



Optimisation des performances en OAMC : résultats expérimentaux sur le banc d'OAMC de l'ONERA

Anne Costille*, Jean-Marc Conan*, Cyril Petit*, Thierry Fusco*, Caroline Kulcsar**, Henri-François Raynaud**

* ONERA, DOTA – Unité HRA, Châtillon

** L2TI, Université Paris 13, Villetaneuse

Anne.costille@onera.fr

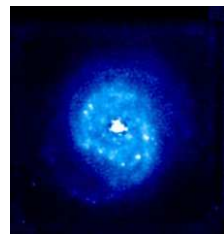
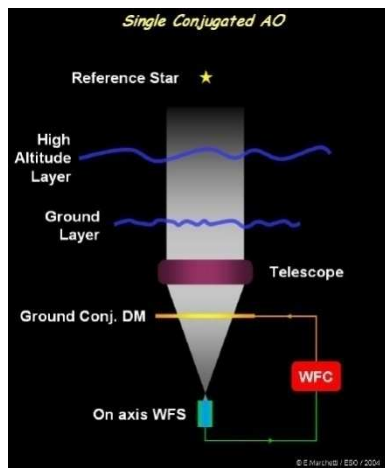
Plan de la présentation

- I. Les nouveaux enjeux de l'OA
 - 1. L'OA et ses limitations
 - 2. Nouveaux concepts d'OA
 - 3. Projets et moyens de test
- II. Présentation du banc de laboratoire d'OAMC de l'ONERA : HOMER
- III. Résultats obtenus en OA, GLAO, TAO et OAMC sur HOMER
- IV. Conclusion et perspectives

I. Les nouveaux enjeux en OA

1. L'OA et ses limitations

- L'OA permet de restaurer la qualité des images d'un télescope
- **MAIS** limitation du champ d'observation à cause du phénomène d'anisoplanétisme
- Besoin de connaître et de reconstruire le volume turbulent
- **Solution** : OA tomographique et multi-conjuguée



Objet



Image sans correction

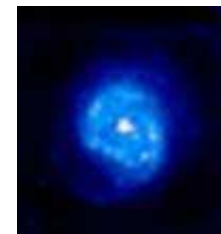
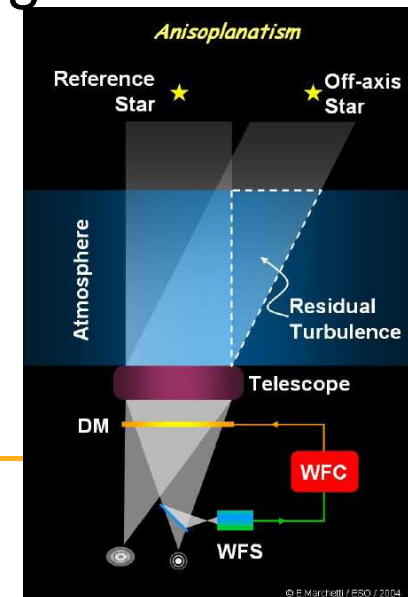
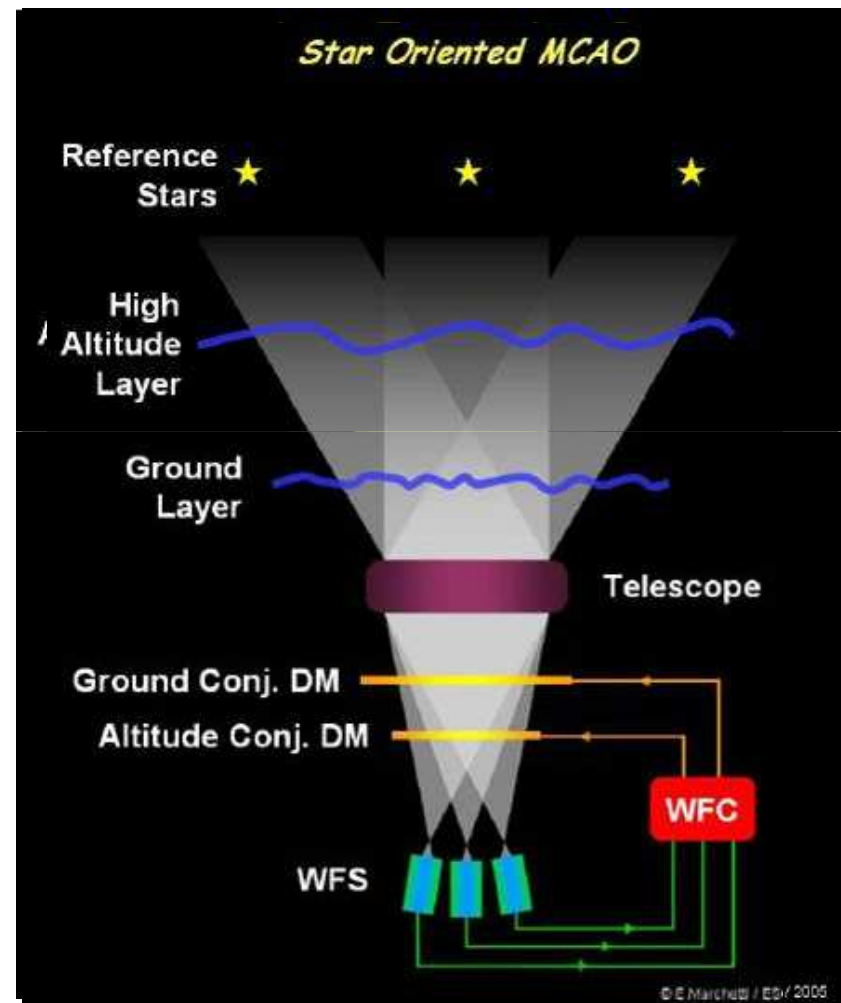


Image avec correction



2. Les nouveaux concepts en OA

- Système de multi-analyse et correction avec un DM conjugué de la pupille :
 - ◆ Solution basique **GLAO** :
 - Moyenne des mesures
 - Correction uniforme faible
 - ◆ Solution tomographique "L" **TAO** :
 - Analyse du volume turbulent
 - Correction dans une direction
- Système multi-analyse et multi-correction
 - ◆ **OAMC** :
 - Analyse du volume turbulent
 - Bonne correction dans tout le champ



3. Projets et moyens de test

- Etude théorique de ces concepts pour les instruments de l'ELT et des instruments de seconde génération des VLT
 - Premiers systèmes d'OA grand champ
 - ◆ MAD : démonstrateur d'OAMC de l'ESO (2DM + 3 ASO): premiers résultats obtenus sur le ciel
 - ◆ The Gemini MCAO system (3DM + 5LGS + 3NGS) : instrument d'OAMC pour le télescope Gemini, début de l'intégration du système, mise sur le ciel prévue en 2009
 - ◆ Instruments de seconde génération pour le VLT : Galacsi - Muse et Graal – HawkI (2012 sur le ciel)
 - ◆ Application pour les télescopes solaires
 - Il existe peu de moyens de test en laboratoire de ces OA grand champ
 - ◆ Sesame : plusieurs ASO, test de reconstruction tomographique, boucle ouverte
 - ◆ Banc d'expérimentation du LAO pour l'OAMC et la MOAO
- Besoin d'un banc multi-analyse et multi-correction pour tester/comparer ces différentes approches

II. Le banc de laboratoire pour l'OAMC de l'ONERA : HOMER

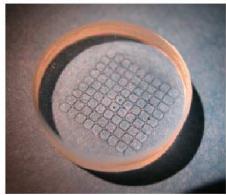
- **Mars 2007** : Design optique du banc
- **Septembre 2007** : Début de l'intégration
- **Octobre 2007** : Première fermeture de boucle en OA
- **Avril 2008** :
 - Boucle fermée en OA, GLAO et OAMC (multi-analyse et multi-conjugaison)
 - Commande intégrateur
- **Septembre 2008**:
 - Boucle fermée en OA, "L"TAO et OAMC
 - Commande LQG (reconstruction tomographique)



1. Le banc HOMER

ASO grand champ
(1002x1004
pixels)

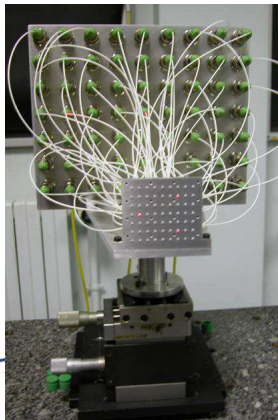
ANDOR EMCCD



7x7 microlentilles

Fabriquée à l'ONERA

$F = 30\text{mm} - d_{\mu l} = 1.1\text{mm}$



Source multi-laser reconfigurable

JRIOA - 20/11/08

Second DM (88
actionneurs, ALPAO)



RTC PC-linux
Shaktiware

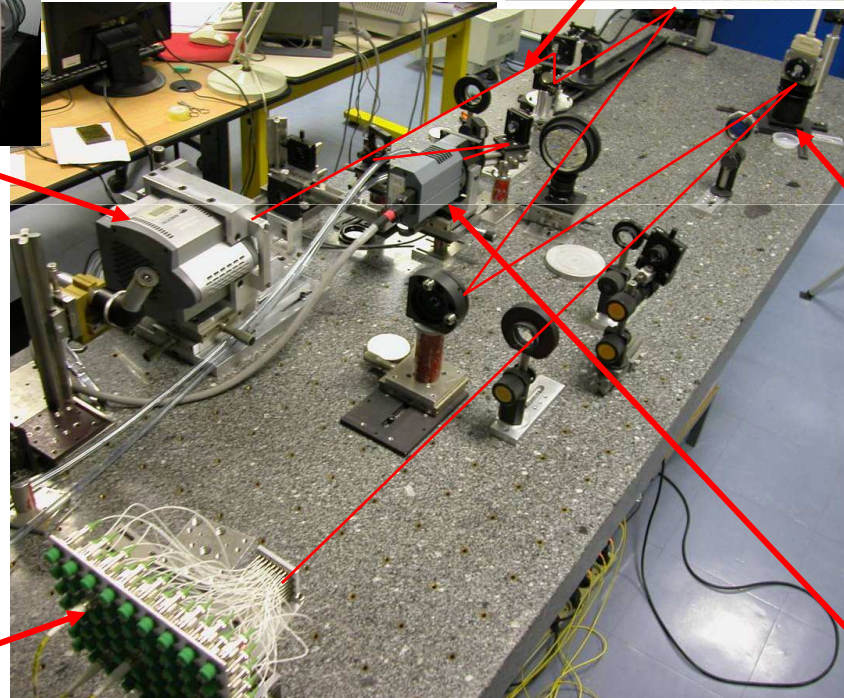


DM conjugué de la
pupille (52
actionneurs, ALPAO)

Caméra Imagerie
Visible (1024x1024
pixels)

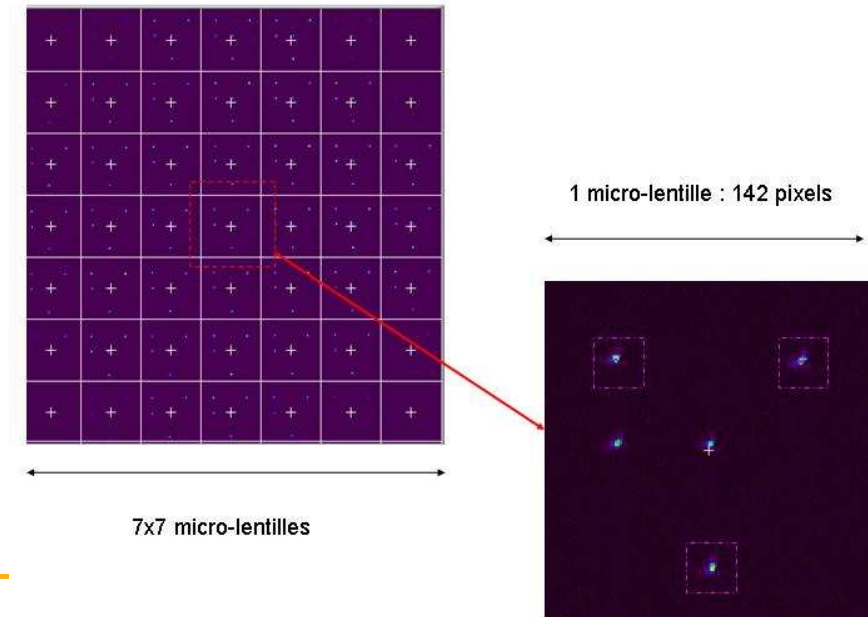
$\lambda = 635\text{ nm}$

$F_{\text{ech}} < 25\text{ Hz}$



2. Particularités du banc

- Un ASO Shack-Hartmann grand champ (142x142 pixels / sous-pupille)
 - Choix de la configuration et du nombre d'étoiles guides plus facile (pour la suite configuration avec 3 étoiles guides, fenêtre de 16x16 pixels)
 - Synchronisation des mesures
 - Simplification des calibrations ASO
- Un RTC modulable, basé sur un code C
 - Gestion des lois de commande
 - Gestion de la multi-analyse et commande des 2 DMs



3. Objectifs scientifiques du banc

- Mise en œuvre et comparaison des systèmes d'OA grand champ
 - ◆ Calibration
 - ◆ Analyse multi-zone (configuration, nombre d'étoiles ...)
 - ◆ Estimation de performances
- Comparaison de différents concepts de commande :
 - ◆ **Commande Classique** : reconstruction moindres carrés, contrôleur intégrateur pour les configurations OA, GLAO et OAMC
 - Équation de la commande : $u_{n+1} = u_n + G y_n$
 - $G = gM_{com}$ et u_n est la tension appliquée au miroir
 - M_{com} est l'inverse généralisée de la matrice d'interaction du système (matrice reliant les tensions appliquées au DM aux pentes mesurées sur l'ASO)
 - ◆ **Commande optimale (LQG)** : estimation de la turbulence pour les configurations OA, LTAO et OAMC
 - Estimation et prédiction du volume turbulent, basées sur un filtre de Kalman
 - Projection de la turbulence estimée sur les DMs pour la correction

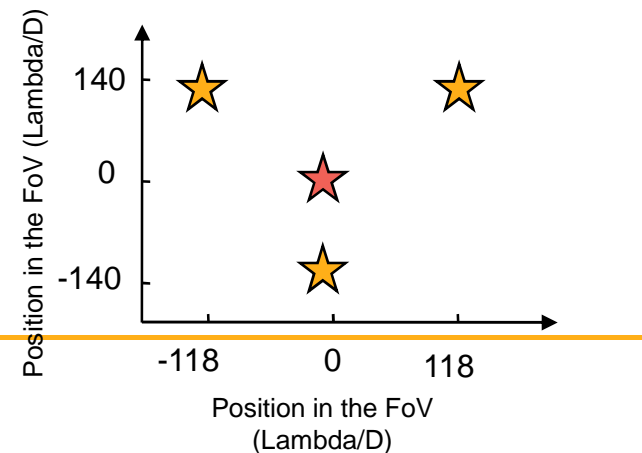
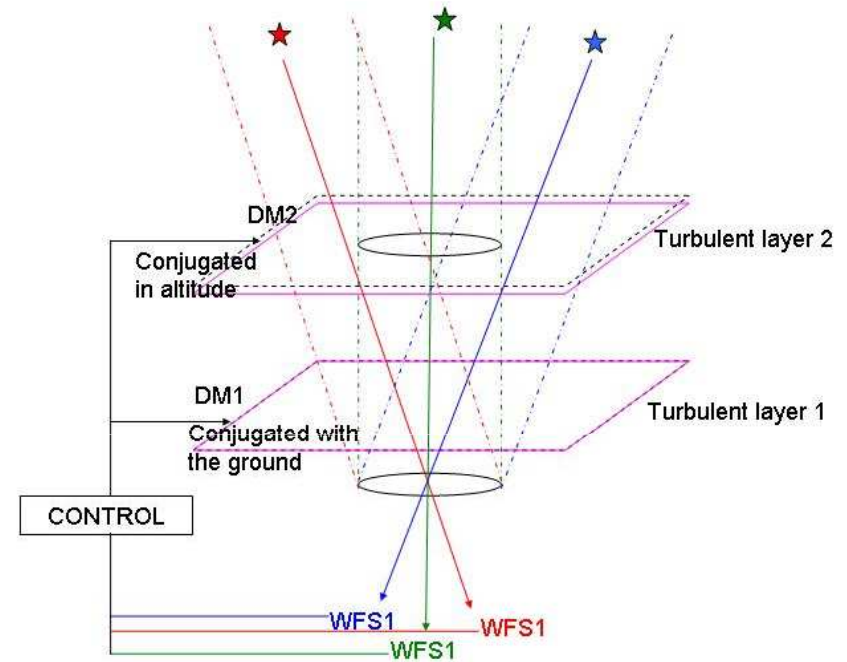
B. Le Roux, J.-M. Conan, C. Kulcsar, H.-F. Raynaud, L.-M. Mugnier, T. Fusco. *Optimal control law for classical and multi-conjugate optics*. J. Opt. Soc. Am. A, vol 18, p. 2527-2538, 2004

C. Petit et al., *Optimal Control for multi-conjugate adaptive optics*. C.R Physique 6, 2005.

A. Costille, C. Petit, J.-M. Conan, T. Fusco, C. Kulcsar et H. -F. Raynaud, *Optimization of MCAO performances: experimental results on ONERA laboratory MCAO bench*, SPIE, article 7015-152, 2008

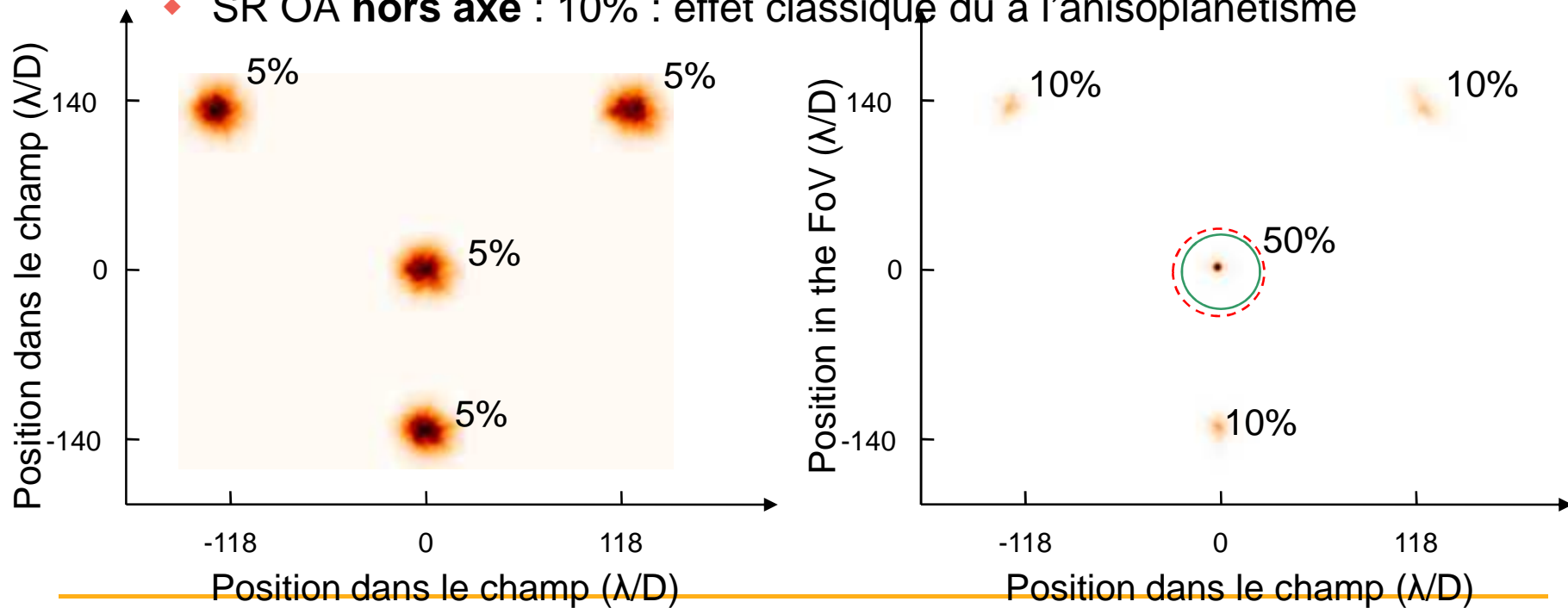
III. Résultats expérimentaux obtenus sur HOMER

- Conditions expérimentales
 - ◆ Turbulence sur 2 couches :
 - une conjuguée de la pupille, l'autre en altitude
 - 50% dans chaque couche
 - ◆ Séparation angulaire entre les étoiles : $\text{découvrement} = \alpha h / D$ est compris entre 0.2 et 0.3
 - ◆ DMs conjugués aux altitudes des couches turbulentes
 - ◆ ASO:
 - Pour l'OA : une étoile guide sur axe
 - Pour le GLAO, la LTAO et l'OAMC : 3 étoiles guides dans le champ



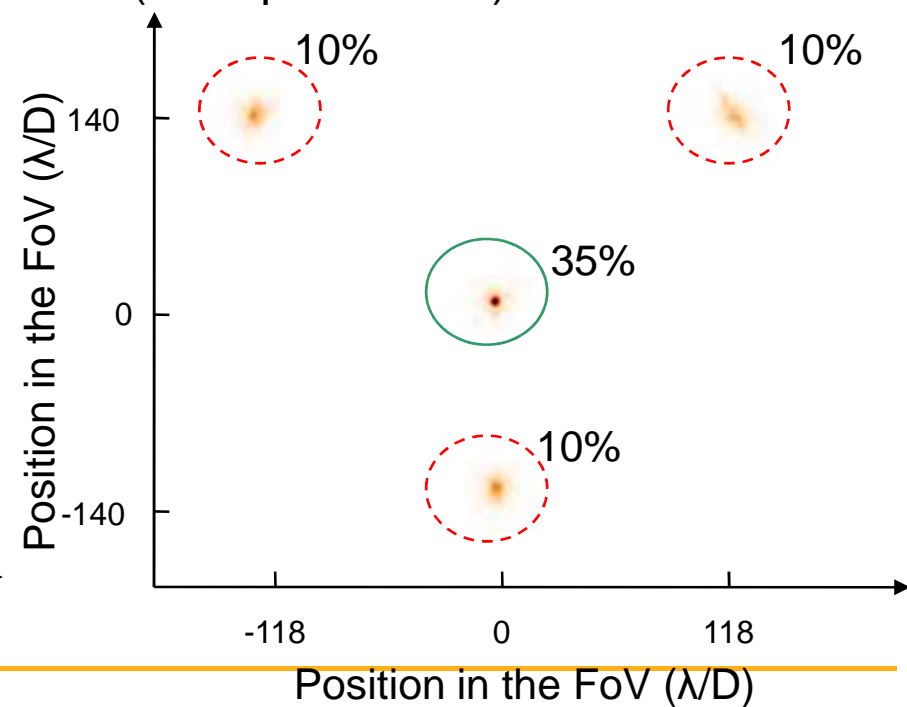
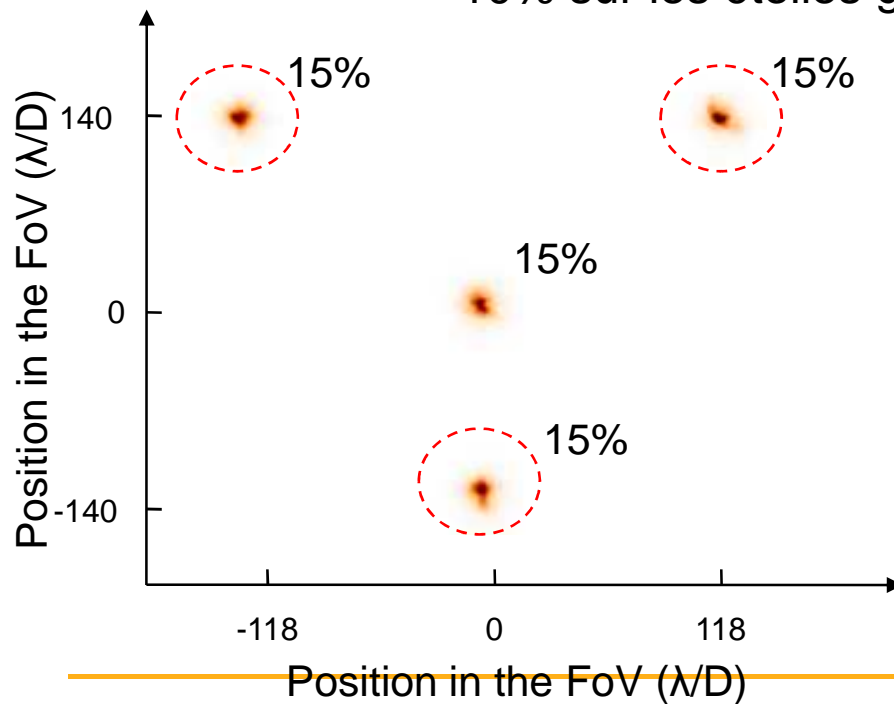
III. Résultats expérimentaux obtenus sur HOMER

- Performances en OA :
 - ◆ Commande intégrateur ou LQG (mêmes résultats)
 - ◆ SR boucle ouverte : 5% ($D/r_0 = 7$)
 - ◆ SR OA **sur axe** : 50%, (sans correction des NCPA)
 - ◆ SR OA **hors axe** : 10% : effet classique dû à l'anisoplanétisme



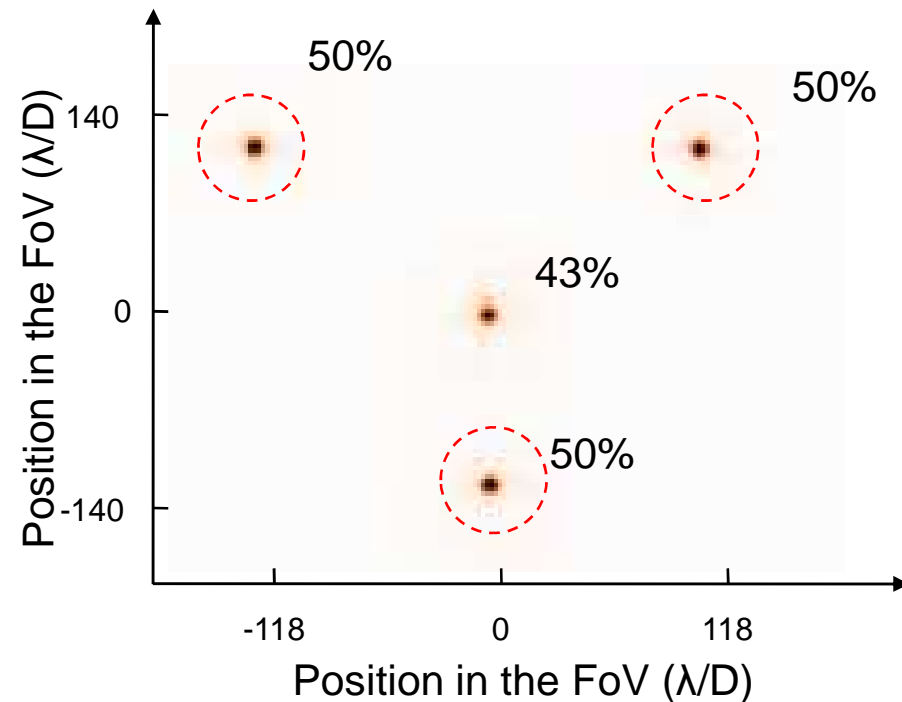
III. Résultats expérimentaux obtenus sur HOMER

- **GLAO : Commande Intégrateur vs TAO : commande LQG**
 - ◆ SR GLAO: 15% sur chaque étoile (dans tout le champ)
 - ◆ SR TAO: Reconstruction tomographique + projection dans la pupille
35% dans la direction d'optimisation
10% sur les étoiles guides (anisoplanétisme)



III. Résultats expérimentaux obtenus sur HOMER

- Performance en OAMC
 - ◆ Commande Intégrateur + inverse moindres carrés généralisée
 - ◆ SR ~ 50% sur les étoiles guides, 43% au centre du champ (résidu d'anisoplanétisme)
 - ◆ Commande LQG:
 - Test de fonctionnalité réalisé
 - Test de performances prévus dans les prochains mois (calibration + optimisation)



Conclusion

- Confirmation expérimentale sur HOMER des avantages respectifs des différents concepts :
 - ◆ OA : bonne performance mais anisoplanétisme
 - ◆ GLAO : correction uniforme, mais faible
 - ◆ LTAO : correction dans une direction différente de celles de l'analyse
 - ◆ OAMC : bonne correction dans le champ
- Mise en oeuvre d'une commande optimale
 - ◆ "L"TAO : démonstration de l'intérêt et de la performance de la commande
 - ◆ OAMC : en cours
- Résultats préliminaires mais très encourageants

Perspectives

- Pour HOMER
 - ◆ Optimisation des performances dans les prochains mois
 - Calibration précise des principaux composants (DMs, ASO...)
 - Calibration optique du banc (NCPA, comprenant les aberrations de champ)
 - Optimisation de la commande
 - ◆ Comparaison des différentes lois de commande
- Applications potentielles
 - ◆ Futurs instruments VLT
 - ◆ Études préparatoires ELT
 - ◆ Synergie avec d'autres domaines : Imagerie endo-atmosphérique (INCA), ophtalmologie...