

Kernels, kernels... are you nuts?

Frantz Martinache

January 29, 2016



Outline

- 1 **un peu de contexte**
 - les limites de l'imagerie OA
 - l'interférométrie à masque non-redondant
- 2 **les principes**
 - images dominées par la diffraction
 - modèles élémentaires
 - généralisation de l'approche
- 3 **des applications**
 - détection de compagnons
 - analyse de surface d'onde
- 4 **conclusions**
 - Project KERNEL

Topic

1 un peu de contexte

- les limites de l'imagerie OA
- l'interférométrie à masque non-redondant

2 les principes

- images dominées par la diffraction
- modèles élémentaires
- généralisation de l'approche

3 des applications

- détection de compagnons
- analyse de surface d'onde

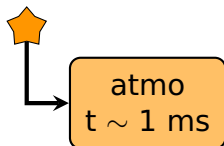
4 conclusions

- Project KERNEL

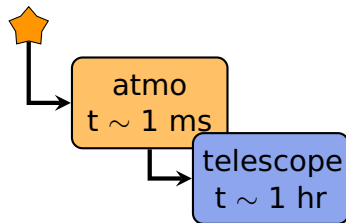
erreur de chemin optique non-commune



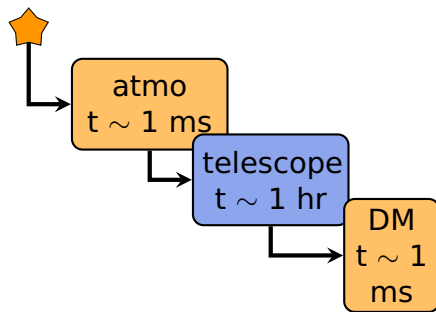
erreur de chemin optique non-commune



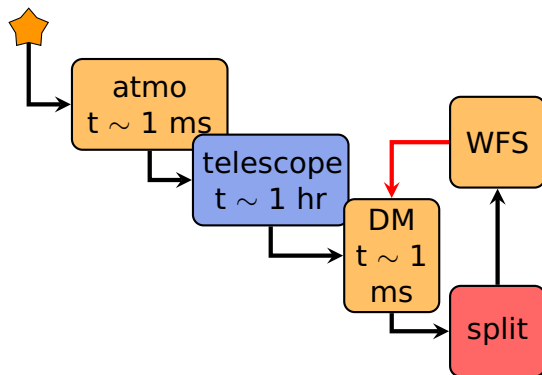
erreur de chemin optique non-commune



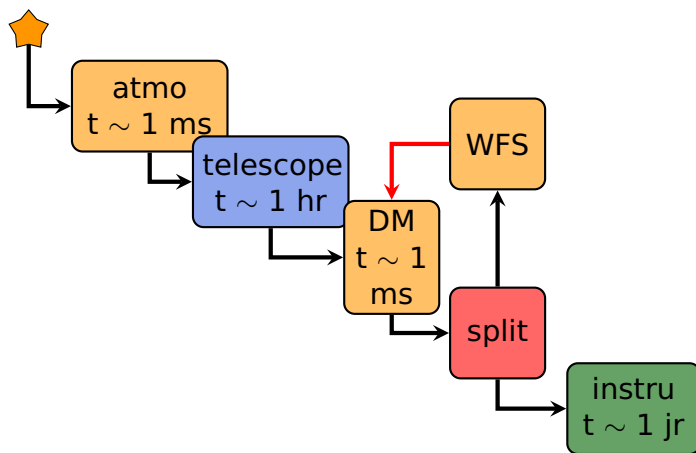
erreur de chemin optique non-commune



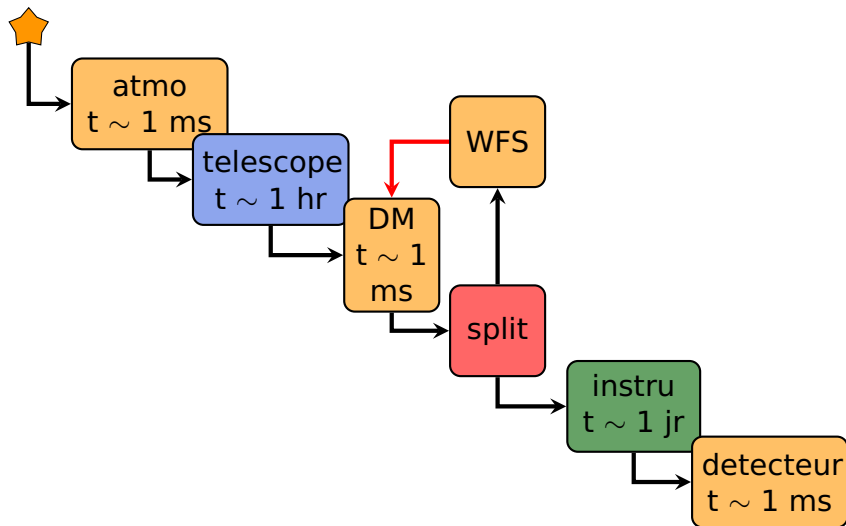
erreur de chemin optique non-commune



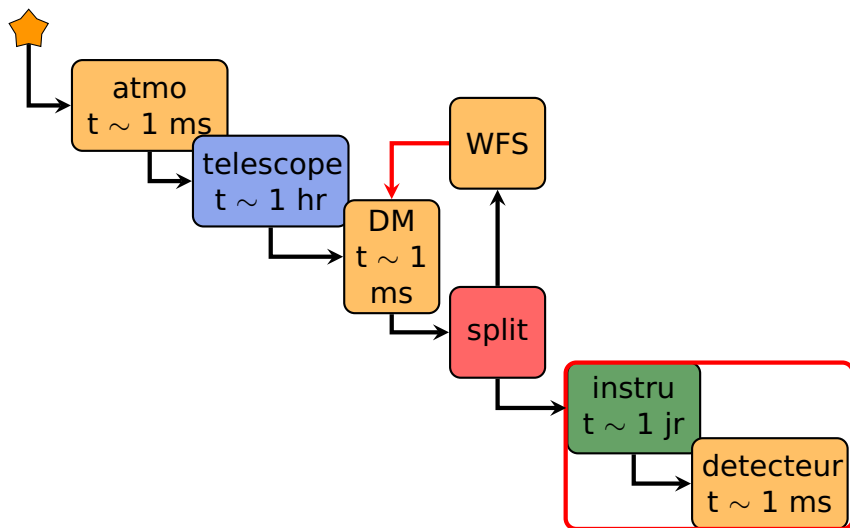
erreur de chemin optique non-commune



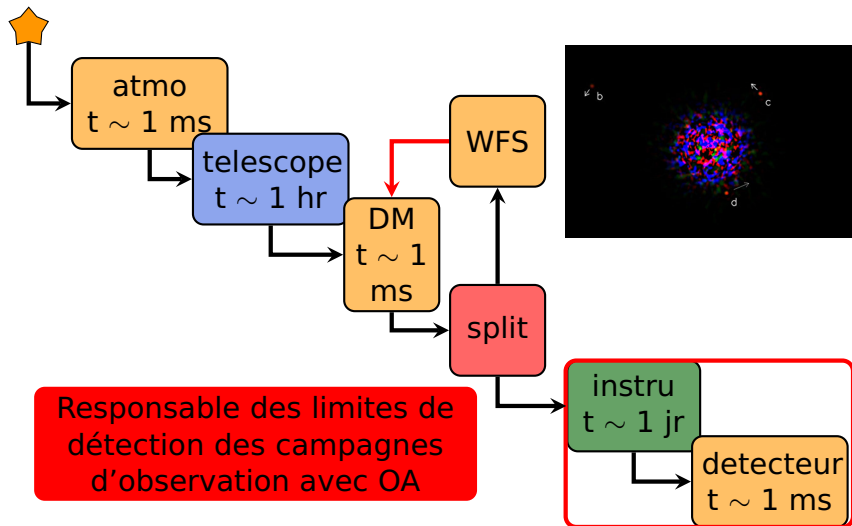
erreur de chemin optique non-commune



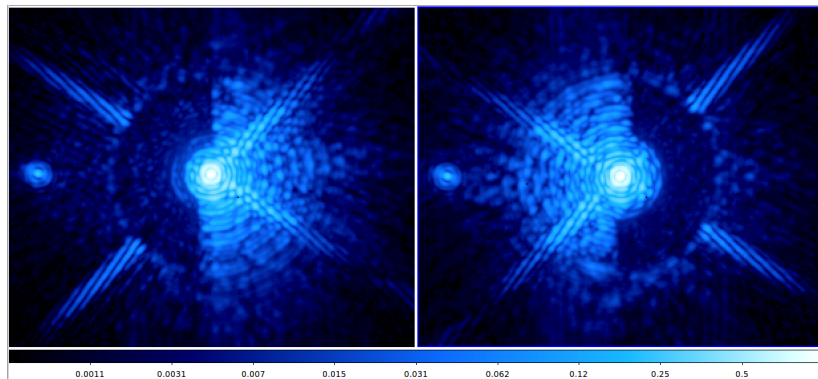
erreur de chemin optique non-commune



erreur de chemin optique non-commune



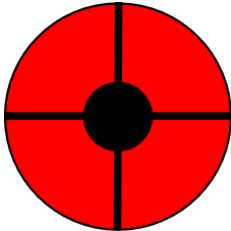
besoin d'analyse dans le plan focal¹



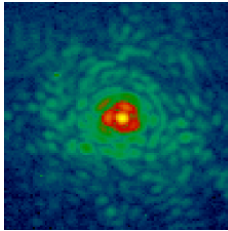
Contrôle actif des speckles avec le DM depuis le plan focal de SCEXAO.

¹Martinache, 2014, SPIE

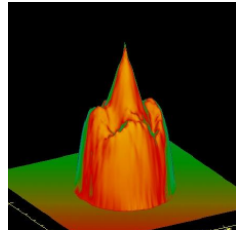
NRMI: schéma de principe



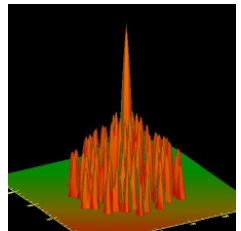
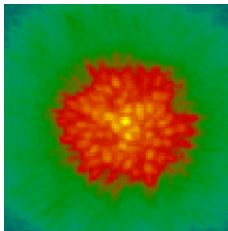
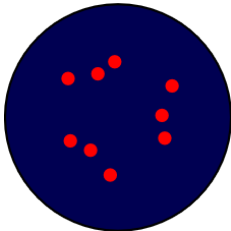
Pupille



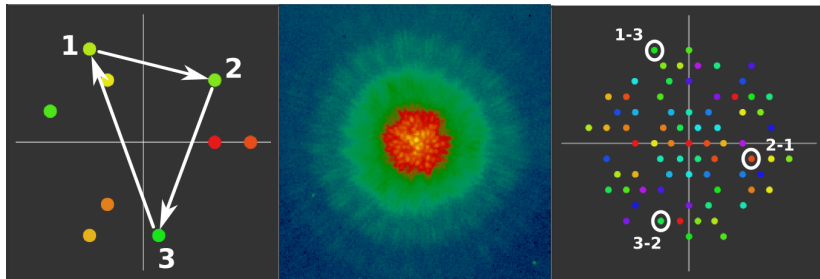
PSF



MTF



clôture de phase²

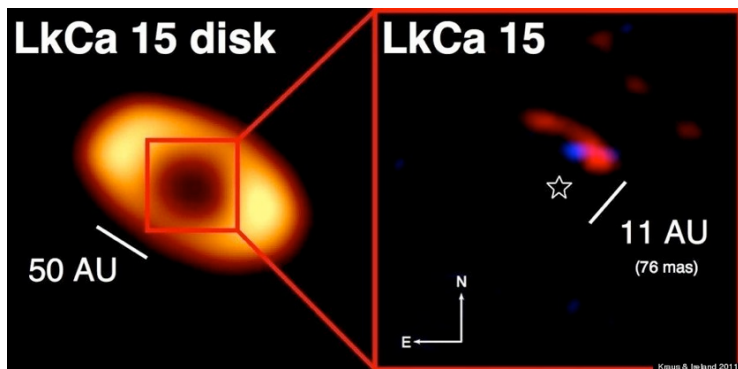


equations pour la phase

- $\Phi(1-2) = \Phi(1-2)_0 + (\varphi_1 - \varphi_2)$
- $\Phi(2-3) = \Phi(2-3)_0 + (\varphi_2 - \varphi_3)$
- $\Phi(3-1) = \Phi(3-1)_0 + (\varphi_3 - \varphi_1)$

²Jennison, 1958, MNRAS, 118, 276

étoile T-Tauri LkCa 15³



Compagnon planétaire découvert par interférométrie

³Kraus & Ireland, 2012, ApJ, 745, 5

Topic

1 un peu de contexte

- les limites de l'imagerie OA
- l'interférométrie à masque non-redondant

2 les principes

- images dominées par la diffraction
- modèles élémentaires
- généralisation de l'approche

3 des applications

- détection de compagnons
- analyse de surface d'onde

4 conclusions

- Project KERNEL

relation de convolution

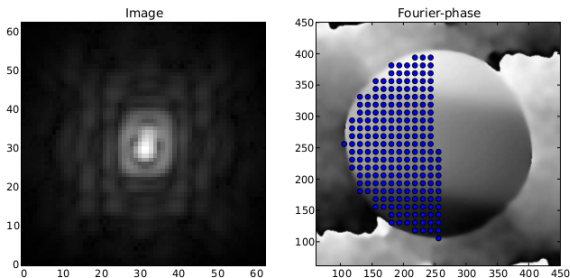
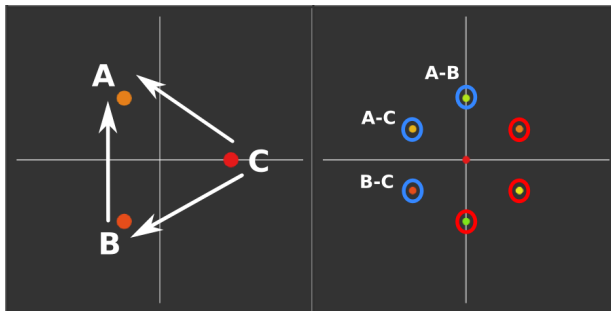


Figure : Signature objet binaire, dans l'image et dans l'espace de Fourier

revoir la convolution dans l'espace de Fourier?

$$I = O \otimes PSF(t)$$

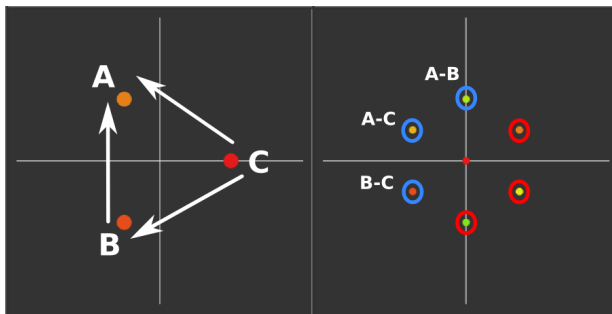
modèle élémentaire 1: triangle



relations linéaires

- $\Phi(A-B) = \Phi(A-B)_0 + (\varphi_A - \varphi_B)$
- $\Phi(A-C) = \Phi(A-C)_0 + (\varphi_A - \varphi_C)$
- $\Phi(B-C) = \Phi(B-C)_0 + (\varphi_B - \varphi_C)$

modèle élémentaire 1: triangle - revisité



linear model

$$\Phi = \Phi_0 + \mathbf{A} \cdot \varphi$$

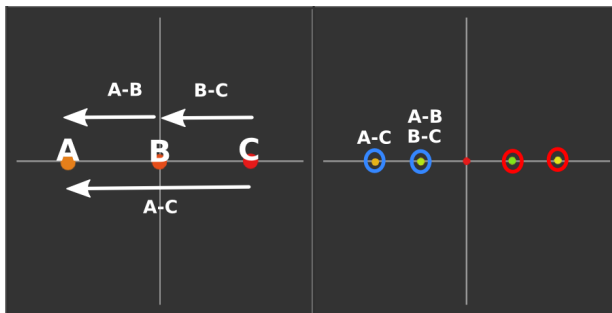
$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix}$$

kernel

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Verifies } \mathbf{K} \cdot \mathbf{A} = 0$$

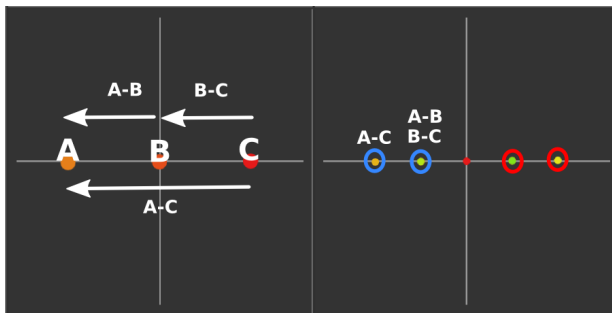
modèle élémentaire 2: en ligne



relations de départ

- $\Phi(A - C) = \Phi(A - C)_0 + (\varphi_A - \varphi_C)$
- $\Phi(B - C) = \text{Arg} \left(e^{i(\Phi_0 + (\varphi_A - \varphi_B))} + e^{i(\Phi_0 + (\varphi_B - \varphi_C))} \right)$

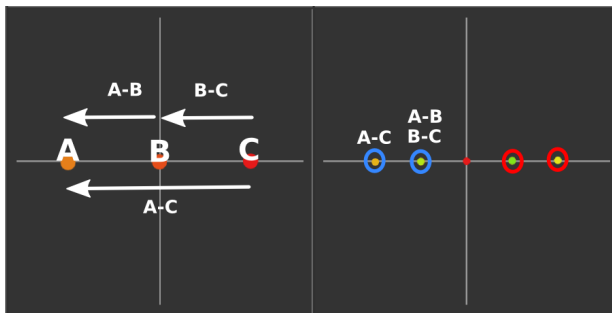
modèle élémentaire 2: en ligne - linéarisé



relations linéarisées

- $\Phi(A - C) = \Phi(A - C)_0 + (\varphi_A - \varphi_C)$
- $\Phi(B - C) \approx \Phi(B - C)_0 + \frac{1}{2} \times (\varphi_A - \varphi_C)$

modèle élémentaire 2: en ligne - revisité



linear model

$$\Phi = \Phi_0 + R^{-1} \cdot A \cdot \varphi$$

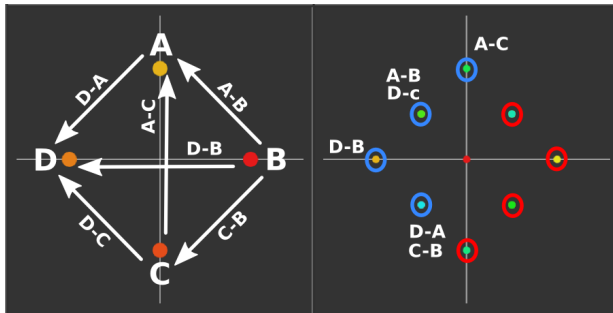
$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad R = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix}$$

kernel

$$K = \begin{bmatrix} 1 & -2 \end{bmatrix}$$

$$\text{Verifies } K \cdot R^{-1} \cdot A = 0$$

modèle élémentaire 3: le carré



modèle linéaire

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

kernels

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} 1 & -2 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

phase linéarisée

grâce à l'OA

L'équation de la phase d'une composante de Fourier:

$$\phi^k = \phi_0^k + \text{Arg} \left(\exp(j \sum_{i=0}^r \Delta\varphi_i) \right)$$

Peut se linéariser:

$$\phi^k \approx \phi_0^k + \frac{1}{r} \sum_{i=0}^r \Delta\varphi_i$$

la relation de convolution est simplifiée

$$I = O \otimes PSF \Rightarrow \Phi = \Phi_0 + A \cdot \varphi$$

deux espaces orthogonaux

modèle de base

$$\Phi = \Phi_0 + A \cdot \varphi$$

kernel-phase

$$K \Phi = K \Phi_0 + K A \varphi$$

$$K \Phi = K \Phi_0$$

(kernel-phase)

eigen-phase

$$\varphi = A^{-1} \cdot (\Phi - \Phi_0)$$

(eigen-phase)

- Tout dépend des propriétés de A (SVD)
- Qui dépendent de la géométrie de la pupille

représentation discrète de la pupille 1

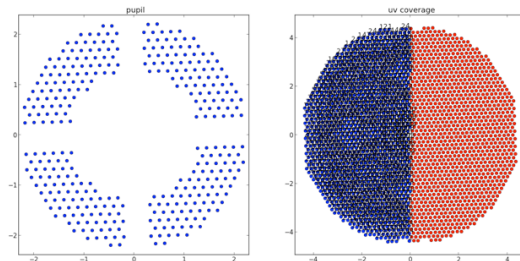


Figure : Palomar Hale Telescope (PHARO Med-cross)

modèle discretisé

- 332 échantillons dans la pupille
- 1128 fréquences spatiales distinctes
- 962 kernels (85 % de l'information de phase)

représentation discrète de la pupille 2

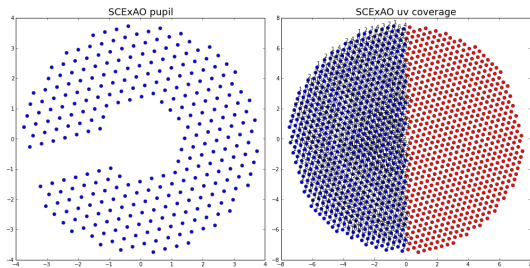
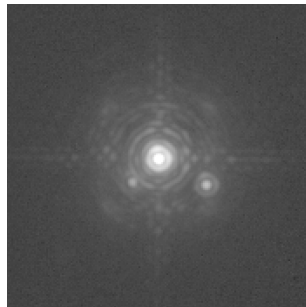
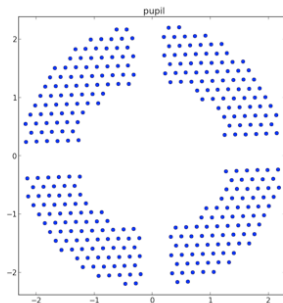


Figure : SCAxAO (Subaru Telescope) Asym Pupil

modèle discretisé

- 292 échantillons dans la pupille
- 675 fréquences spatiales distinctes
- 383 kernel-phases
- 292 eigen-phases (pseudo-inverse complet!)

construction du modèle



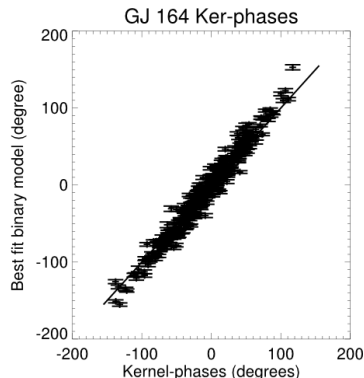
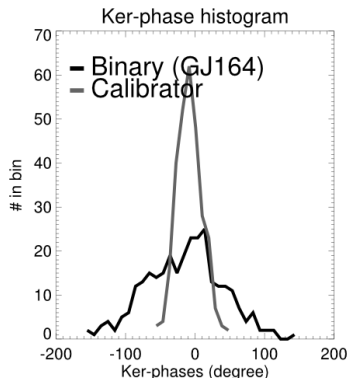
- grille périodique (encoder la redondance)
- densité modèle discret homothétique à l'original
- finesse de l'échantillonnage adaptée à l'objectif

Il faut bien connaître la pupille!

Topic

- 1 **un peu de contexte**
 - les limites de l'imagerie OA
 - l'interférométrie à masque non-redondant
- 2 **les principes**
 - images dominées par la diffraction
 - modèles élémentaires
 - généralisation de l'approche
- 3 **des applications**
 - détection de compagnons
 - analyse de surface d'onde
- 4 **conclusions**
 - Project KERNEL

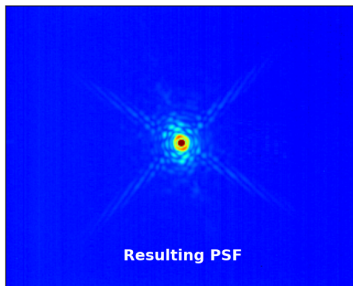
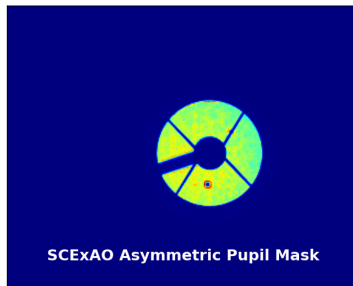
Kernels des mêmes images⁴



Histogramme de kernels - ajustement de GJ 164 par un modèle binaire: l'hypothèse d'un compagnon de contraste $\sim 10 : 1$ à $0.5\lambda/D$ est validée.

⁴ Martinache, 2010, ApJ, 724, 464

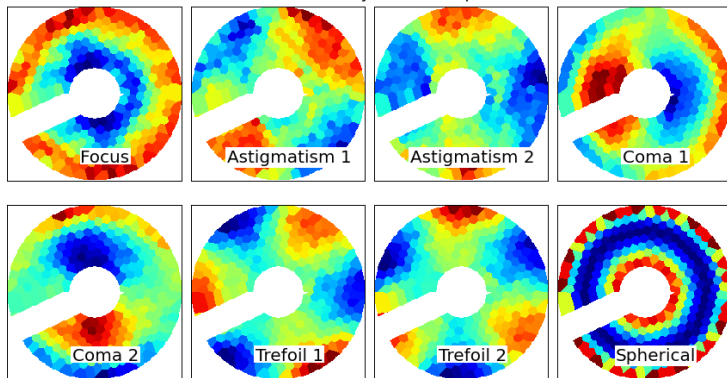
Pupille asymétrique



- asymétrie: pseudo inverse suffisamment riche
- $\mathbf{A}^{-1}$ donne accès à tous les modes!
- impact mineur sur les propriétés de l'image

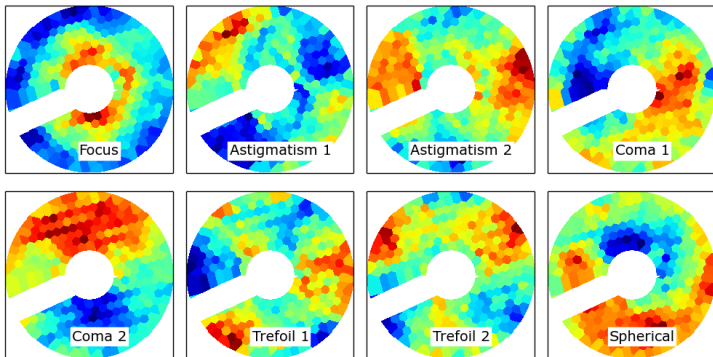
Réponse modale théorique

Zernike modes reconstructed by the linear phase transfer model

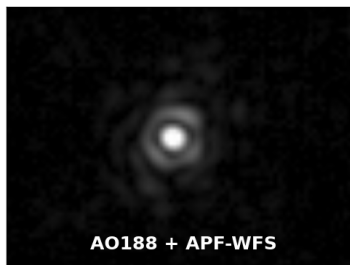
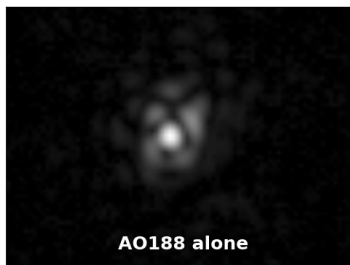


Réponse modale expérimentale

Reconstructed experimental Zernike modes



Boucle fermée sur le ciel⁶



⁶ Martinache, 2016, en préparation

Topic

1 un peu de contexte

- les limites de l'imagerie OA
- l'interférométrie à masque non-redondant

2 les principes

- images dominées par la diffraction
- modèles élémentaires
- généralisation de l'approche

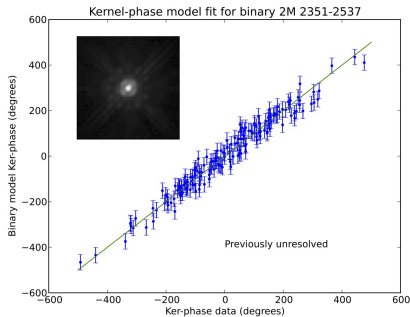
3 des applications

- détection de compagnons
- analyse de surface d'onde

4 conclusions

- Project KERNEL

post-processing de données archive



- systématique:
 - HST NICMOS
 - Keck NIRC2
 - VLT VISIR, NACO...
- critères utilisation immédiate:
 - échantillonnage correct
 - images non-saturées
 - bonne correction adaptative

étendre le domaine d'utilisation

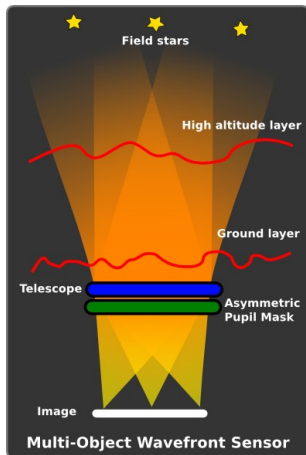
Meilleure tolérance aux aberrations:

- approches multi- λ
- approches différentielles
- applications aux courtes longueurs d'onde

En pratique, le travail va demander:

- un pipeline kernel-phase amélioré
- travail de simulation numérique
- validation expérimentale

développer de nouvelles applications



- réduction de données IFS
- mode haut contraste
- AO multi-référence
- reconstruction d'image

