

SPHERE upgrade

Synthèse science et modes observationnels

**Arthur Vigan, David Mouillet
Alexis Carlotti, Frantz Martinache, Laurent Mugnier**

Quelle science? Quelles évolutions instru?

- **Quelle science?**

- détection de nouvelles planètes
 - plus proche, plus grand contraste
 - autres cibles (étoiles M, T Tauri)
- caractérisation plus fine d'objets connus (ou de nouveaux objets)

- **Quelles évolutions instrumentales?**

- Optique adaptative
- Instruments / modes observationnels
- Coronographie
- Contrôle de front d'onde / NCPA
- Analyse du signal

SPHERE upgrade: contexte astro éléments actuels

- 3 instruments scientifiques, très utilisés
 - ZIMPOL en visible :
 - Très grand contraste polarimétrique sur étoiles proches très brillantes
 - Haute résolution
 - Imagerie (polarimétrique) de disques
- IRDIS et IFS en proche IR : Y – K
 - Détection et caractérisation de compagnons froids
 - Détection : surtout grand lambda
 - Caractérisation : résolution 50 , jusque 350.
 - Disques : imagerie (polarimétrique)

SPHERE upgrade: contexte astro domaines d'amélioration ?

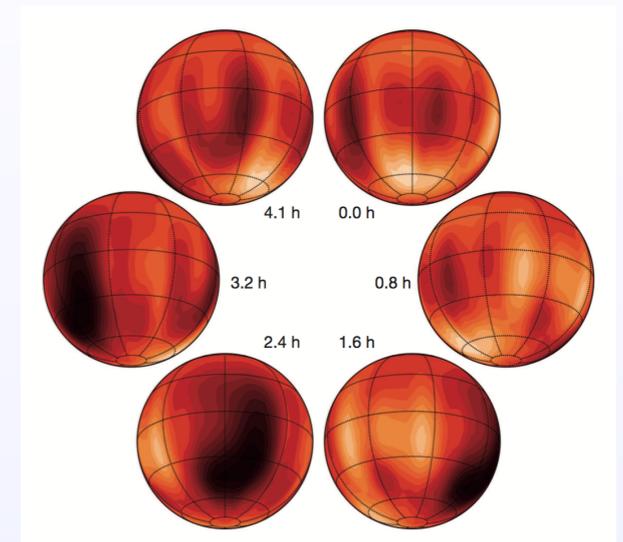
- Contraste largement (encore) limité par les résidus turbulents
 - Erreur temporelle : vitesse, prédictif ?
 - Anti-aliasing
 - Traitement signal
- Sensibilité : (surtout si boucle plus rapide) : surtout de couleur rouge
 - Des résultats prometteurs sur objets faibles
 - Plus de sources dans associations jeunes (quelques 10^7 yr)
 - Accès aux étoiles jeunes (quelques 10^6 yr)
 - Suivi/recherche de compagnons autour d'étoiles M
- Plus de caractérisation !
 - Résolution : de l'ordre de 10^4 , jusque $> 10^5$ si compagnon froid, en rotation lente ?
 - Pointage sur compagnon connu / recherche ??
- Plus près ? :
 - De l'ordre de 100-150 mas
 - *très près* : < 100 mas
- Mieux calibré ? Plus efficace ? (efficacité ZIMPOL ? Suivi variabilité, astrométrie, photométrie...)

Instruments

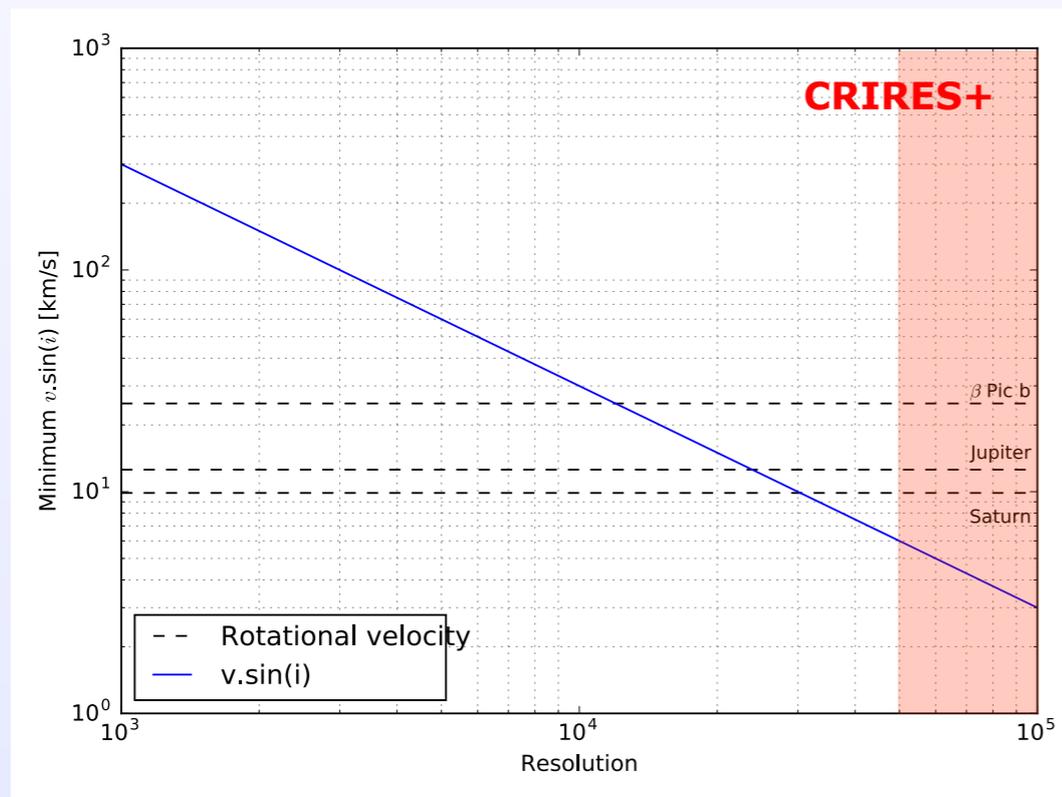
- Couplage spectro haute résolution pour la détection et/ou caractérisation:
 - NIR avec CRIFES+
 - VIS avec ESPRESSO
- ZIMPOL:
 - dimensionné pour observé des étoiles très brillantes
 - possibilité d'évolution pour améliorer la sensibilité?
- Autres idées d'instrument basé sur la pola?
- *Sparse aperture masking*:
 - bientôt disponible à la communauté
 - peut-on aller plus loin? si oui comment
- bande L:
 - remplacement complet d'un sous-système pas optimal car CPI "chaud"
 - Couplage spectro: problèmes attendus avec les optiques réfractives
 - Quid des coatings des miroirs?
- lien avec l'OA: partage des photons entre WFS et science

Couplage spectro haute résolution NIR

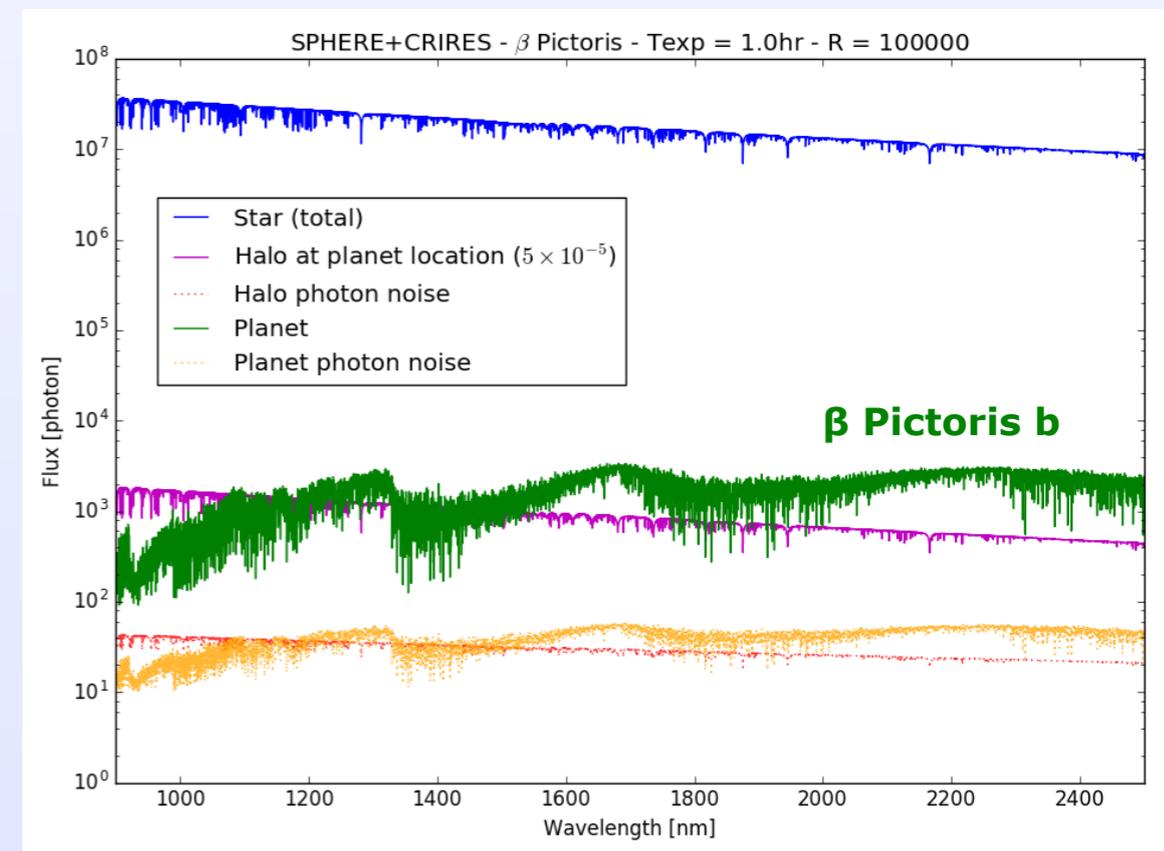
- Cas scientifique multiple:
 - détection de molécules
 - mesures d'abondances pour contraindre la formation
 - mesure de la RV de la planète ==> vitesse/période de rotation
 - variabilité par imagerie Doppler



Luhman 16B (Crossfield et al. 2014)



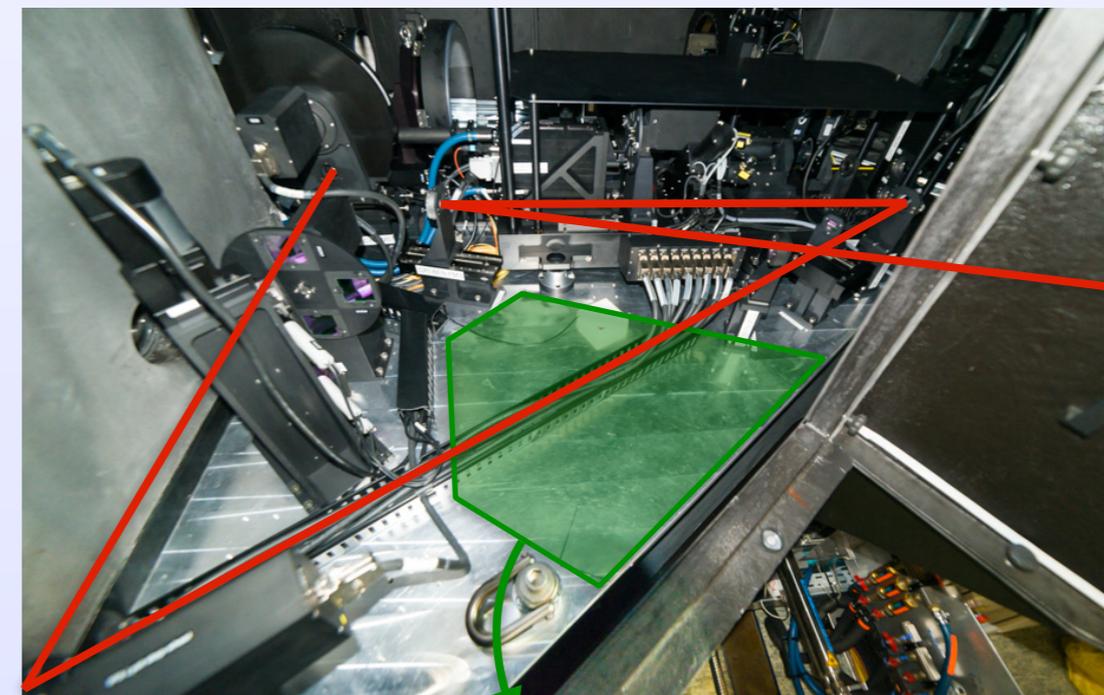
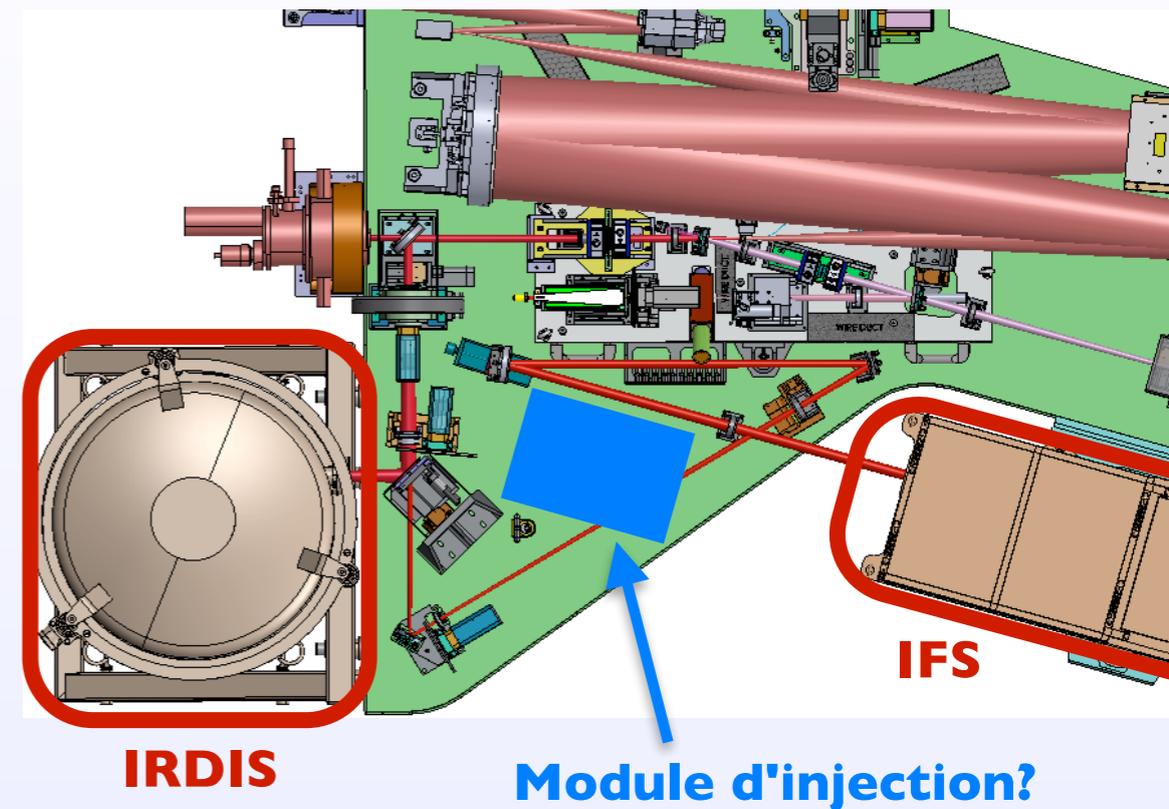
- Opportunité SPHERE/CRIRES+ sur VLT-UT3:
 - R = 50 000 - 100 000 dans CRIRES+
 - même couverture spectrale que SPHERE
 - possibilité de couplage par fibre
- Premiers résultats en labo à Caltech prometteurs



Couplage spectro haute résolution NIR

- Module d'injection dans SPHERE:
 - plan corono avec apodiseur pour supprimer la diffraction (→ SLLC? déjà en place)
 - plus réaliste: dans le bras IFS
 - pour la bande L: avant les ADCs
- Injection dans CRIRES+
 - pas de problème majeur: position disponible dans l'unité de calibration
 - possibilité d'éviter les pré-optiques pour gagner en transmission?
- Nombreuses questions ouvertes:
 - stratégie d'observation?
 - optimisation de l'injection et du couplage?
 - quelle science, à quelle précision?
 - analyse du signal?
- Upgrade AO = un avantage, mais pas obligatoire
- CRIRES+ bonne première étape pour démonstrateur
- discussions en cours avec CRIRES+ et l'ESO

ERC StG déposée, actuellement au step 2



Espace disponible
~0.5 m²

Autres possibilités HRS

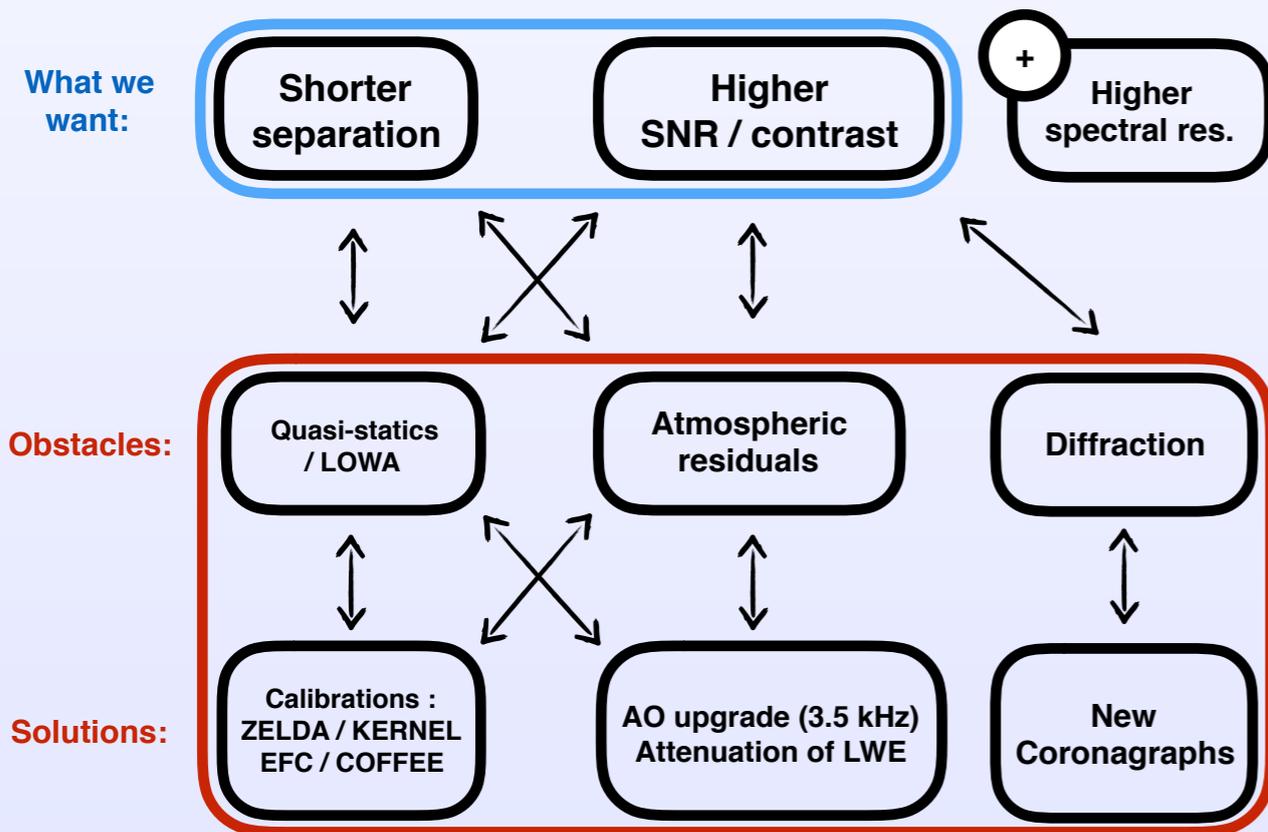
- Couplage ESPRESSO :
 - très peu de cibles astro, cas typique de Prox b
 - spectre entre 600 et 780 nm
 - questions similaires à CRIRES+ mais :
 - Upgrade AO indispensable
 - Pavage de anneau à $2 \lambda/D$
 - Lien fort avec communauté RV.
- Compléments / Alternatives :
 - Autre spectro ? VIPA ?
 - Domaine longueur d'onde : et L ?
 - Comment optimiser l'injection ? Et capacité de pavage du champ ??

Partage des photons WFS/science

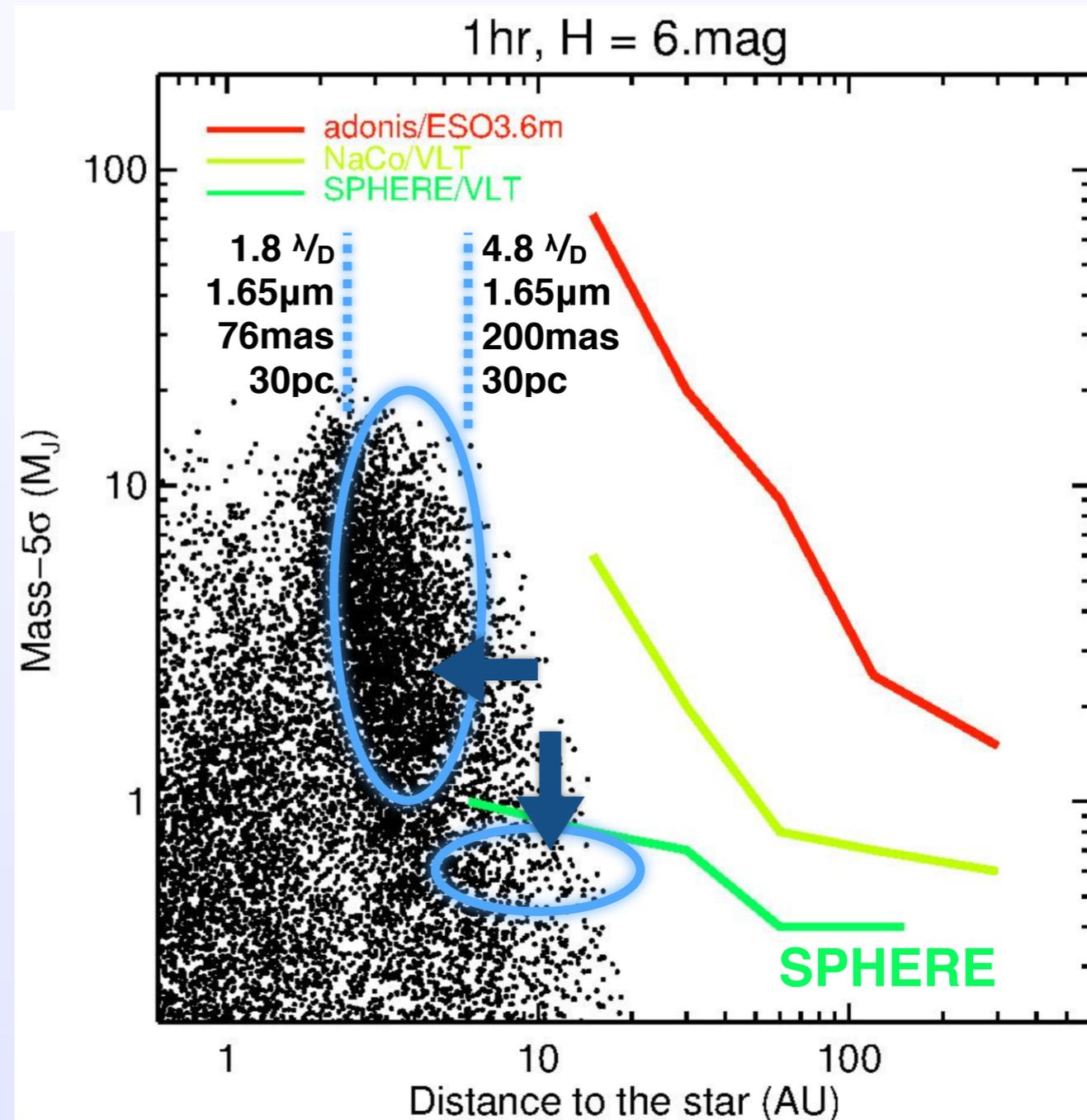
New coronagraphs for SPHERE

Objectives & instrumental concepts:

New coronagraphs to get closer & deeper.
 + better LOWA calibration to get closer.
 + faster AO loop to get deeper.



A new window on closer, fainter planets

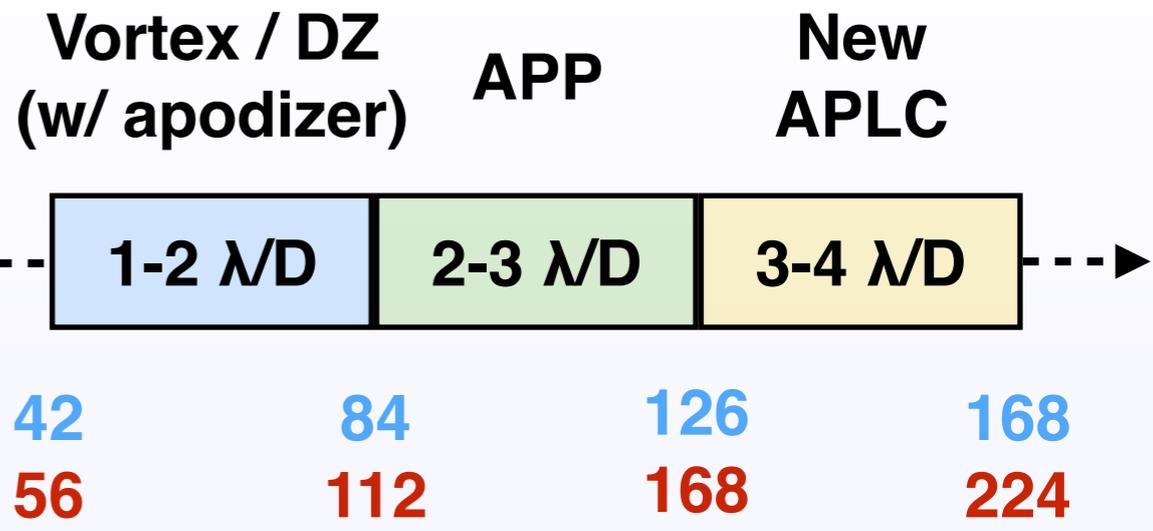


Mordasini et al. 2012

3 possible coronagraphs to go closer: (separation range in mas in H & K)



$\lambda = 1.65\mu\text{m}$
 $\lambda = 2.20\mu\text{m}$



Hardware changes & maturity

Contacts :

Apodizers : OCA / IPAG, Leiden.

Focal masks: Liège, Caltech, OCA / LAM, LESIA.

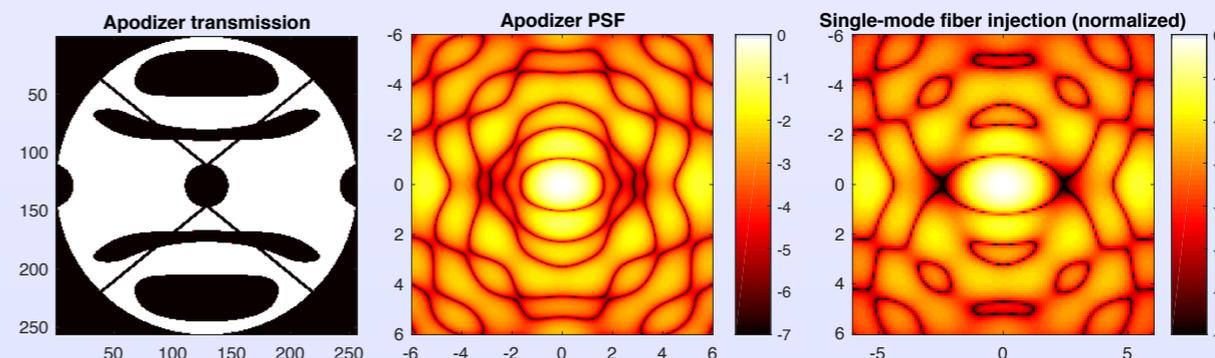
	Apodizer		Focal mask		Lyot Stop	
	New?	Ready?	New?	Ready?	New?	Ready?
Vortex / DZ	yes	yes	yes	mostly	yes	yes
APP	yes	yes	yes	yes	no	N.A.
New APLC	yes	yes	maybe	yes	maybe	yes

Required steps

- lessons from SPHERE w/ 4QPM, technical nights w/ ZELDA & 4QPM? new lab tests?
- system analysis, coronagraphs design, components validation.

Apodizers for fiber injection ?

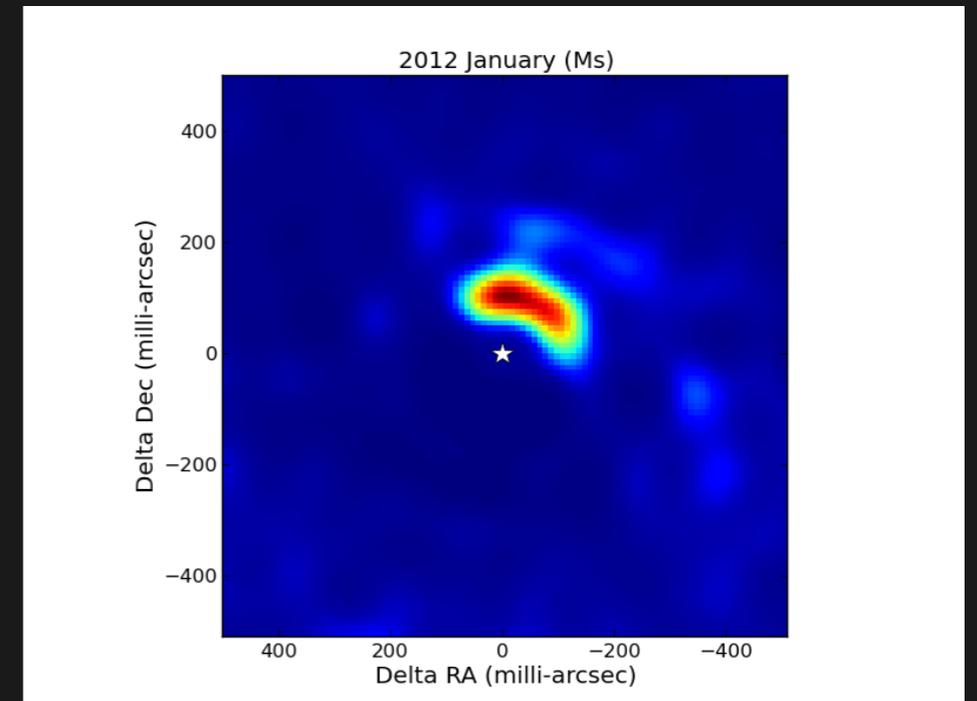
Electric field constrained to be orthogonal enough to E_{00} of SM fiber. R&D needed.



KERNEL: post-processing for science

- Ker-phase = generalized closure-phase
- Enables super-resolution
- 5-6 mag contrast, from ~ 0.5 to $4 \lambda/D$
- Replaces **NRM interferometry** for:
 - ▶ Higher sensitivity (no mask)
 - ▶ More observables
- Requirements:
 - ▶ AO corrected data
 - ▶ No saturation or coronagraphy
- **No additional hardware** required
- SPHERE data kernel analysis ongoing

Martinache, 2010, ApJ, 724, 464

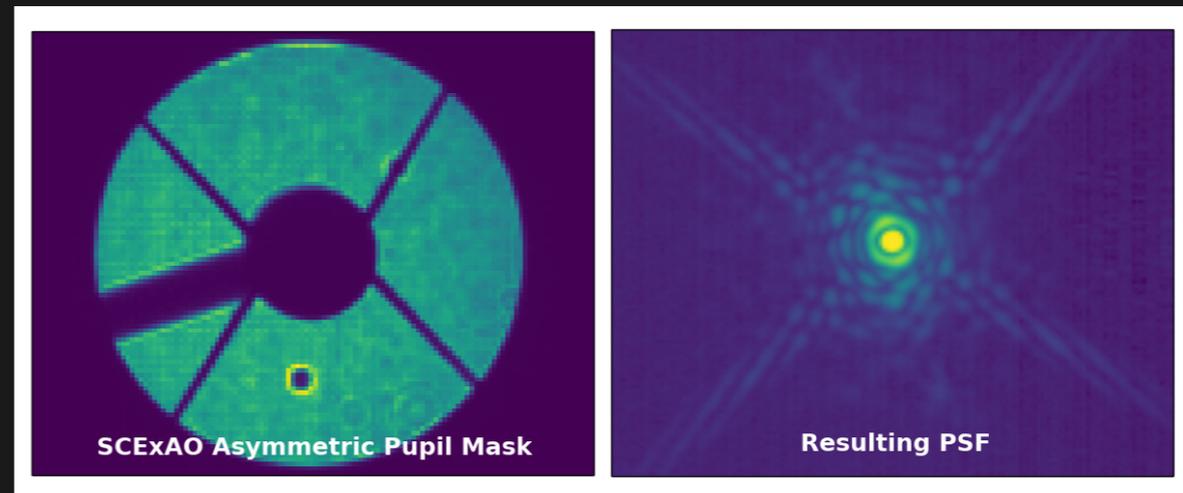


- Ker-phase map of LkCa 15
- $\Delta M = 3.5$ mag
- sep ~ 80 mas

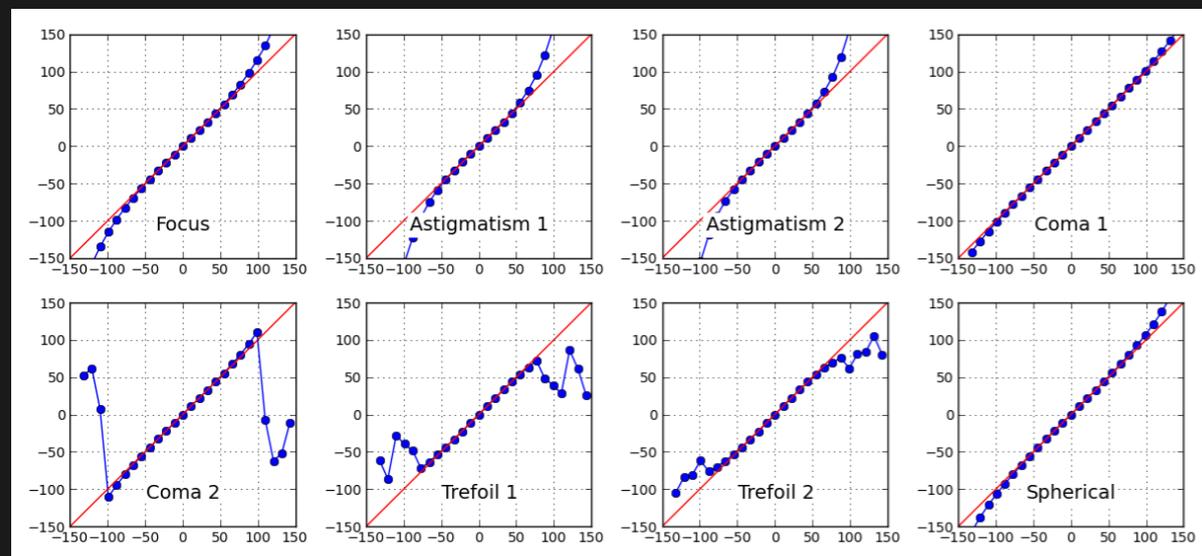
Ireland, 2013, OHP conference

OR focal plane metrology

An asymmetric pupil mask turns the image into an efficient, unambiguous and unbiased wavefront sensor



See: [Martinache et al, 2016, A&A, 593, A33](#)



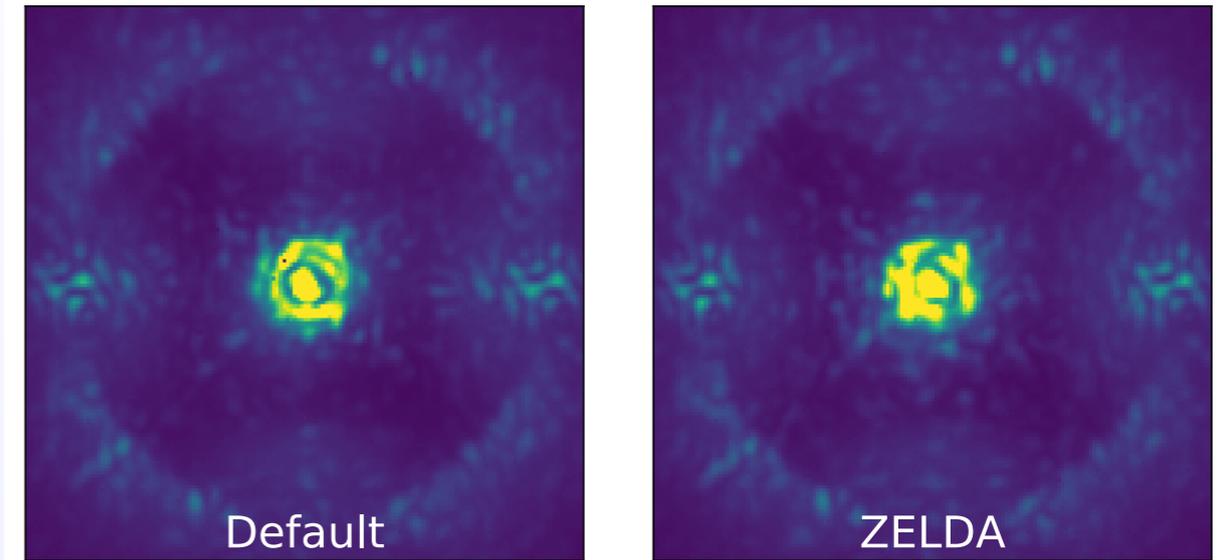
Use the science camera to correct low-order NCP aberration.

- The sensor (H-band) is linear over a ± 200 nm range of aberration.
- Can also address LWE modes
([N'Diaye et al, 2017, in prep](#))

Mesure et compensation des NCPA

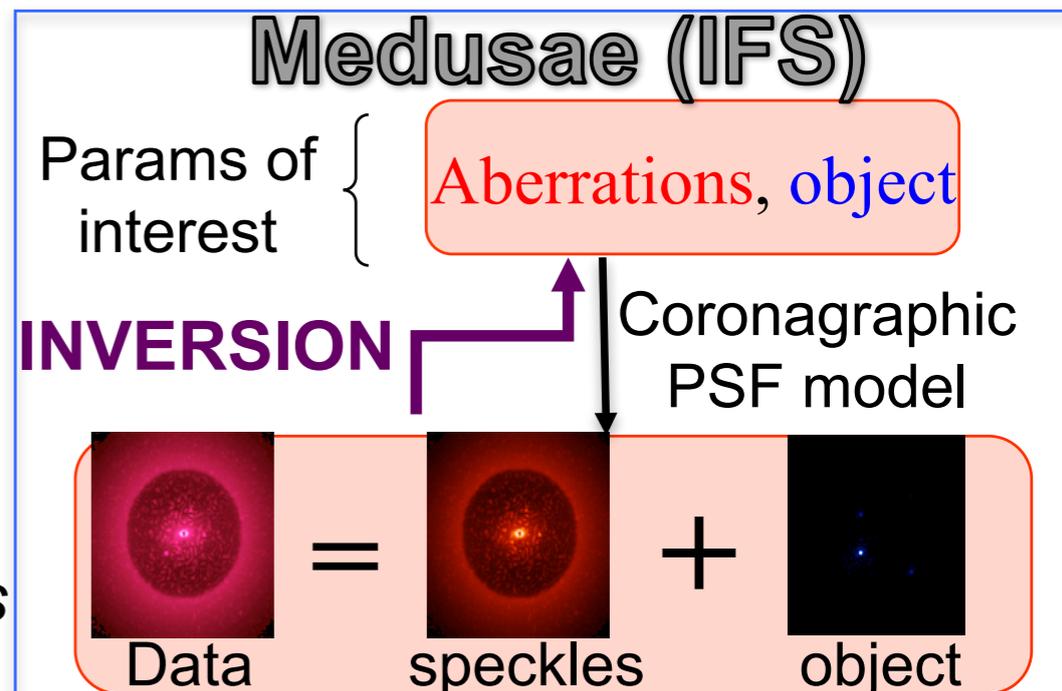
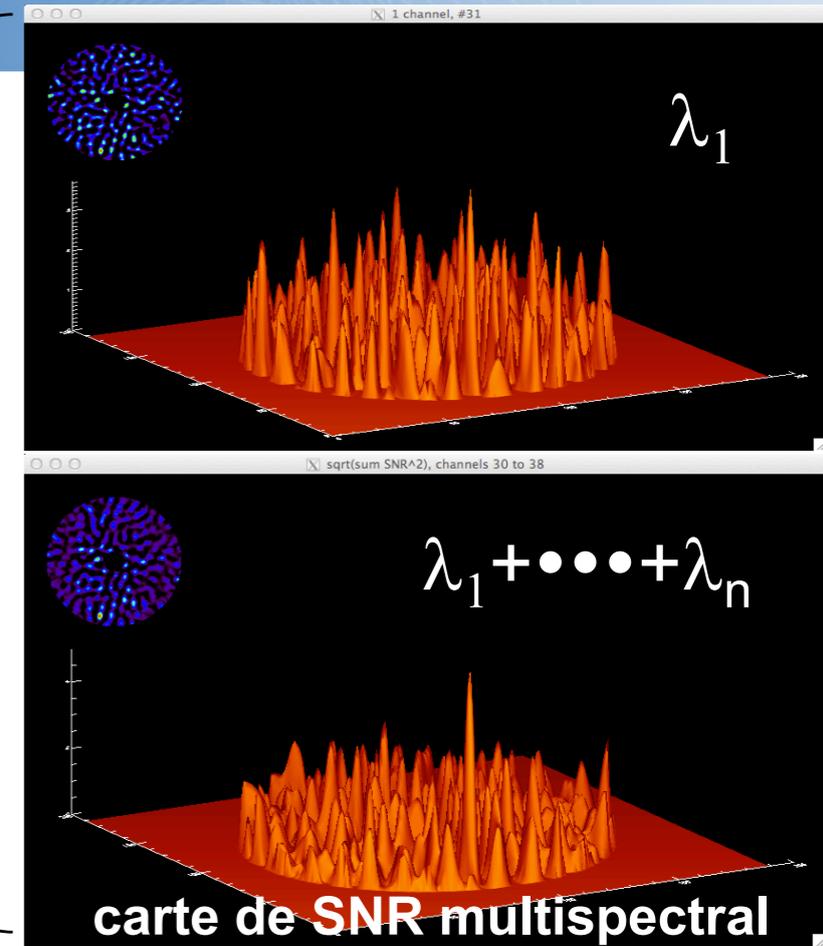
- Aujourd'hui:
 - pas de compensation des NCPA
 - limitation principale des perfs à 0.1-0.2" ?
- Mars 2017:
 - développement d'un template de calibration avec ZELDA
 - premiers résultats sur le ciel peu probants: besoin de plus de tests
- Evolutions possibles, par ordre de complexité:
 - *off-line*: calibration des NCPA en début de nuit
 - *off-line*: calibration des NCPA en début de chaque observation
 - *on-line*: COFFEE, APWFS
 - *on-line*: remplacement du DTTS par un senseur plus haut-ordres
- Besoin de comprendre les limitations actuelles:
 - beam shift? rotation des ADC IR?
 - aberrations d'amplitude non-négligeables (telescope, optiques CPI)
 - influence de la turbulence interne?

ZELDA sur le ciel



Traitements données IFS pour SPHERE upgrade

- Approx° 1er ordre speckle(λ) :
ANDROMEDA multispectral à la [Thiébaud et al 2016]
todo : prendre en compte corrélations spectrales bruit de speckle
- **Au-delà de cette approximation :**
modélisation speckles via aberrations
+ recherche conjointe aberrations et objet
(disque, planètes) = “MEDUSAE”
 - Proposé dans thèse Ygouf 2012 [Ygouf et al., A&A 2013]
 - Importance modèle fin PSF corono montrée dans thèse Cantalloube 2016 (collaboration IPAG/ONERA)
 - Modèle analytique de PSF corono longue pose :
[Hercovici MNRAS 2017] à incorporer dans MEDUSAE
 - Difficultés : optimisation essentiellement
- **Proposition :**
combinaison étalonnage et traitements :
COFFEE *on-line* i.e. sur ciel +
MEDUSAE avec le même modèle corono, et les
aberrations mesurées par COFFEE comme *guess*
pour MEDUSAE.



Interdépendances entre les évolutions

- Importance de penser en amont les "couplages" entre les évolutions possibles
- Approche concertée et consolidée nécessaire

Interdépendance

-  **Faible**
-  **Moyenne**
-  **Forte**

