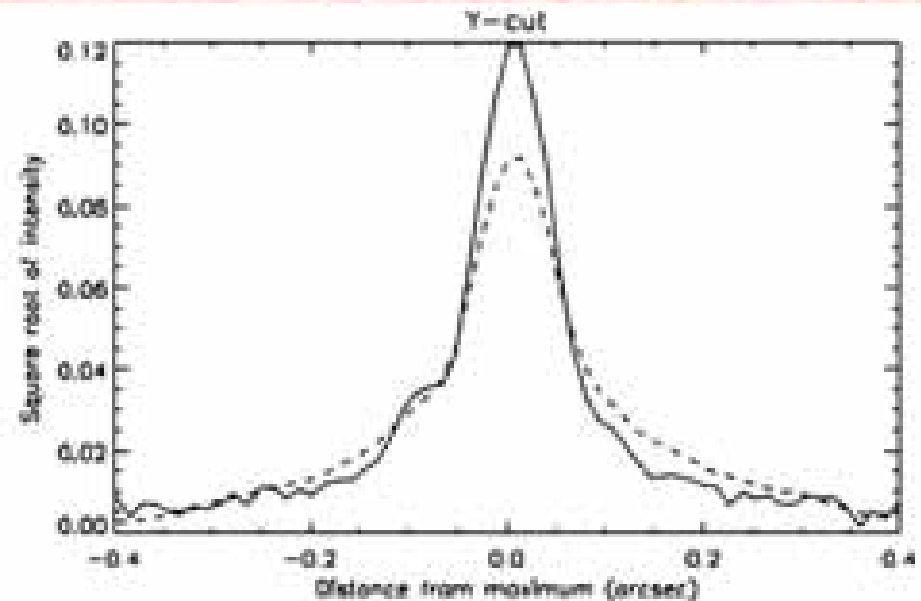
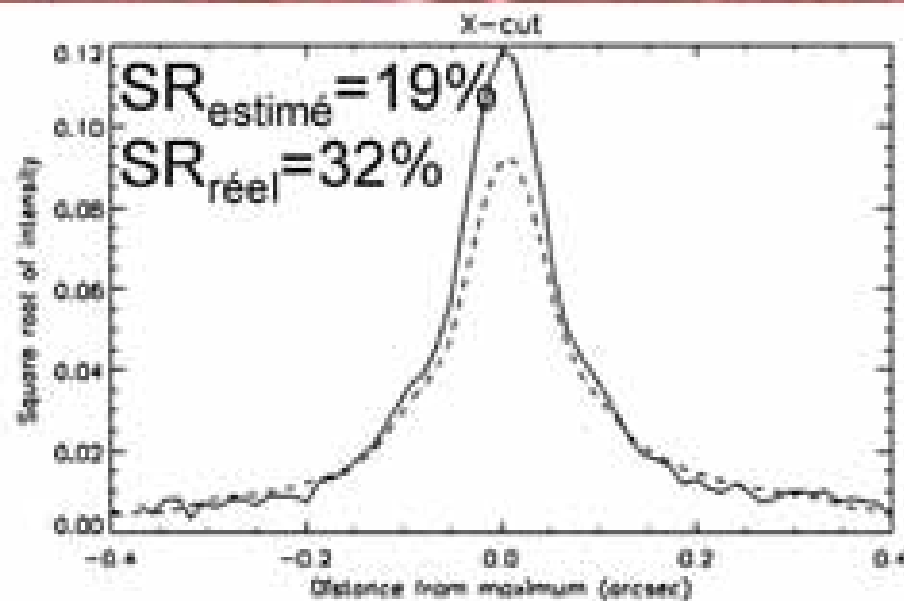
# Résultats



# Résultats

- 2<sup>ème</sup> test : 1 étoile de référence  $V=9.9 + 1$   
étoile de test  $V=12.7$

$$\langle OTF(\vec{\rho}/\lambda) \rangle \approx \exp\left(-\frac{1}{2}(\bar{D}_{\phi_{c,1}}(\vec{\rho}) - \bar{D}_{\phi_{c,1}}^*(\vec{\rho}))\right) \times \exp\left(-\frac{1}{2}(\bar{D}_{\phi_{c,2}}(\vec{\rho}) - \bar{D}_{\phi_{c,2}}^*(\vec{\rho}))\right) \times OTF^*(\vec{\rho}/\lambda)$$



# Perspectives

- Obtenir plus de données de test !
- Upgrade de NAOS
  - Remplacement du RTC
  - Nouvel analyseur visible

