

Imagerie haute résolution angulaire

Colloque de prospective du PNPS

26 février 2014

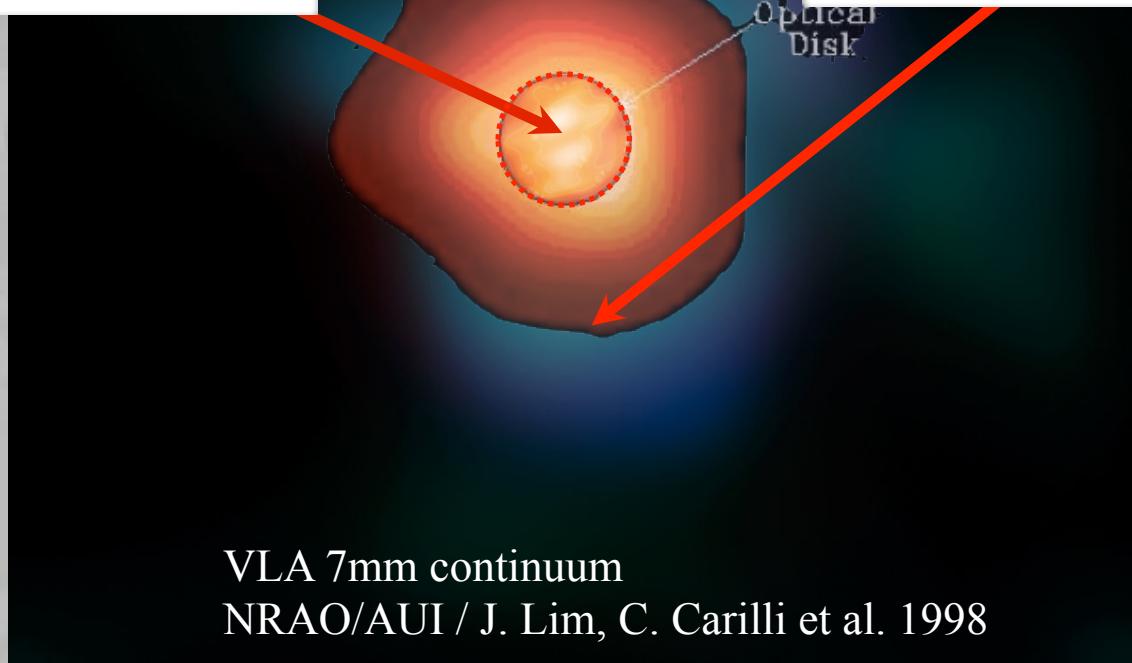
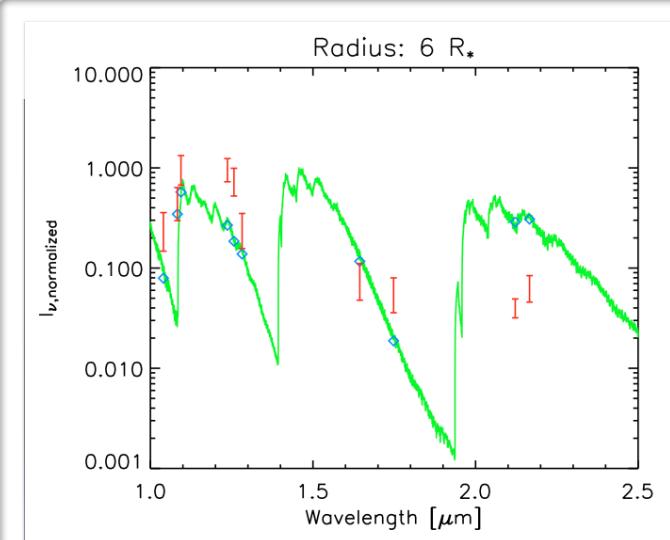
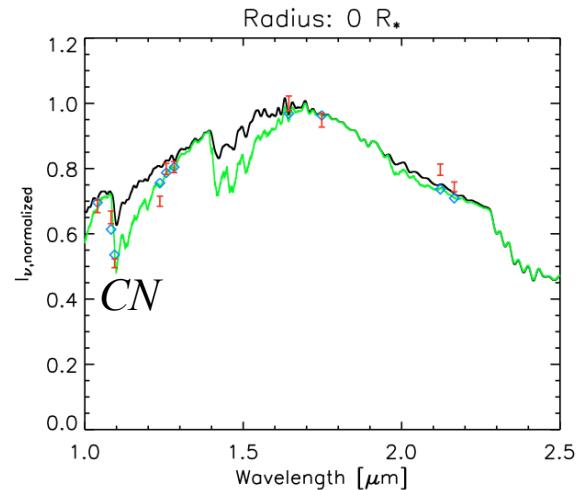
Guy Perrin



Classes d'instruments

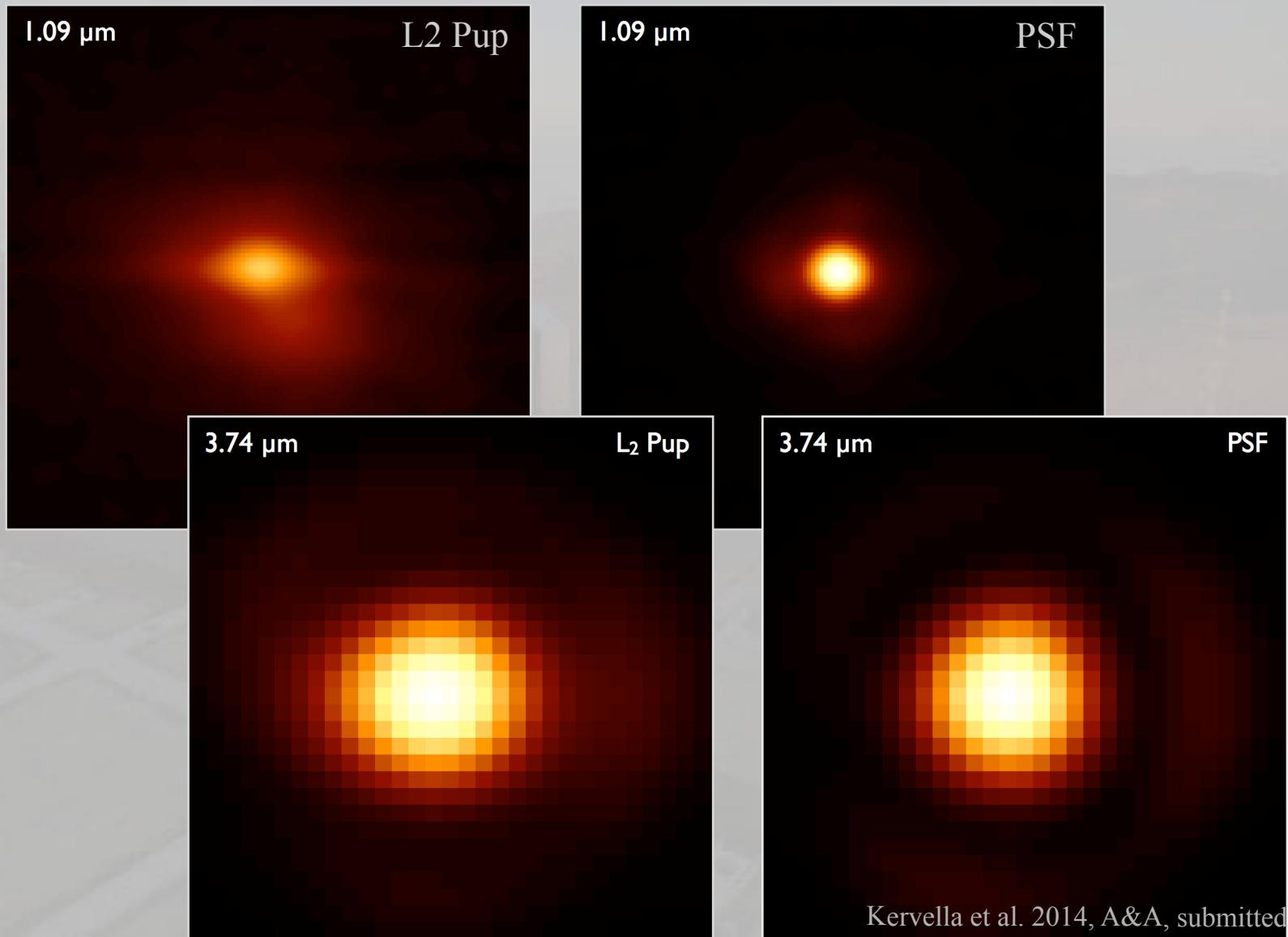
- **Instruments mono-télescopes :**
 - sol
 - espace
- **Interféromètres longues bases**
- **Potentielles futures très longues bases**

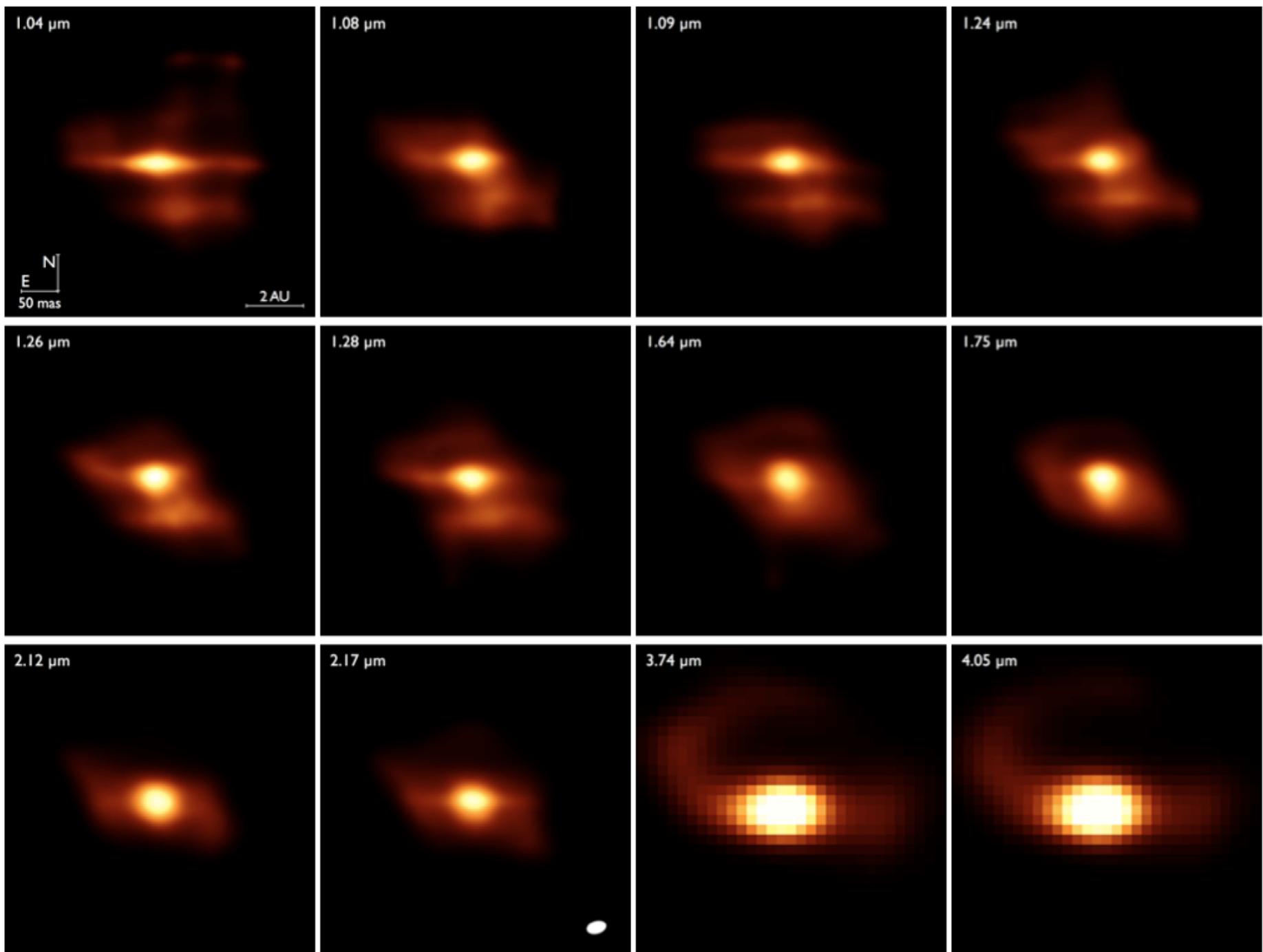
Optique adaptative - VLT



NACO L2 Puppis

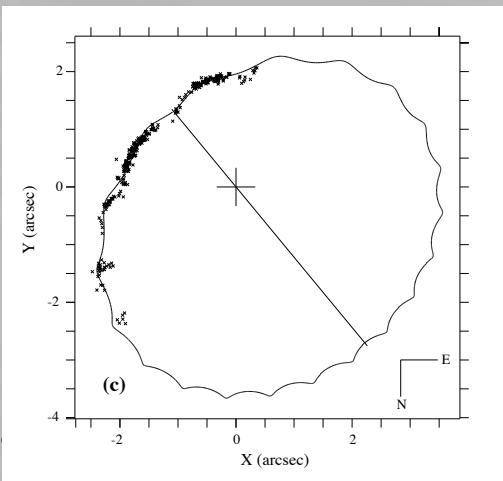
Technique d'imagerie chanceuse assistée + déconvolution





Interférométrie des tavelures

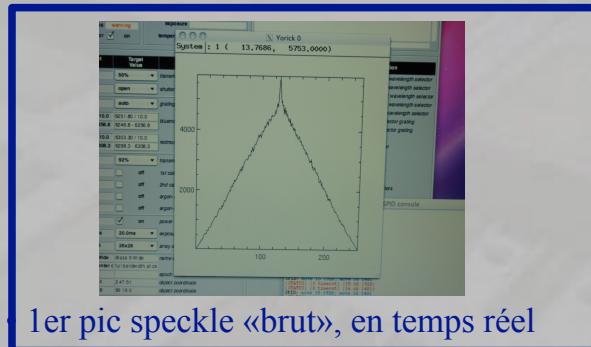
- **PISCO (IRAP) installé à l'observatoire de Merate en Italie (1 m)**
- Sensibilité : $V = 10-12$
- Dynamique : $\Delta m = 4$
- Résolution angulaire : 140 mas (R)
- ≥ 70 orbits dont (32 à Merate) [2010]
- Précision sur les masses : 10% (Scardia 2013)



- Système triple ADS 15971

Interférométrie des tavelures

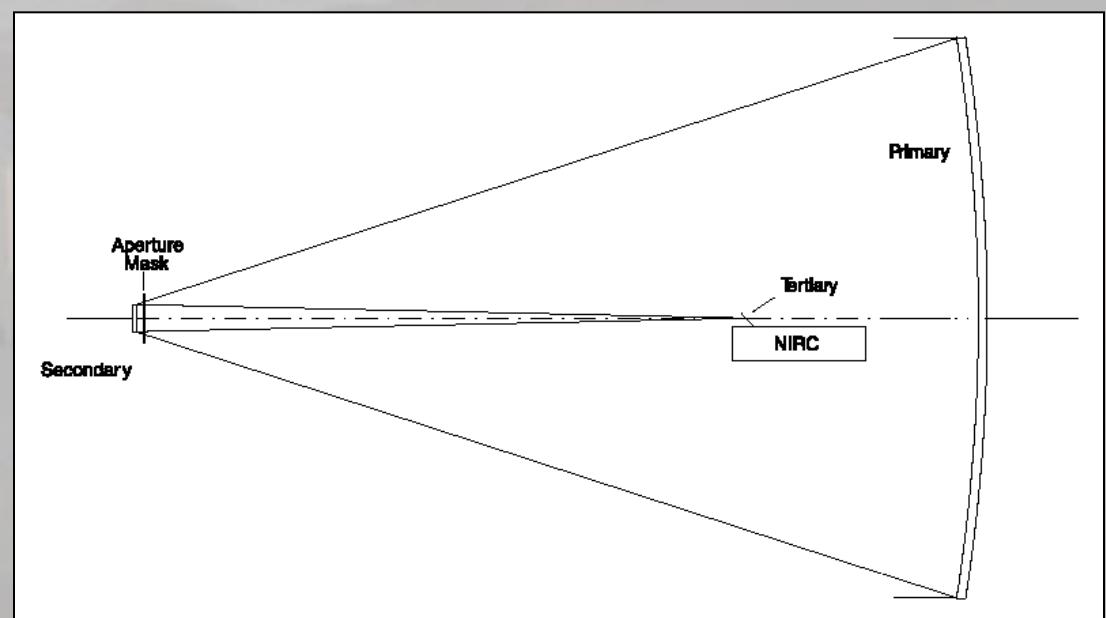
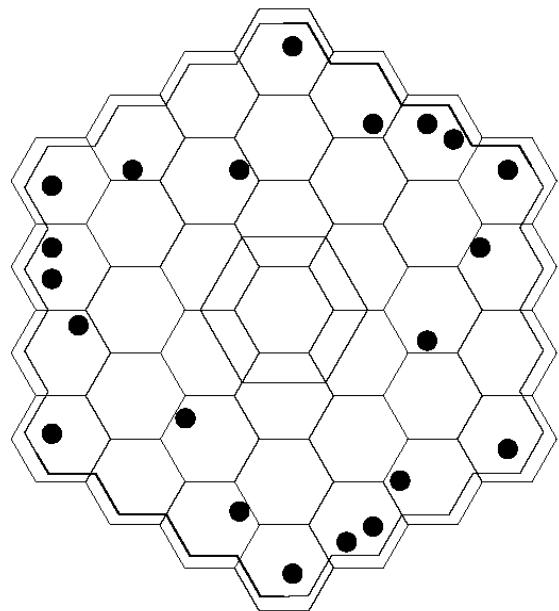
- **SPID (CRAL) installé au Zelentchuk (6 m)**
- $400 \text{ nm} \leq l \leq 800 \text{ nm}$
- Résolution angulaire : 14 mas à 27 mas
- $R = 50$ à 3000
- Sensibilité : $V = 10$ à 18
- 2 campagnes 09/2012 et 11/2013
- Cibles : physique des atmosphères stellaires, CSE, objets multiples serrés, etc ...



Masquage de pupille

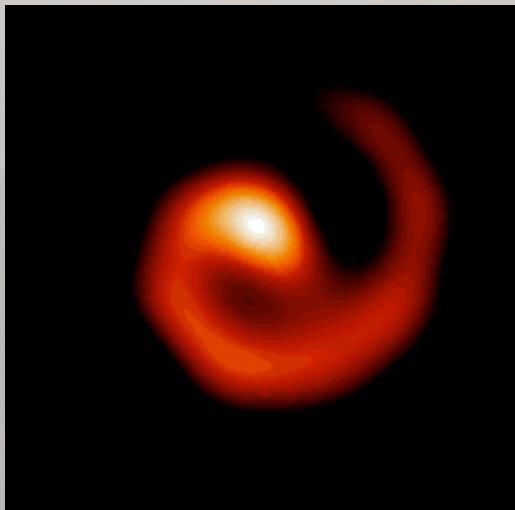
Exemple : expérience Keck (Tuthill et al. 1999)

Masque pupillaire

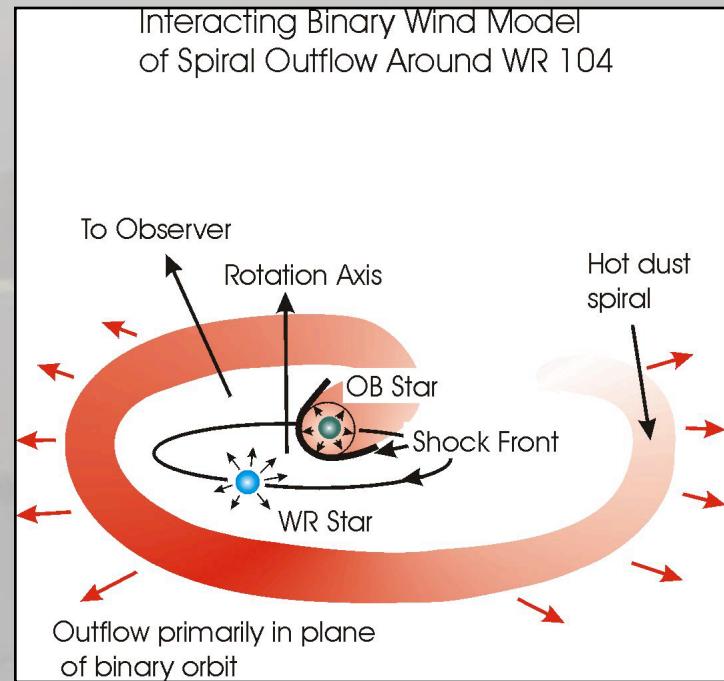


Étoile Wolf-Rayet WR 104

Masquage de pupille avec Keck I @ 2,27 μ m

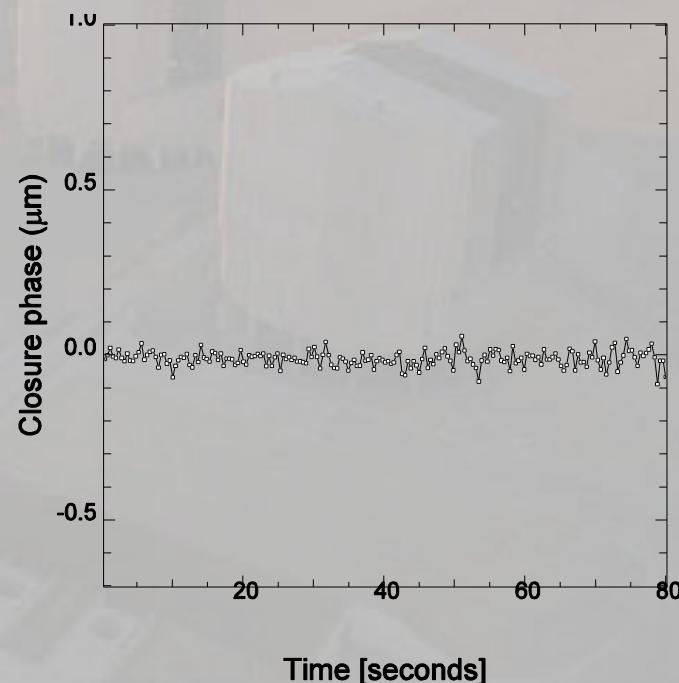
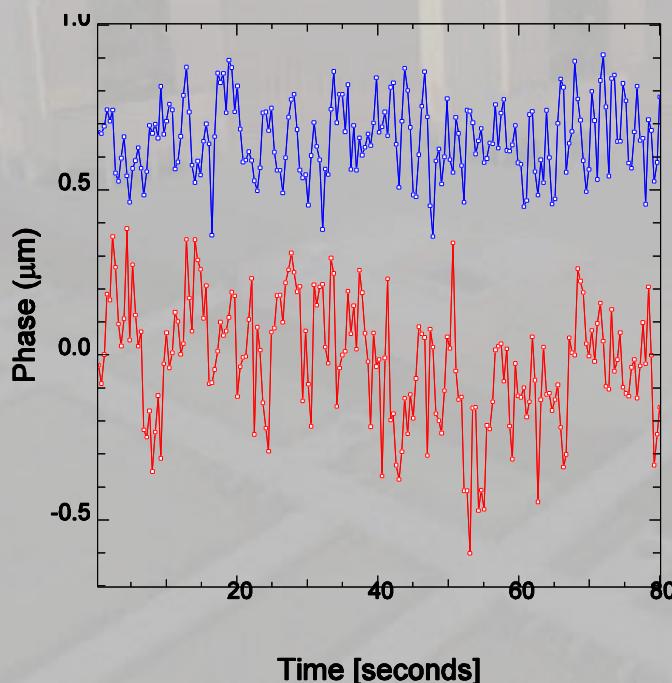
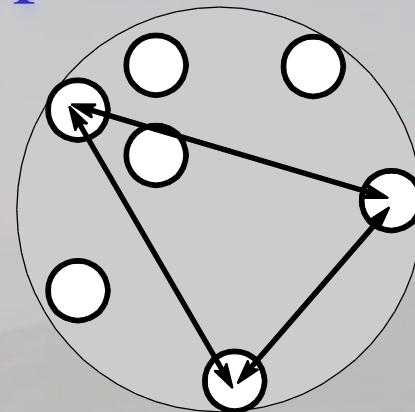
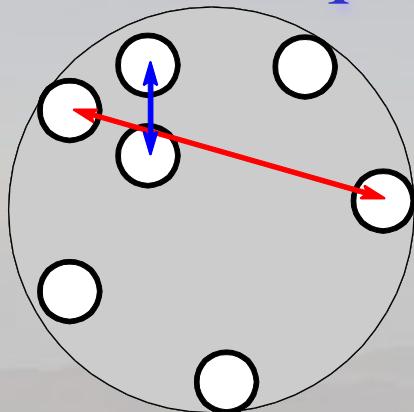


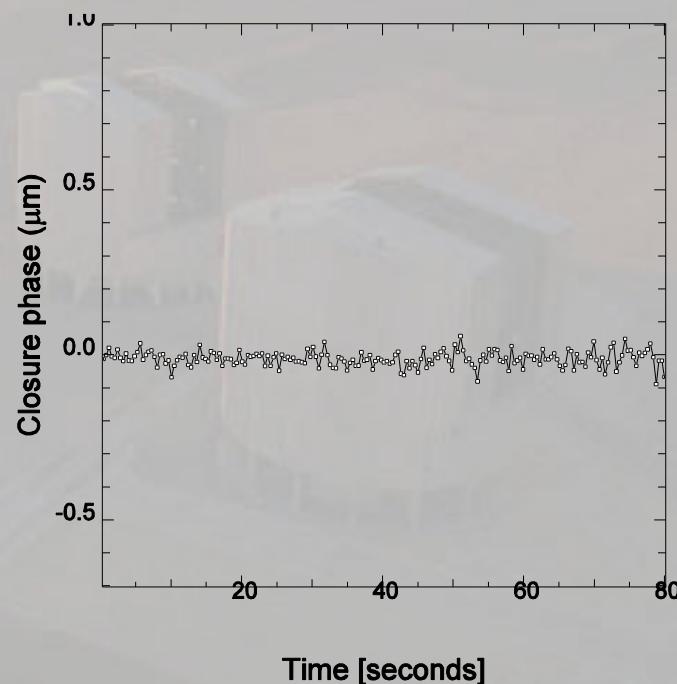
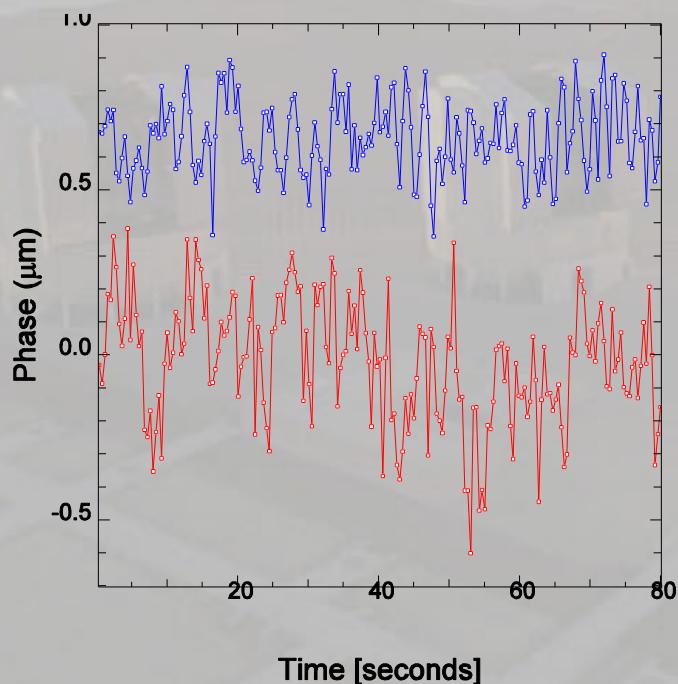
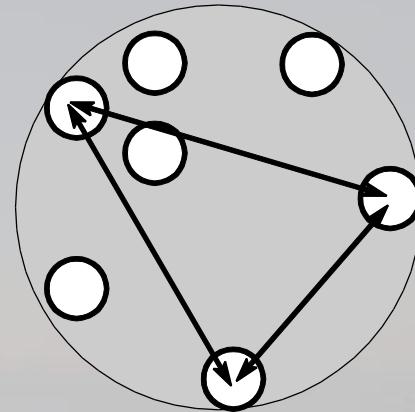
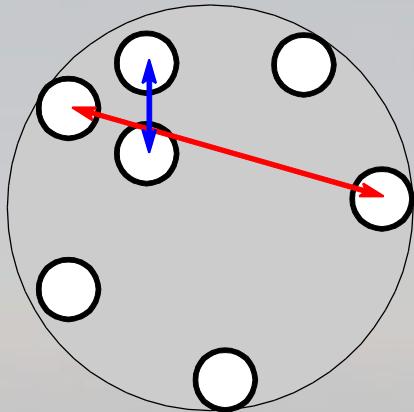
Tuthill, Monnier & Danchi (1999)



Dynamique : 200

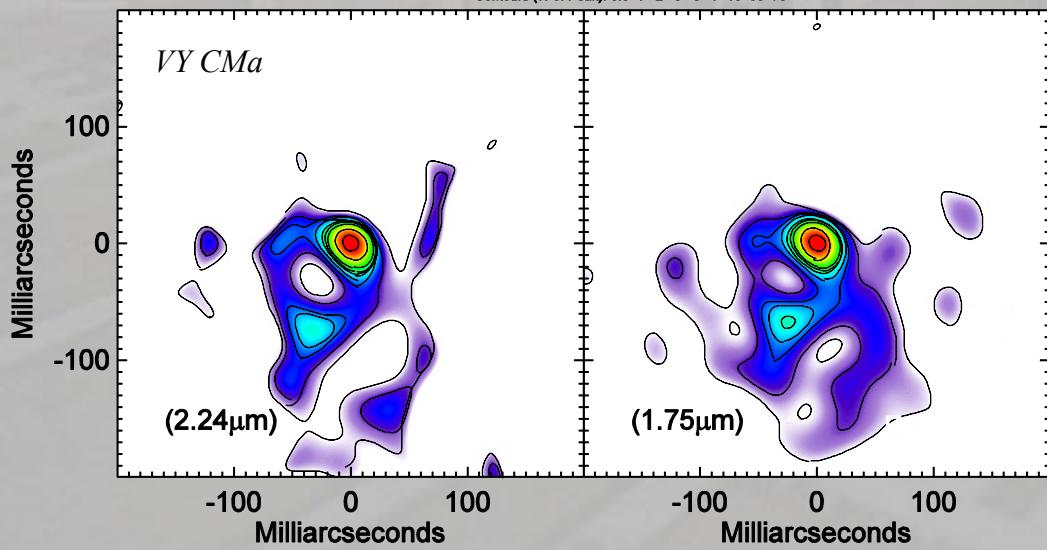
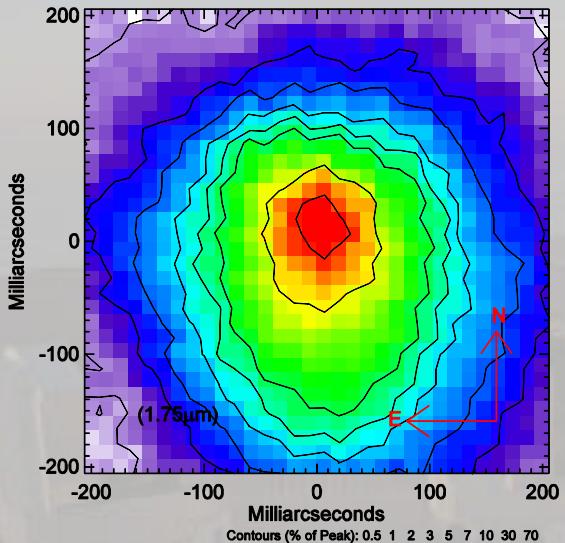
Masquage de pupille





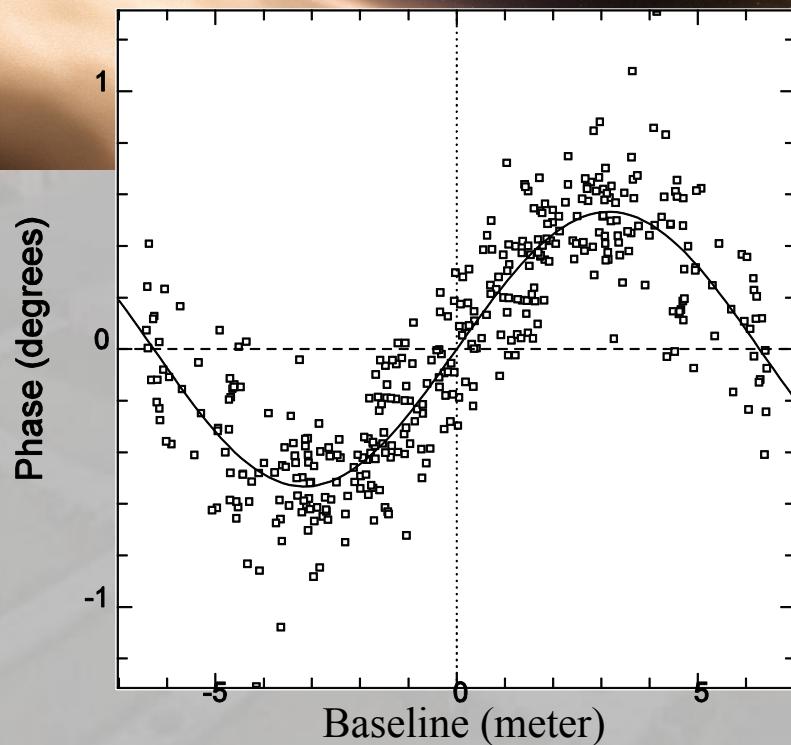
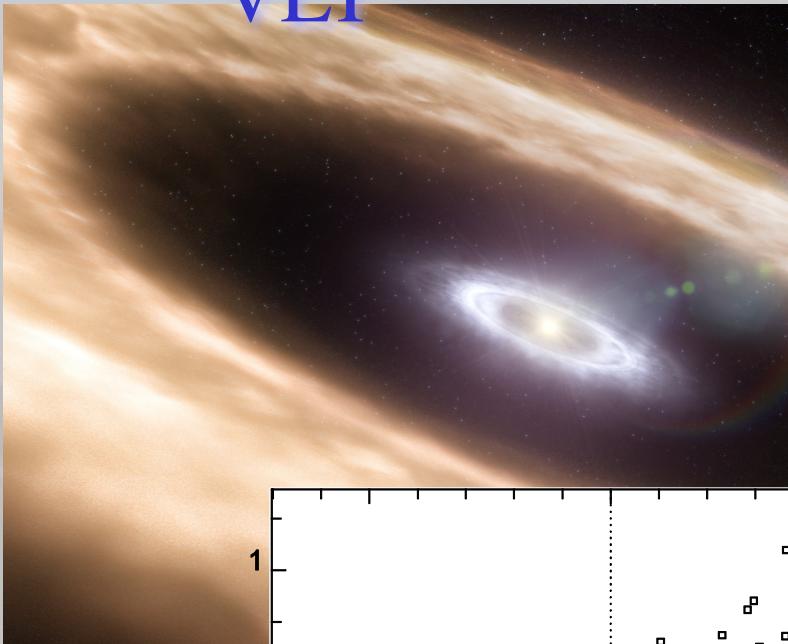
2) Autocalibration des [closures de phase](#)

SAM mode de NACO sur le VLT



(Lacour, communication personnelle)

SAM mode de NACO sur le VLT



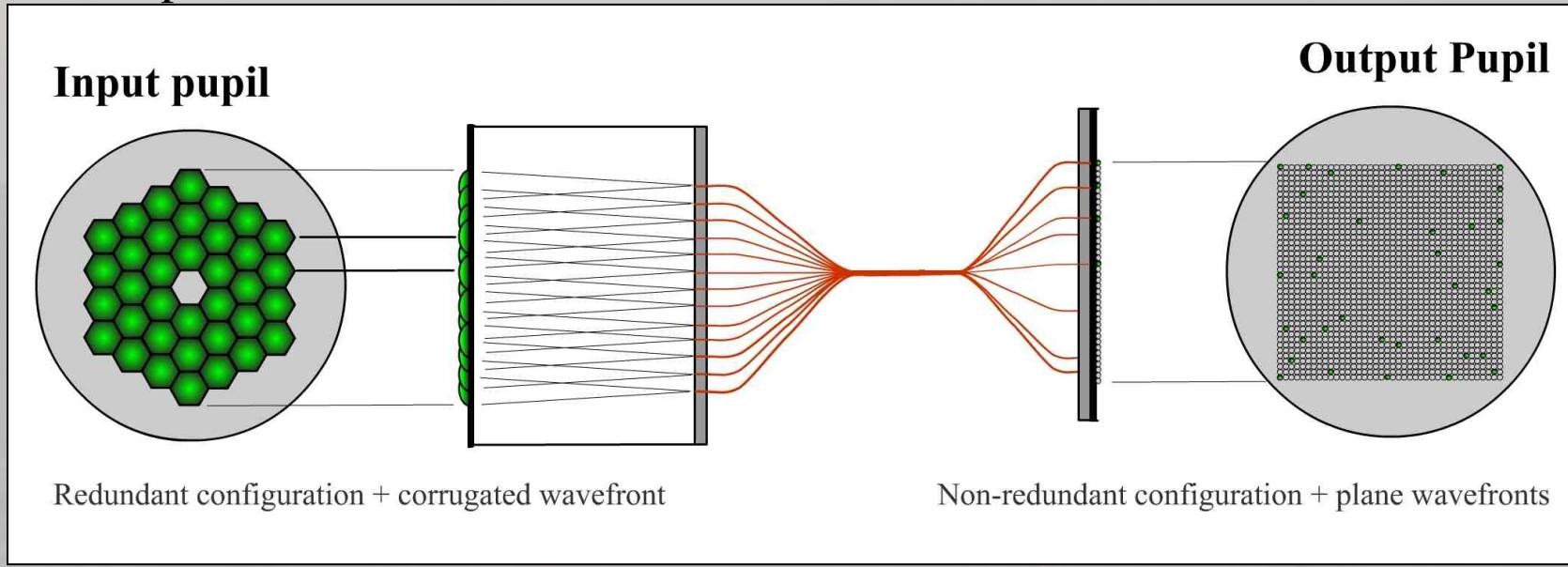
5nm

T Cha b
Séparation $0.5\lambda/D$

(Huélamo et al. 2011)

Masquage de pupille par fibres

Principe de FIRST

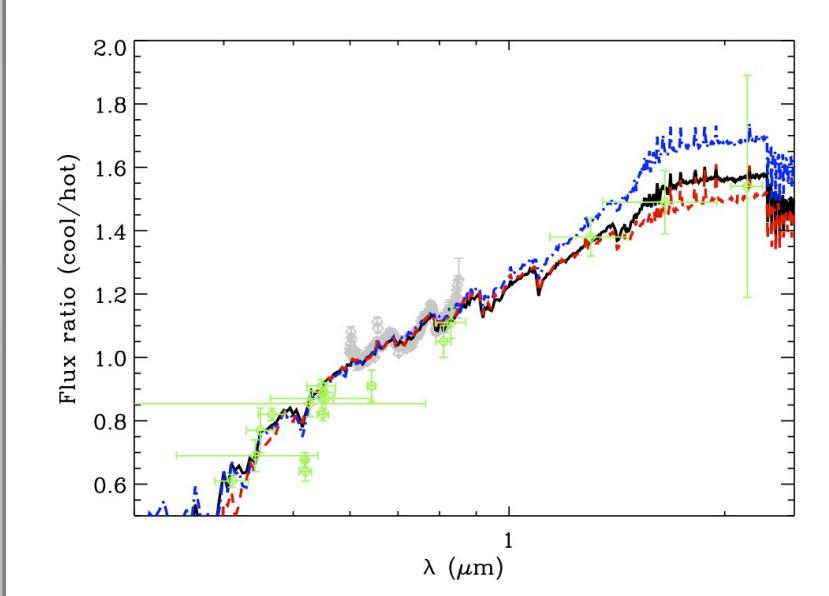
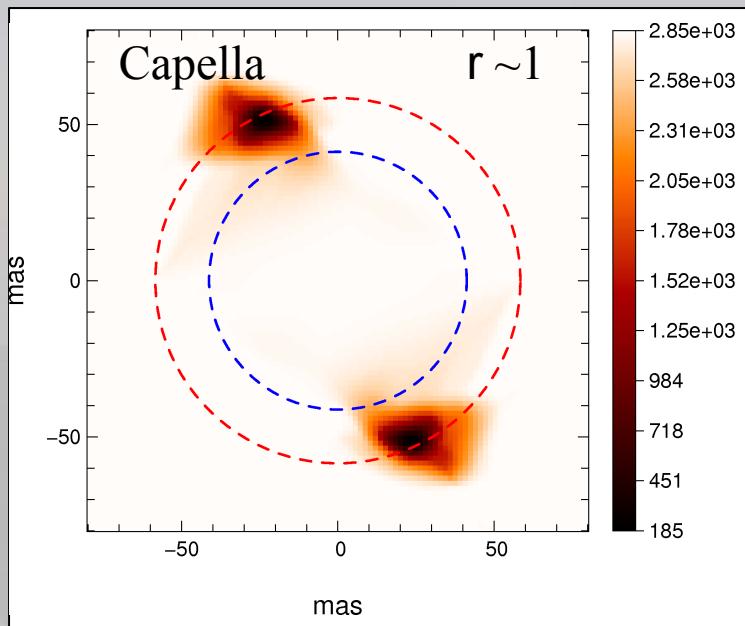


Perrin et al. (2006)

Système visible couplé à une optique adaptative pour l'infrarouge :

=> imagerie HRA dans le visible sur télescope monolithique.

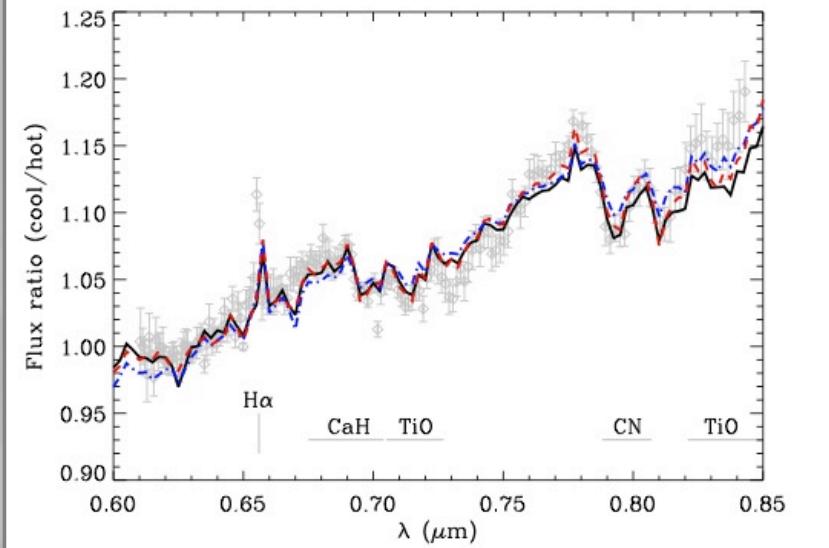
1^{er} résultat publié



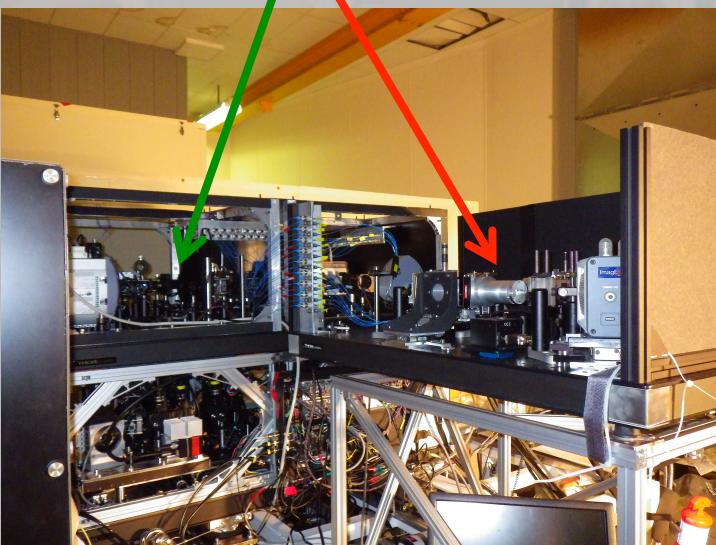
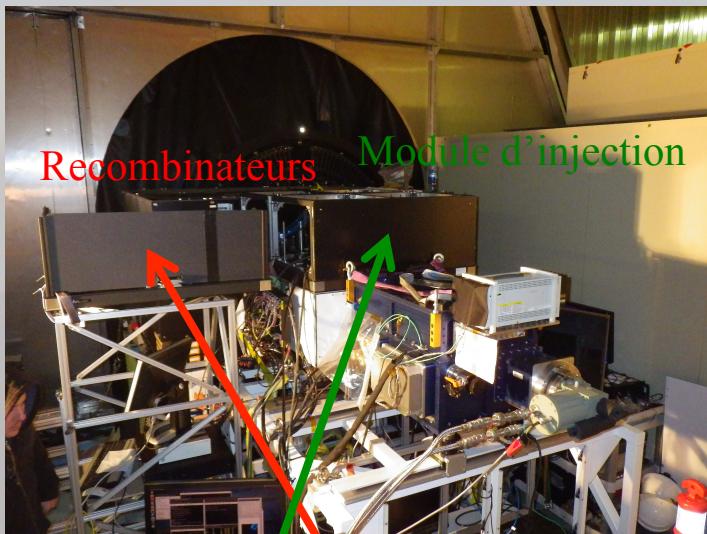
Spectre du rapport des flux ajusté des spectres PHOENIX.

Résultats compatibles avec les paramètres stellaires classiques sauf dans les bandes de CN => liste de raies incomplète ?

(Huby et al. 2013)



FIRST sur Subaru (8 m)

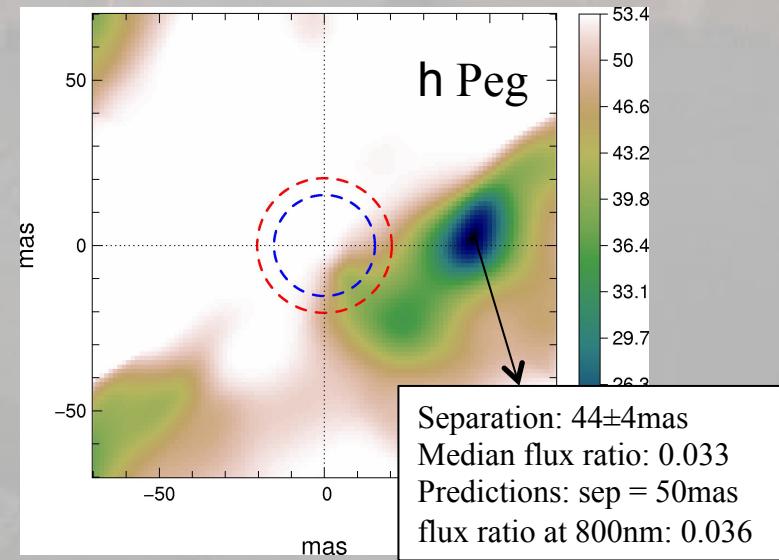


FIRST monté au foyer de SCExAO.
1^{ère} lumière en juillet 2013.

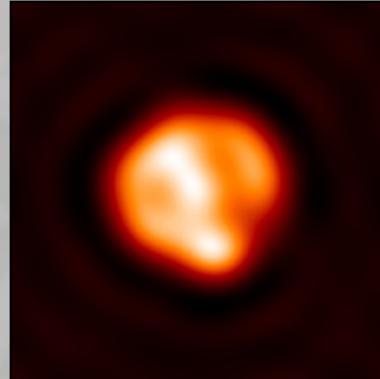
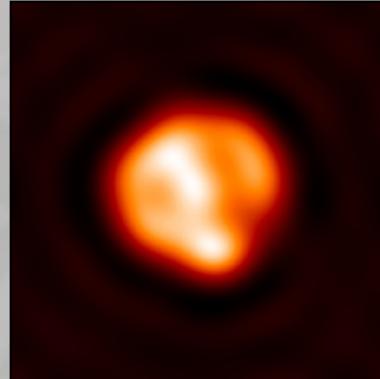
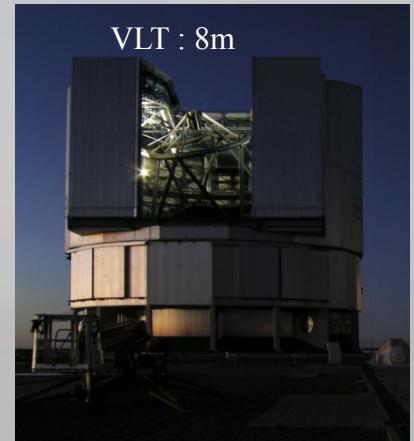
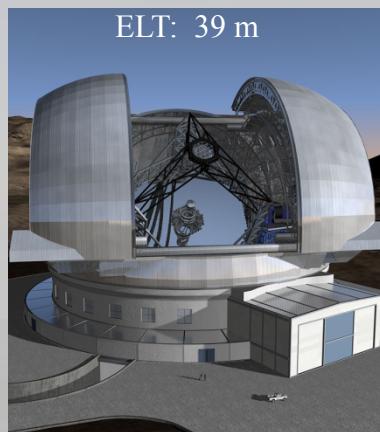
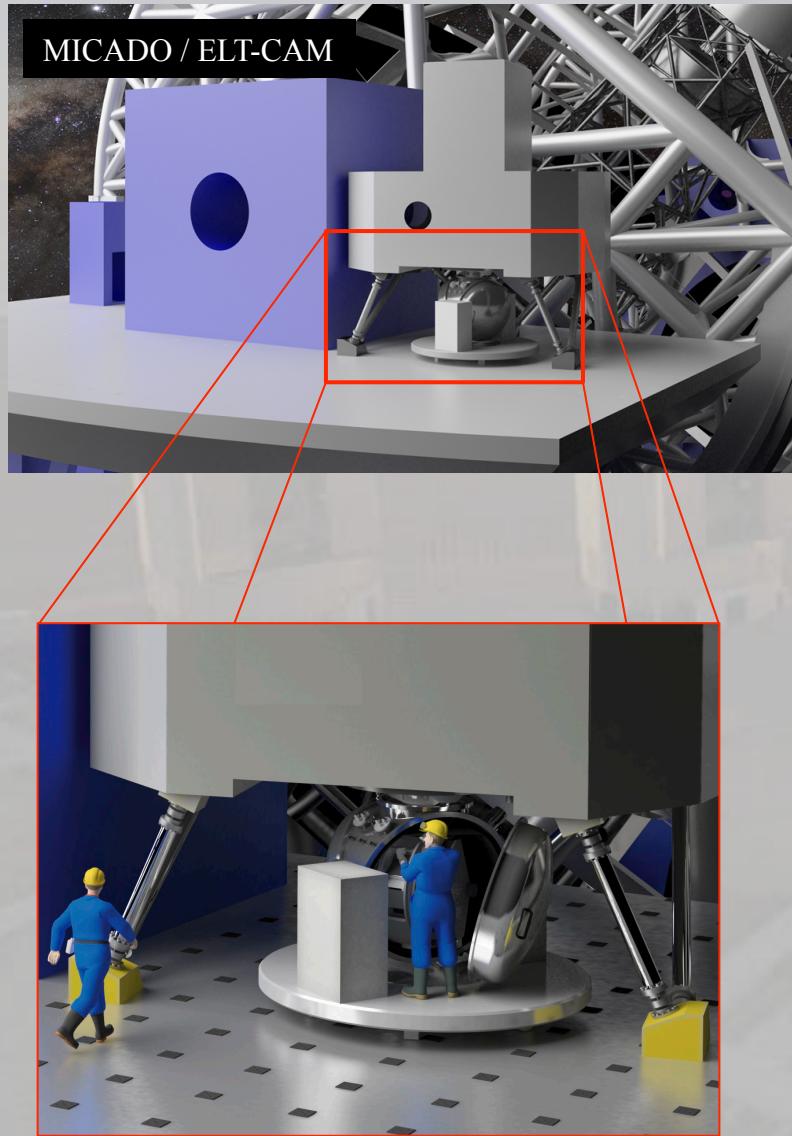
Objectifs :

- binaires ;
- surfaces stellaires (convection)

Résolution angulaire : 16 mas @ 600 nm

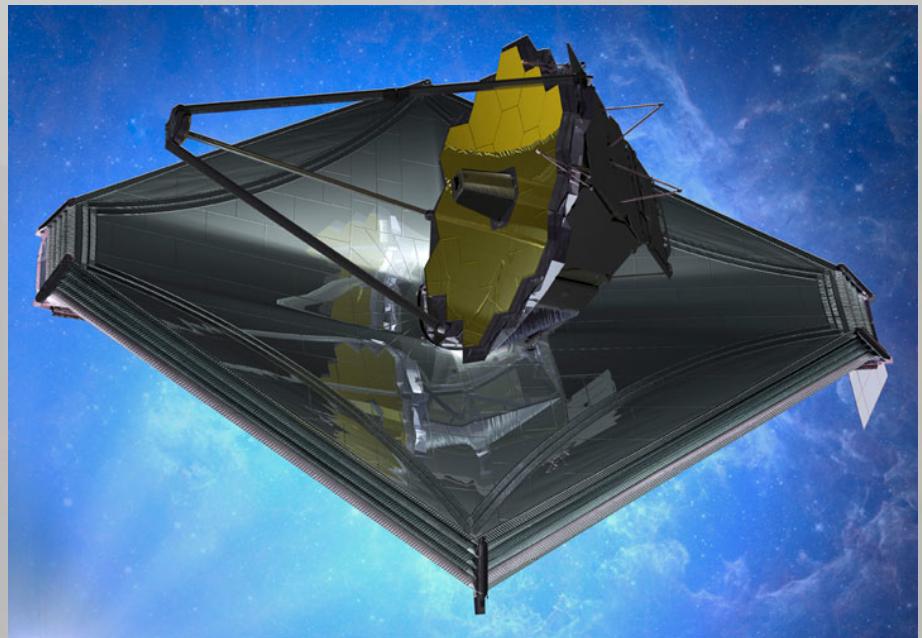


Optique adaptative – E-ELT

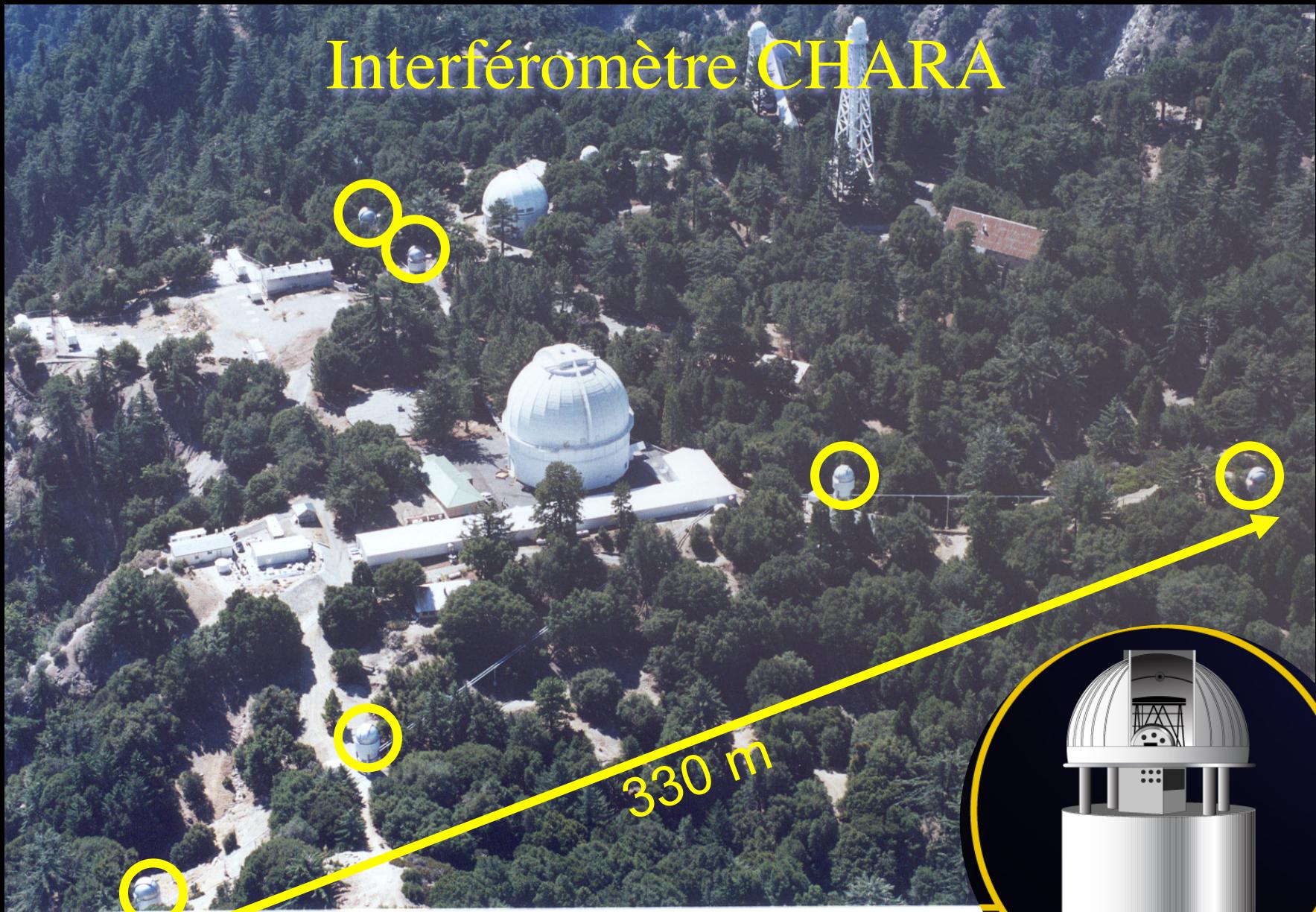


JWST

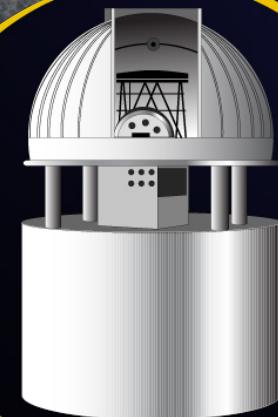
- Domaine de longueurs d'onde :
 - NIRCAM : $0,6\text{-}5 \mu\text{m}$
 - MIRI : $5\text{-}28 \mu\text{m}$
- Résolution angulaire : 19 – 158 mas
(pour NIRCAM)
- Lancement : 2018



Interféromètre CHARA



1,4 mas de résolution angulaire en bande K
0,3 mas en V

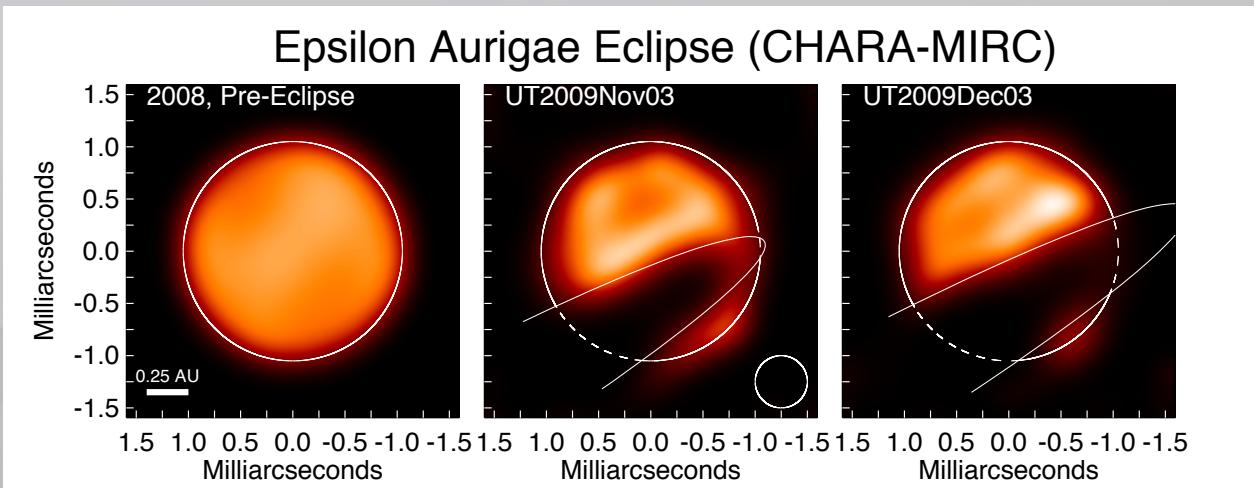


CHARA

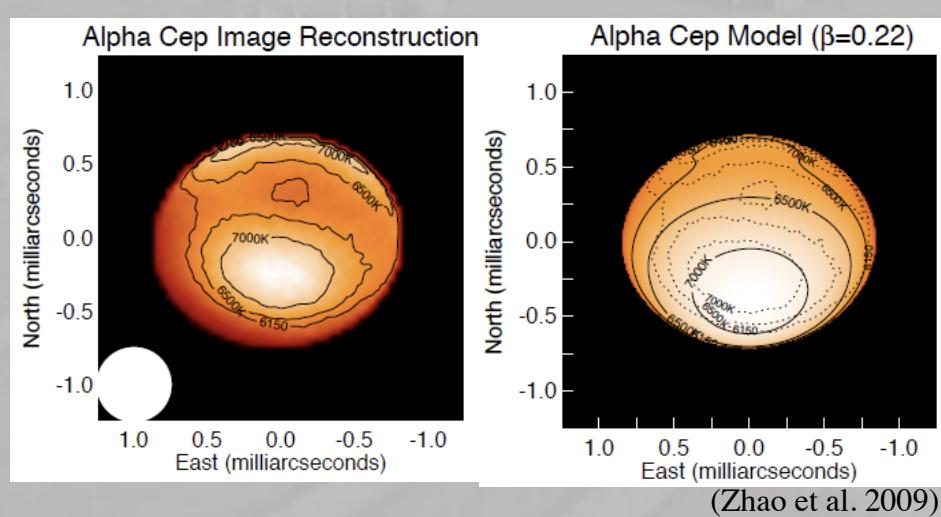
Instruments (potentiellement) imageurs :

- **MIRC** : 6T, bandes H et K, $R = 42, 150, 450$, résolution angulaire : 1,5 mas
- **VEGA** :
 - Actuel : 3-4T – 0,45-0,85 μm – sensibilité V=7-8 – R = 6000, 30000 – résolution angulaire : 0,3 mas
 - Futur de VEGA : couplage avec OA -> FRIEND (2016-2017) : V=10-11 + clôtures de phase
 - Diamètres angulaires à 1%, précision sur les rayons linéaires = parallaxe
 - Contrainte des paramètres fondamentaux, en complément à CoRoT, PLATO, également pour la contrainte des paramètres exoplanétaires (transits)

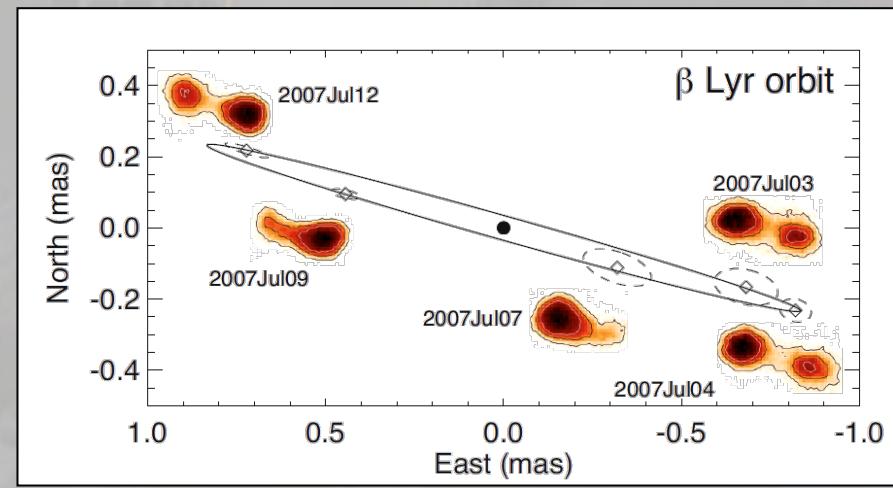
(quelques) Images MIRC



(Kloppenborg et al. 2010)



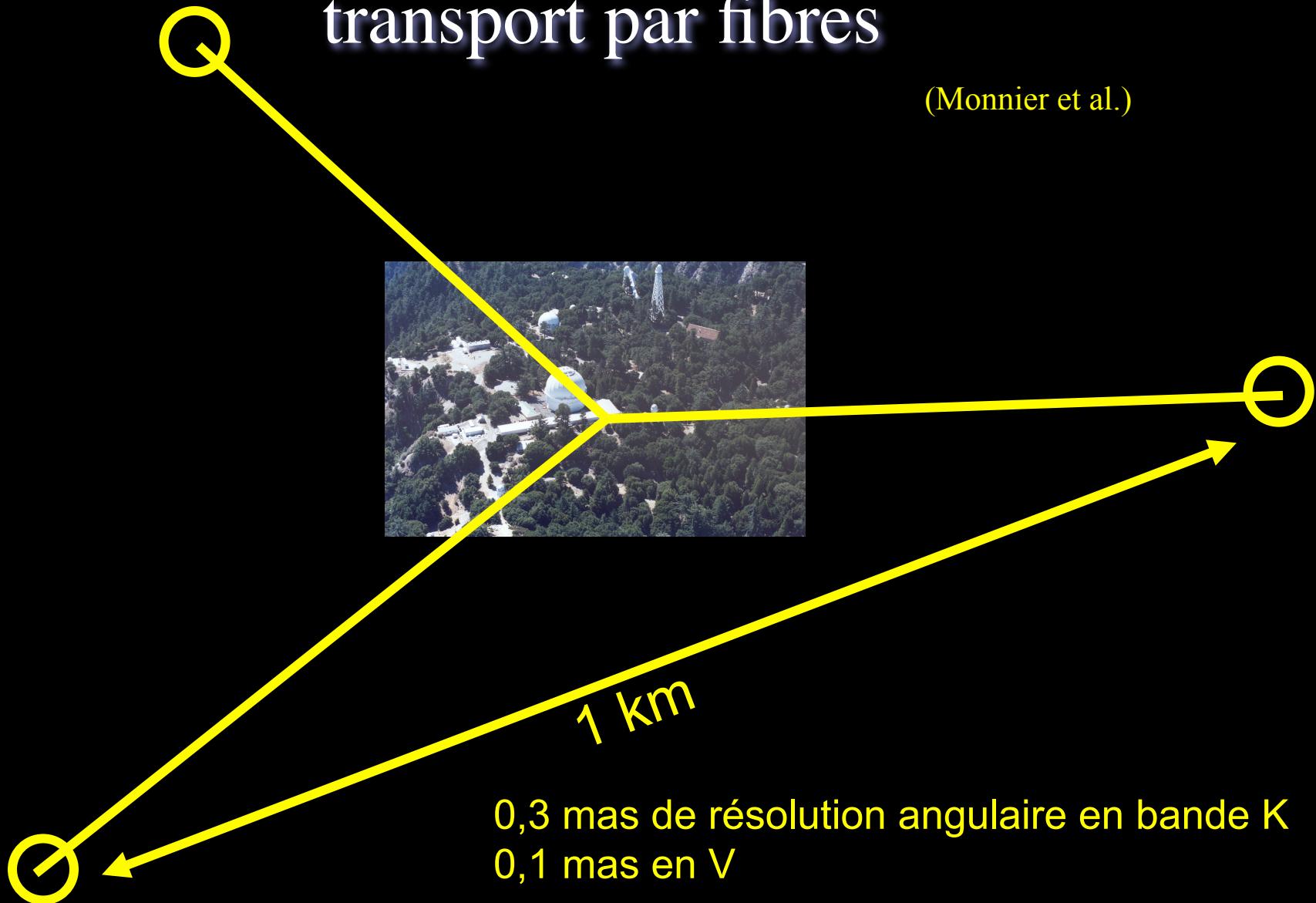
(Zhao et al. 2009)



(Zhao et al. 2008)

CHARA + télescopes mobiles ISI + transport par fibres

(Monnier et al.)



NPOI

État actuel

NPOI + Keck outriggers

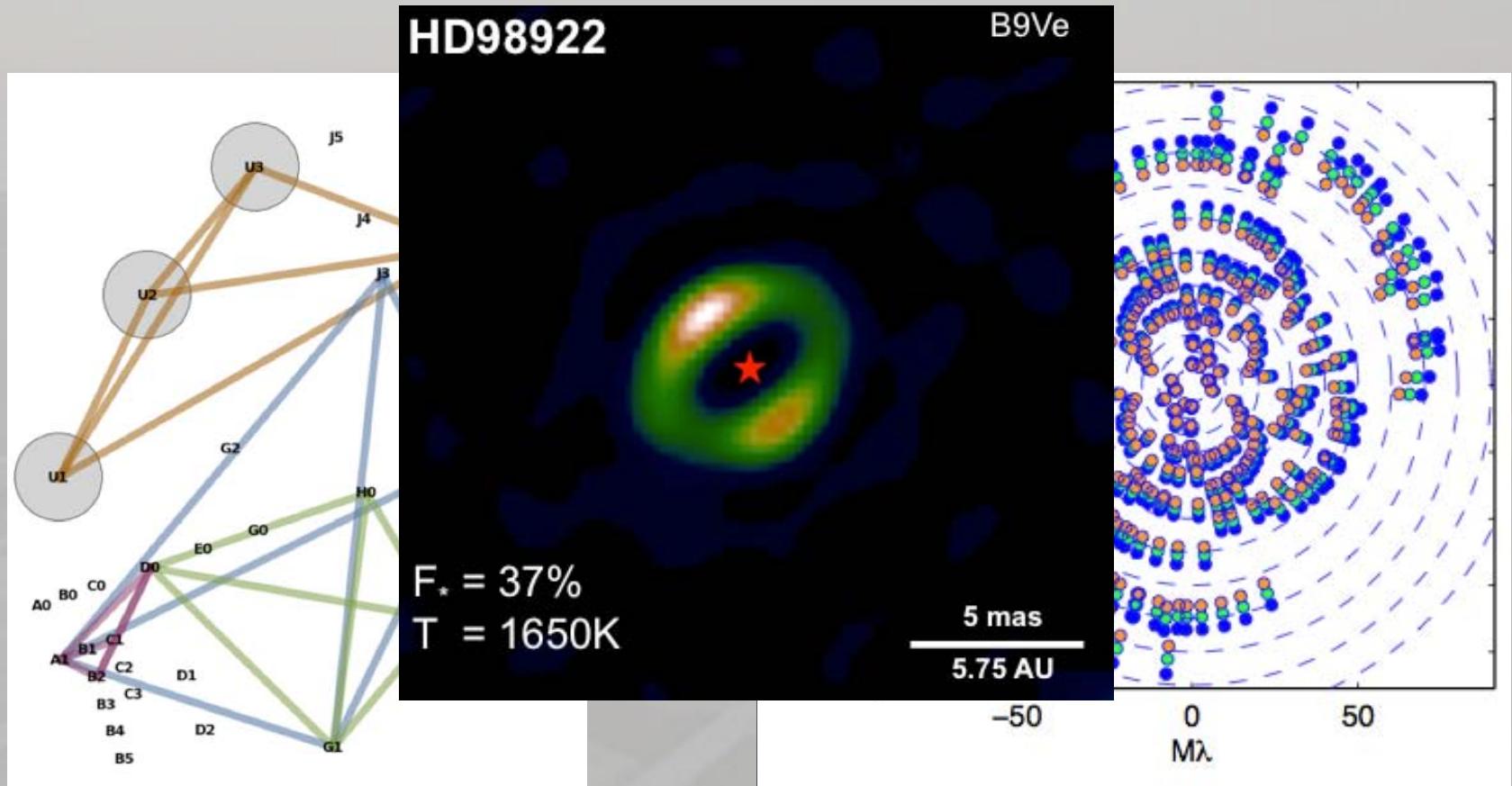
VLTI

Instruments 2^{ème} génération (tous 4T) :

- PIONIER : H et K – sensibilité : H = 8,5 (AT)/10 (UT) ; K = 5,5 (AT) – R = 40
- GRAVITY : K – sensibilité : 10 et K \geq 15 en mode double champ – R = 22, 500, 4000
- MATISSE : L, M, N – sensibilité : 0,6 Jy en N et 0,1 Jy en L – R = 30 (LMN) – 200 (N) – 500 (LM) – 1000 (L)
- Résolutions angulaires AT et UT :

	AT	UT
H	1,7	~ 2,4
K	2,3	~ 3,2
L	3,5	~ 5,0
M	5,2	~ 7,4
N	10,5	~ 15,0

Exemple de résultat avec PIONIER



(Berger et al. 2014)

GRAVITY

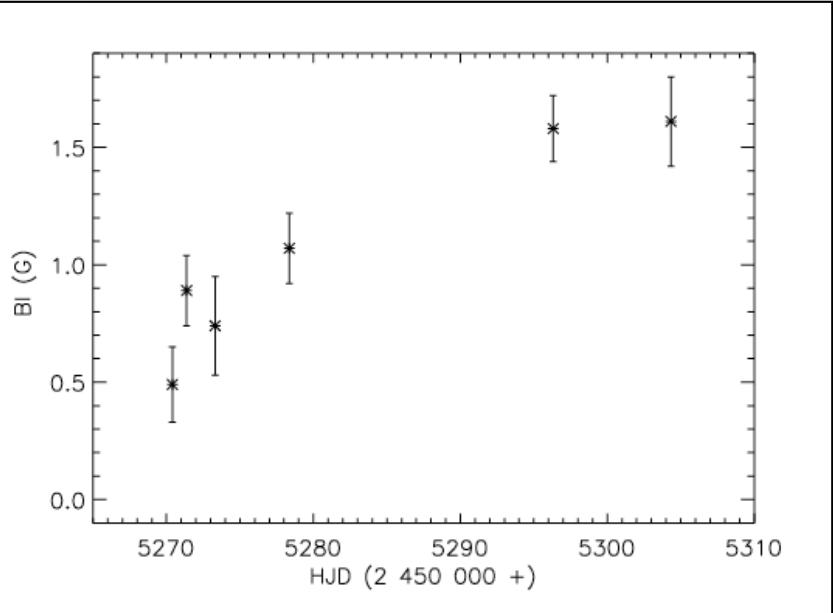
Instrument dimensionné pour l'observation du trou noir au
centre de la Galaxie (Sgr A*)

Et

instrument généraliste imageur pour la bande K avec
dispersion spectrale (R jusqu'à 4000)



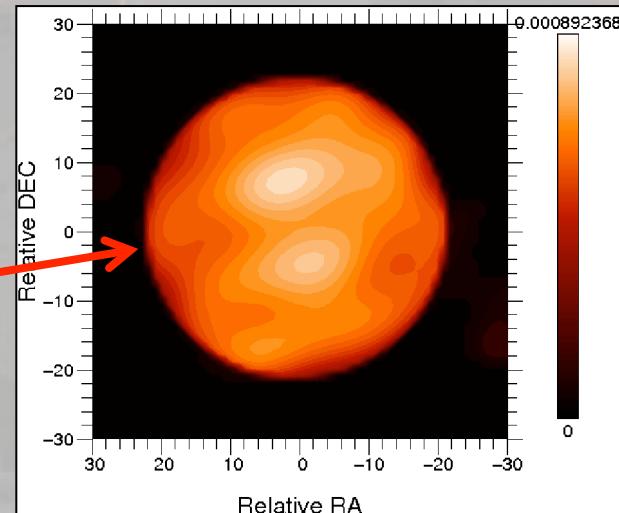
Interféro-spectro-polarimétrie



(Aurière et al., 2010)

Données résolues spatialement ?

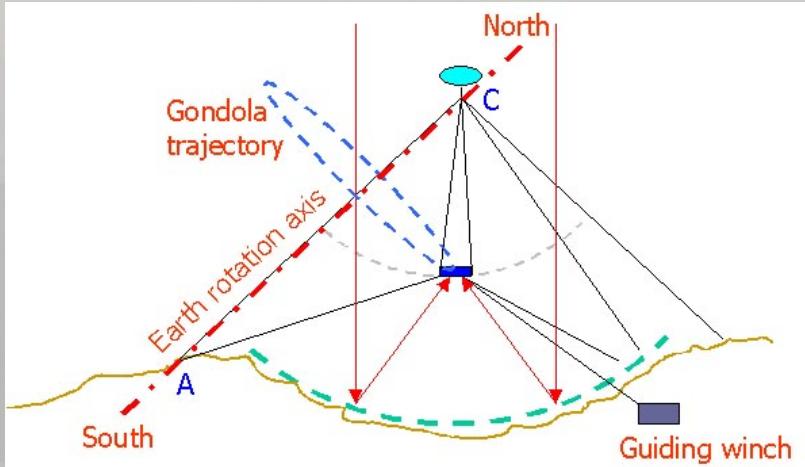
Détection du champ magnétique intégré à la surface de Bételgeuse avec NARVAL (TBL)



(Haubois et al., 2009)

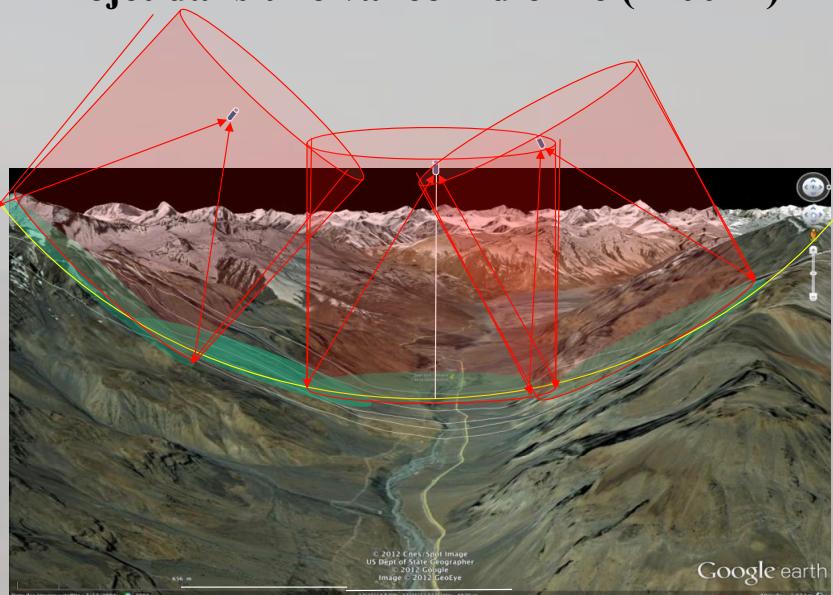
Hyper-télescopes

Démonstrateur CARLINA (OHP)

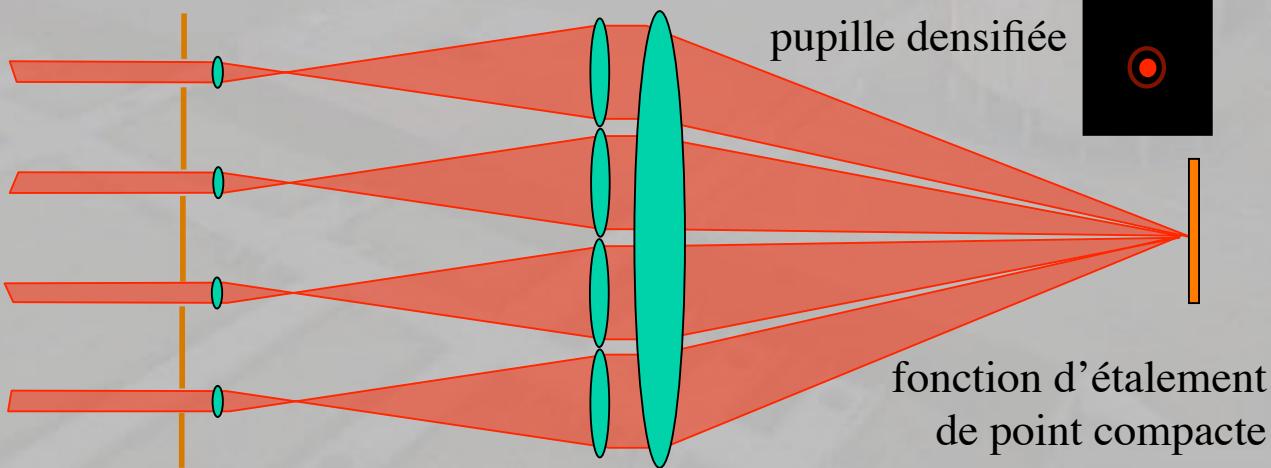


(Le Coroller et al. 2009)

Projet dans une vallée indienne (1200 m)



(Labeyrie et al. 2012)



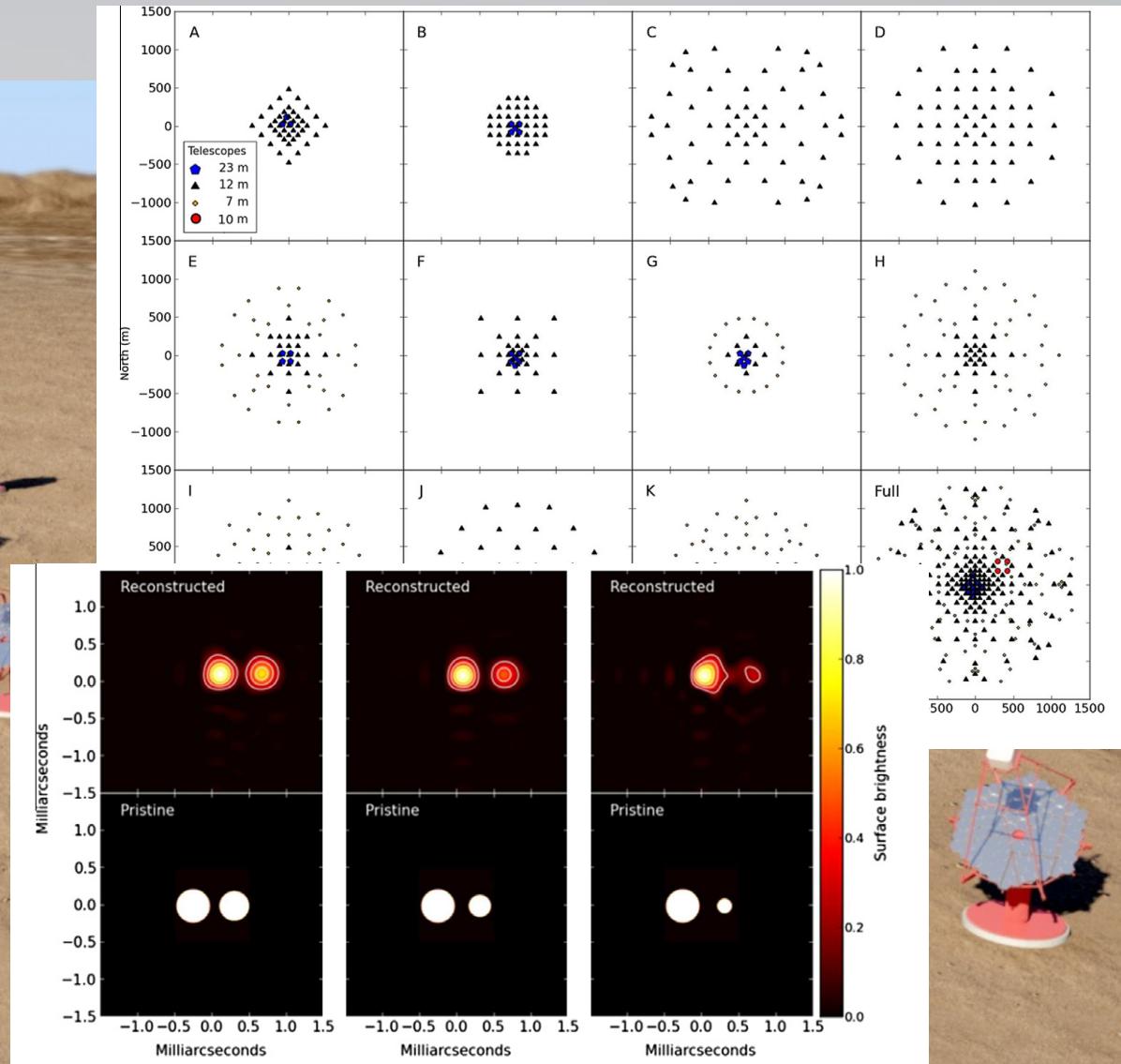
Interférométrie d'intensité avec CTA



Taille du réseau : 1 à 3 km

Sensibilité : $V \geq 6$

Imagerie avec une résolution de 0,1 mas



Perspectives

Interférométrie longue base :

- hémisphère sud :
 - instruments de 2^{ème} génération du VLTI : infrarouge proche et moyen
 - après les instruments de 2^{ème} génération du VLTI :
 - imageur 6T-8T ? Avec 2 AT supplémentaires ? Fixes, mobiles ?
 - instrument visible ?
 - polarimétrie résolue spatialement ?
- Hémisphère nord :
 - extension de CHARA par fibres : bases kilométriques (Monnier et al.) ?
 - Successeur imageur de VEGA, FRIEND
 - autres interféromètres : NPOI ? MROI ?

Techniques mono-télescope :

- étude des surfaces stellaires dans le visible (tavelures, masquage)
- étude des environnements proches et de l'atmosphère des super-géantes dans l'IR avec le VLT
- étude des surfaces stellaires dans l'infrarouge avec le l'E-ELT ?
- couplage avec la polarimétrie ?

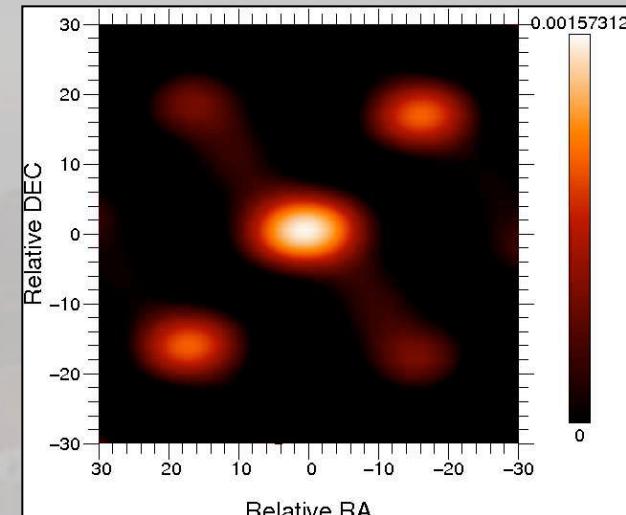
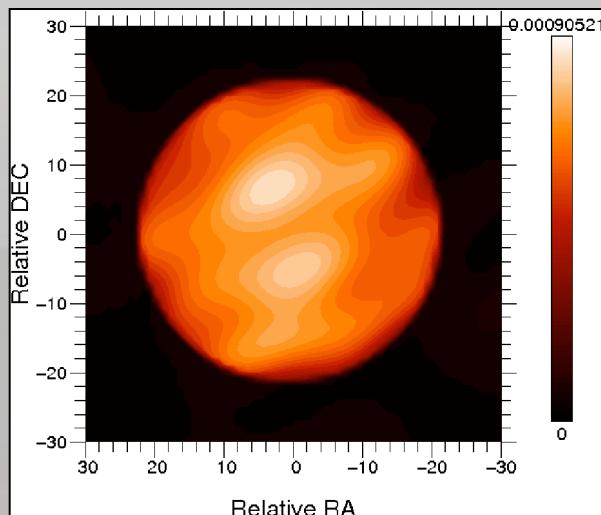
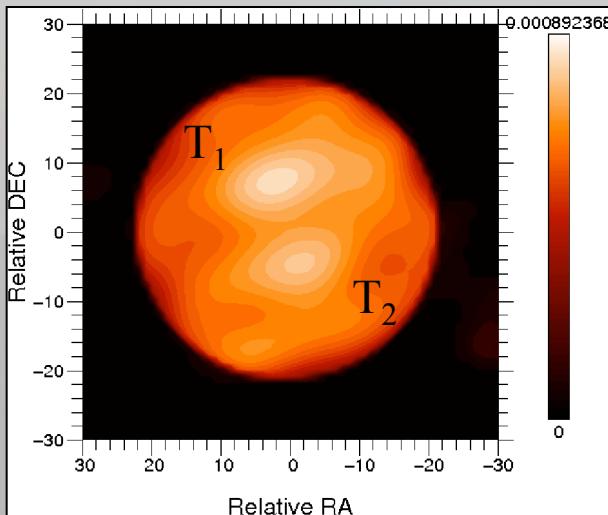
Perspectives possibles

Besoins :

- Paramètres stellaires des étoiles hôtes de systèmes exoplanétaires
 - Étoile type solaire
 - Étoiles naines rouges, de faible masse (SPIROU)
 - Diamètres typiques : ?
- Surface des étoiles évoluées :
 - Étude de la convection
 - Effets gravitationnels
- Environnements stellaires :
 - Champs magnétiques – étoiles actives (publis KP)
Faire un schéma avec des zones

Imaging the surface of Betelgeuse with IOTA in the H band (Haubois et al. A&A 508, 923, 2009)

October 2005 observations



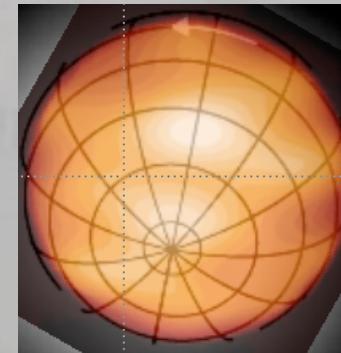
Assuming blackbody emission for spot T_1 :

$$T_* = 3600 \text{ K}$$

$$T_{\text{spot}} = 4125 \text{ K}$$

It is compatible in size (~ 10 mas) and temperature with a convective cell.

T_2 is unresolved and is close to the pole.

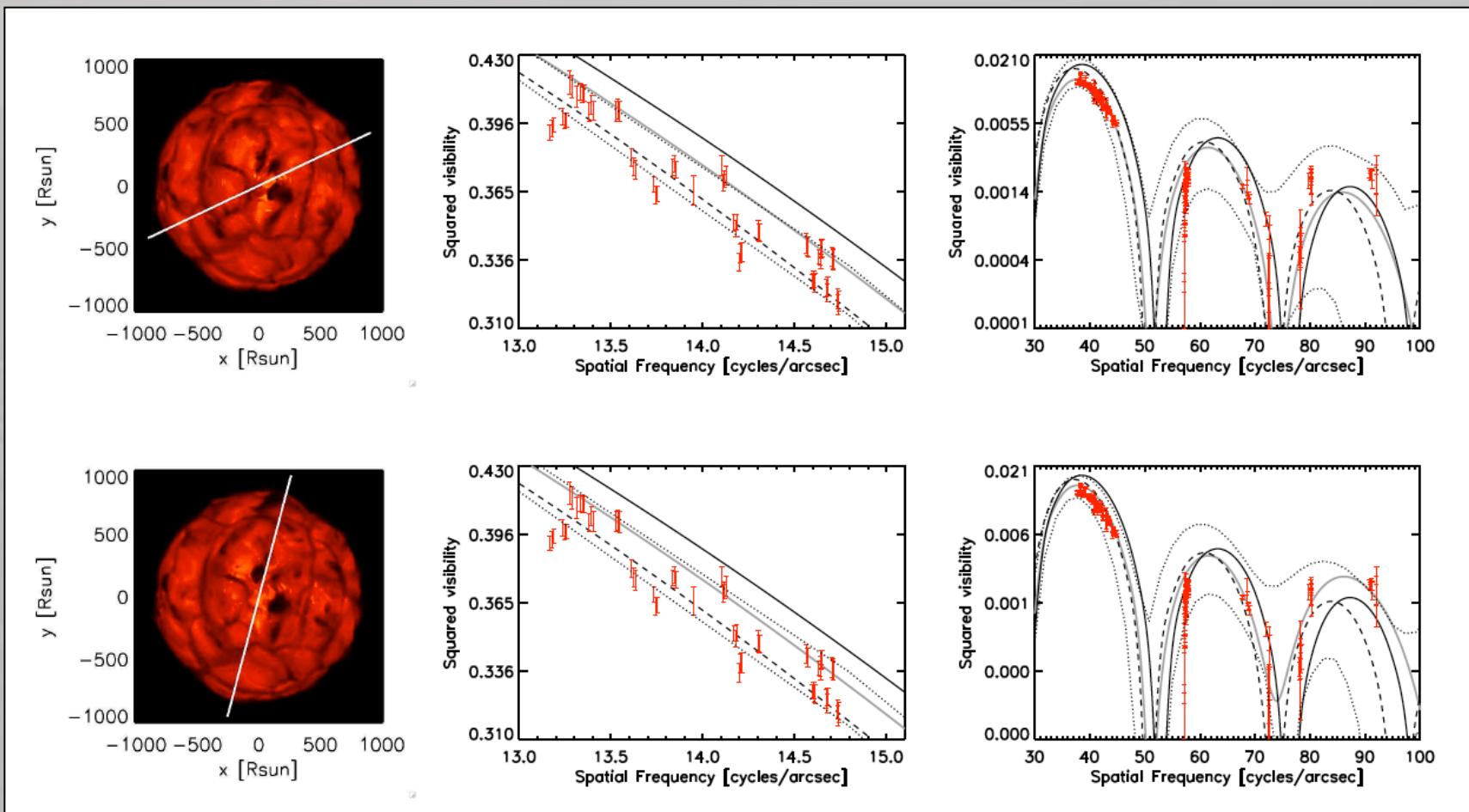


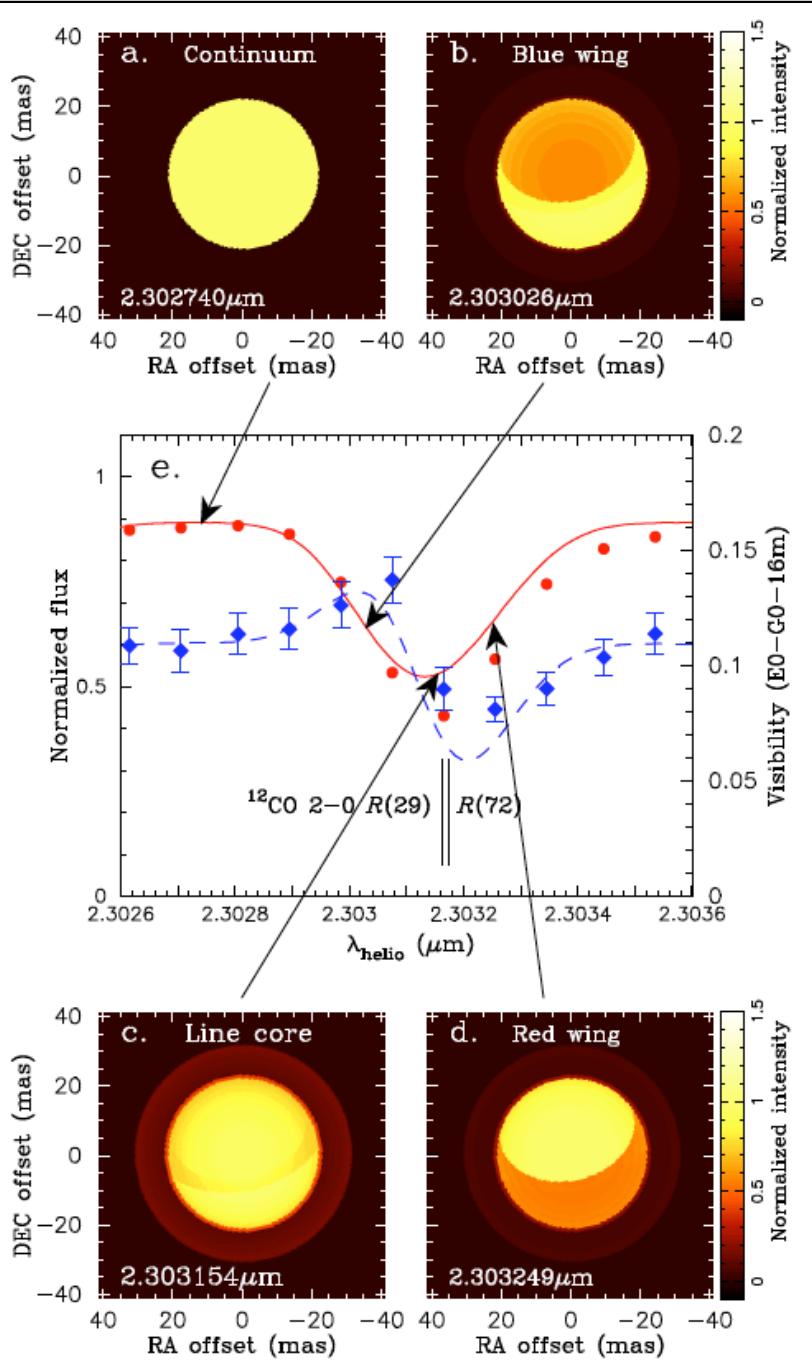
Location of the polar cap from HST imaging
Uitenbroek et al. (1998)

Comparison of the Betelgeuse H band data with convection models (Chiavassa et al., 2009)

Hydrodynamical simulations
of convection (CO⁵BOLD+OPTIM3D)

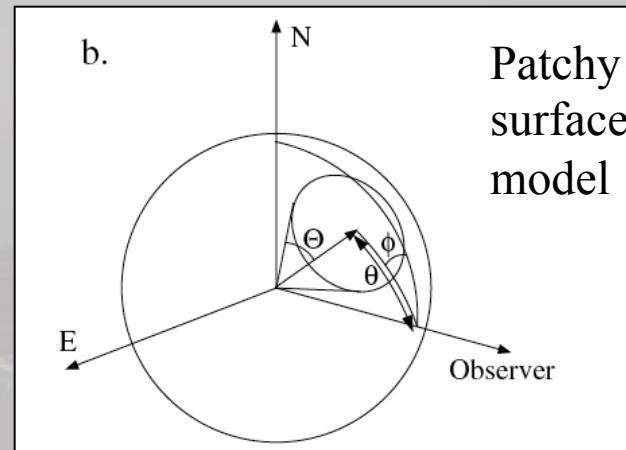
Comparison to V²





Convective motions at the surface of Betelgeuse

(Ohnaka et al. 2009)



Date of observation: January 2008

Large upwelling spot (\leq hemisphere, $\Theta=60^\circ$)
10-15 km/s velocity

Detected in the blue and red wings of CO lines
in K band with AMBER.