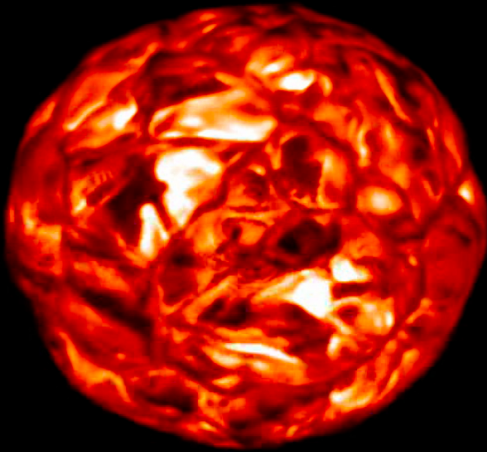


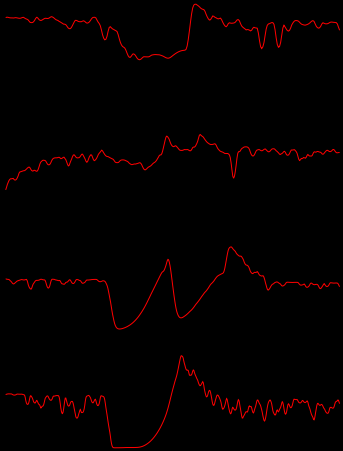
Bilan & Perspectives de la session

Environnements et atmosphères, vents, perte de masse

E.Lagadec, N. Nardetto, F. Royer

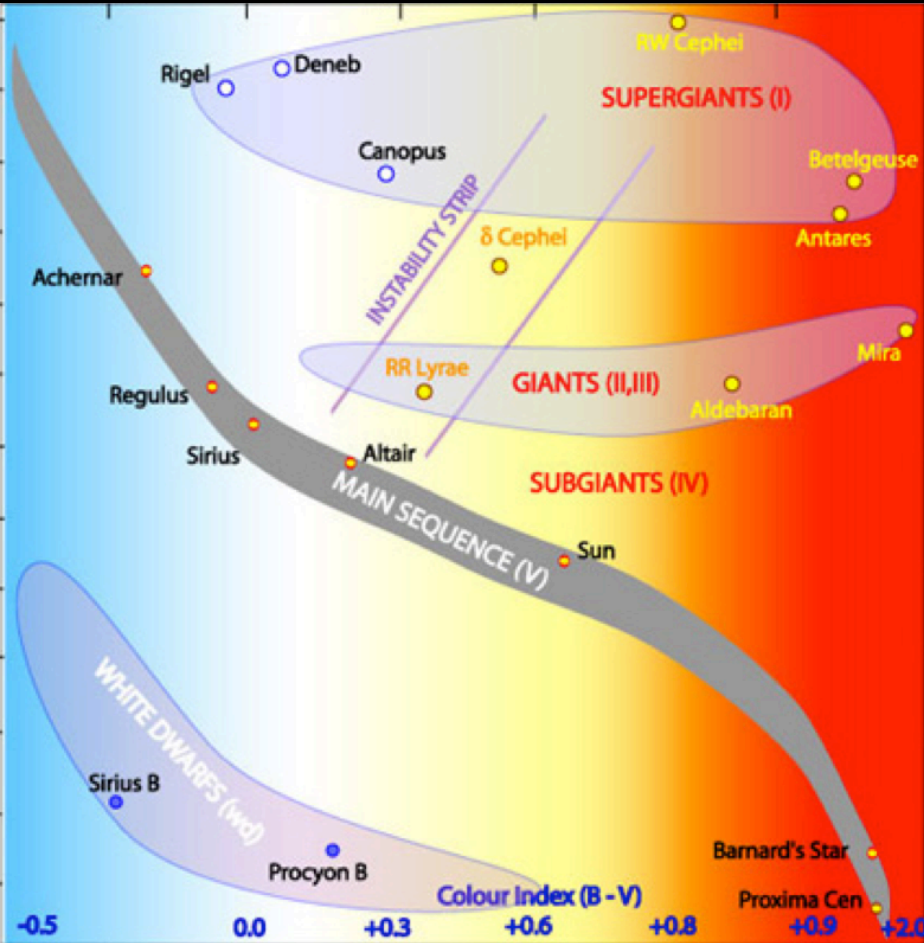


Liens/interactions entre l'étoile et son environnement proche



Avec aide/slides de J.C. Bouret, L. Bigot, E. Caffau, A. Chiavassa, O. Creevey, N. Nardetto, E. Josselin, P.Kervella, R. Ligi, B.Plez

Tous les types d'étoiles!

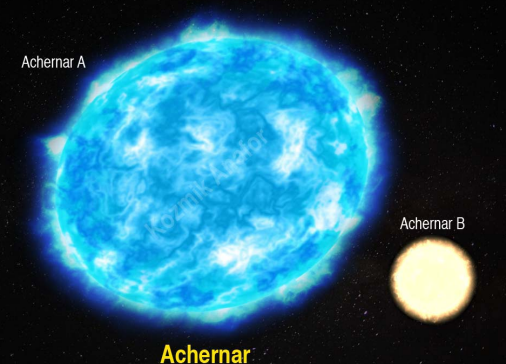
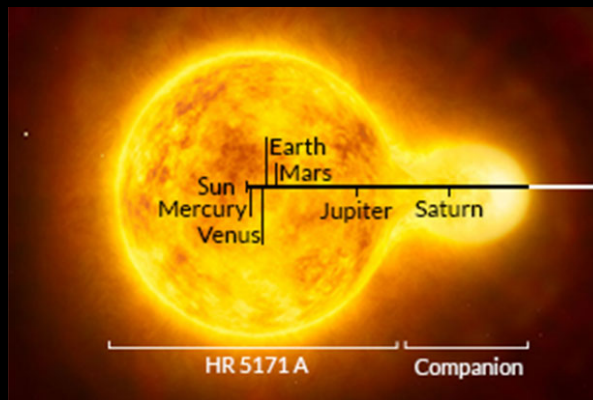
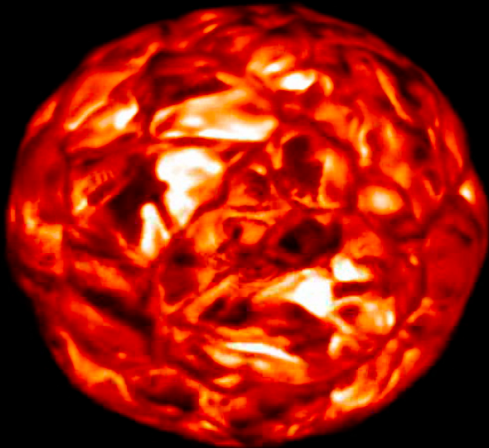


- Naines brunes
- Séquence principale
- Céphéides
- Be, B[e]
- AGB, pAGB, (PNe)
- Etoiles massives (cf. F. Martins)
- Metal-poor stars etc...

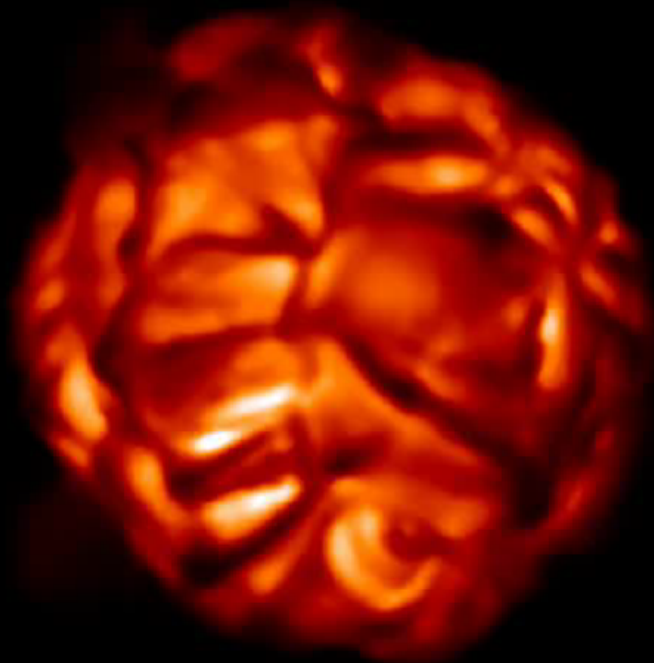
~30 projets financés
par le PNPS dont 4 conférences

Toute sorte de physique

- Convection, rotation, pulsation, champ magnétique
- Raies atomiques, moléculaires, poussière
- Impact de la métallicité, binarité, rotation
- Effets hors-ETL
- Perte de masse (chromosphérique, radiation dans les raies ou la poussière)



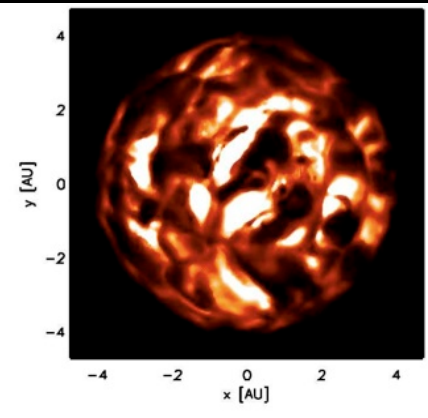
Atmosphères: modèles 3D



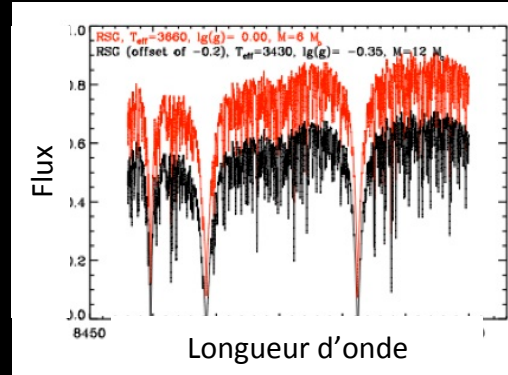
- Modèles 1D: physique non réaliste, problème mouvement du gaz dans atmosphère
- 3D: besoin de plus de modèles et traitement d'effets non-ETL

Applications des modèles 3D

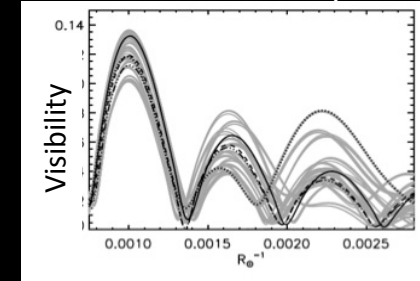
Images, dynamique



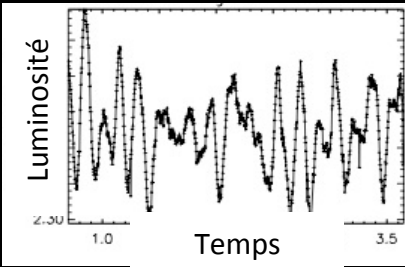
Abondances, et vitesses radiales:
cinématique des populations stellaires



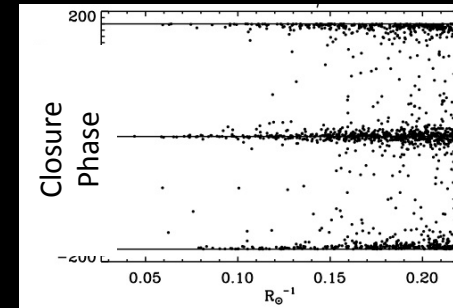
Visibilités interférométriques:
Rayons stellaires et
assombrissement centre/bord



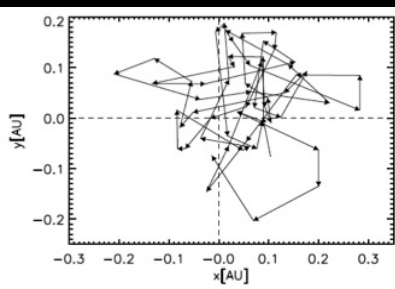
Pulsations



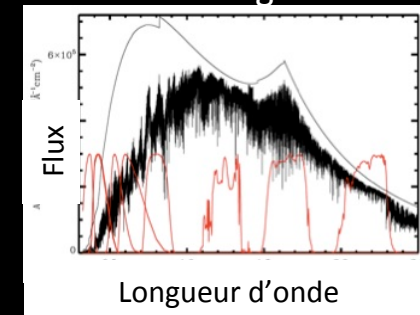
Etude d'exoplanètes et de
granulation stellaire



Déplacement du photocentre
correction parallaxes de Gaia



Flux absolu: calibration
couleur-magnitude



Nouveaux développements modèles 3D

Stellar Parameters ($T_{\text{eff}}/\log g/[Fe/H]$)
6250 K/4.0/-3.0

$A(C) = 7.39$

$A(N) = 6.78$

$A(O) = 6.06$

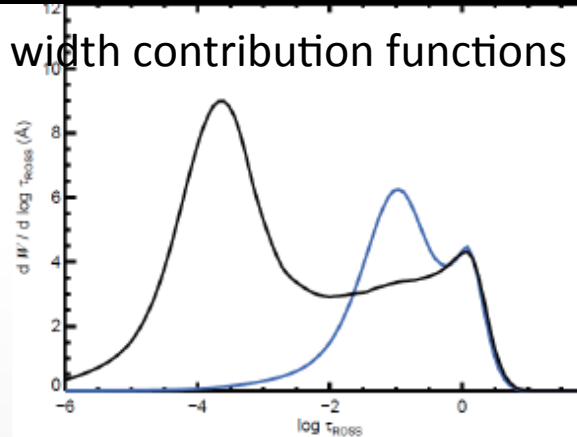
$C/O = 21.4$

Gallagher et al (2016 arXiv [1610:04427])

equivalent width contribution functions

1D

3D



- Analyse de bandes moléculaires
- Impact fort sur les abondances
- Rôle des collisions sur abondances Fe (Thèse R.Ezzeddine)
- RSG: détermination Z extragalactique
- Nouvelle méthode transfert radiatif hors-ETL (Thèse J. Lambert)

Gallagher+2016;2017



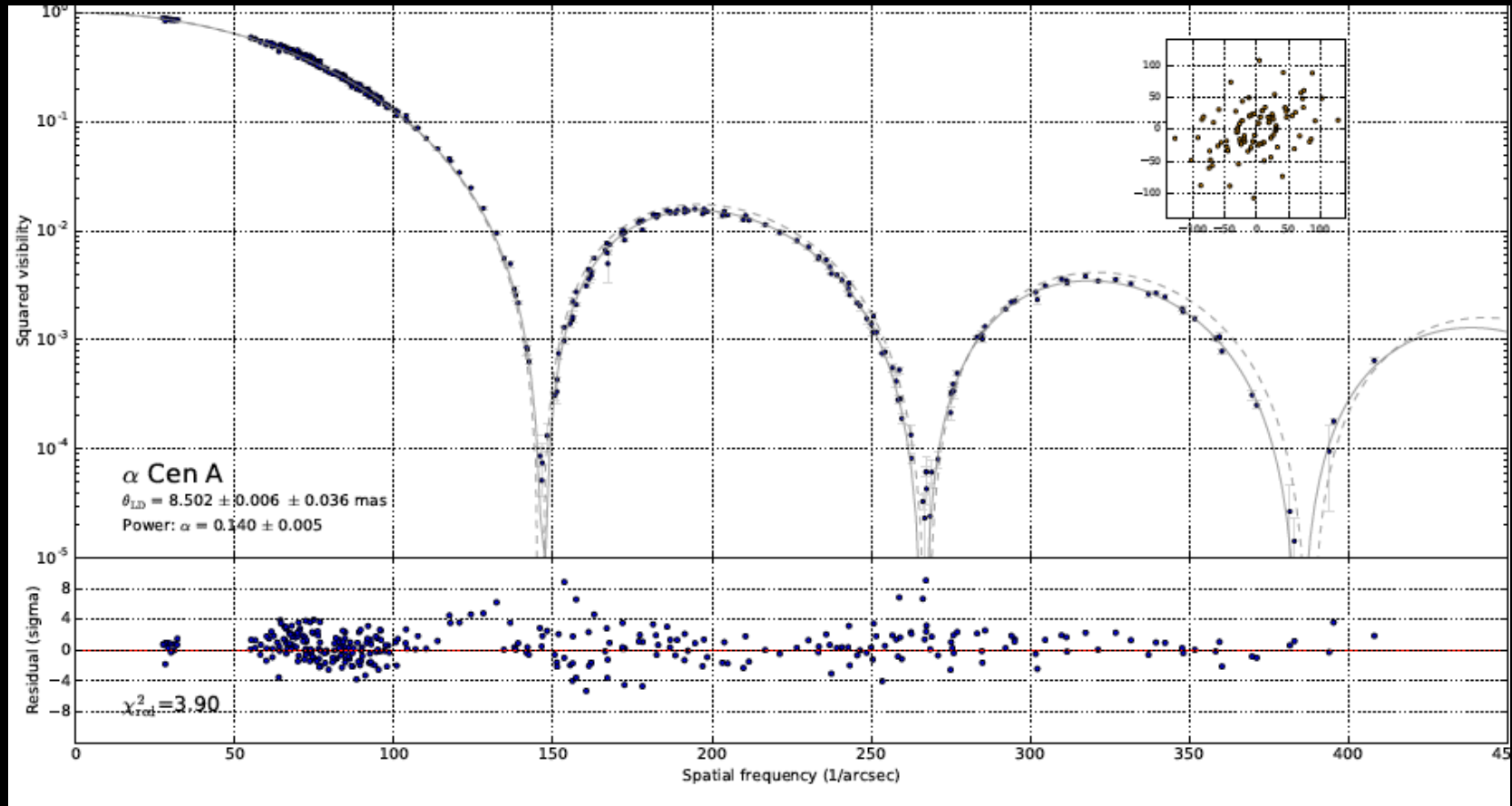
Modèles 3D hors-ETL de RSGs

B. Plez

E. Caffau

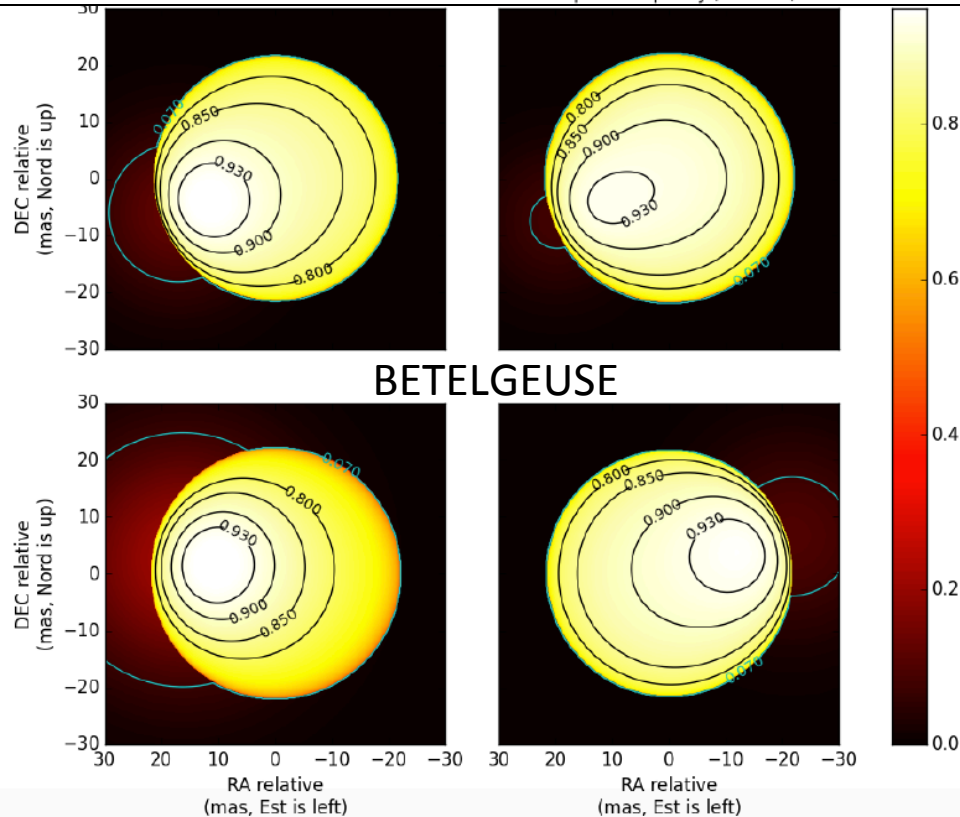
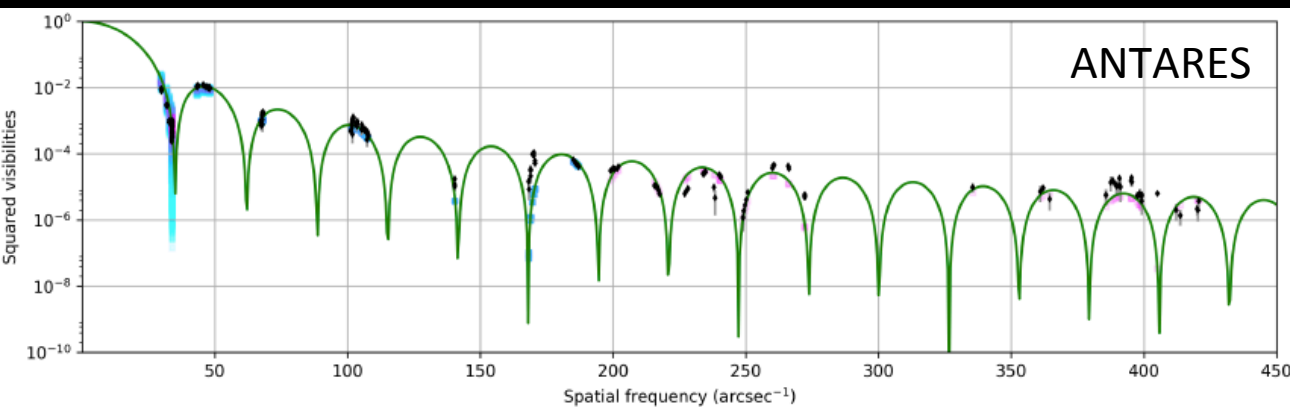
P. Bonifacio

Interférométrie: diamètres



Assombrissement centre-bord plus faible que prévu
par modèles 1D et 3D

Interferométrie: convection

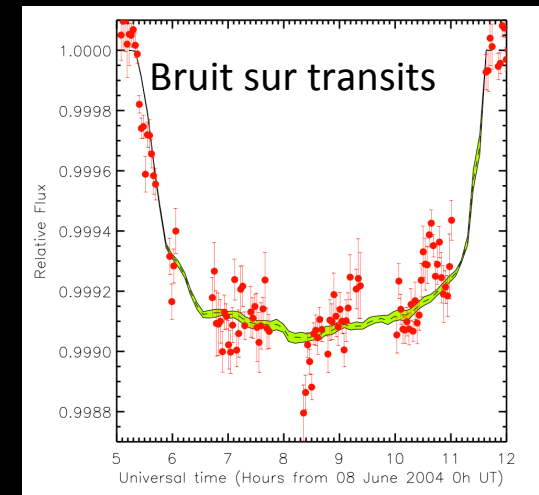
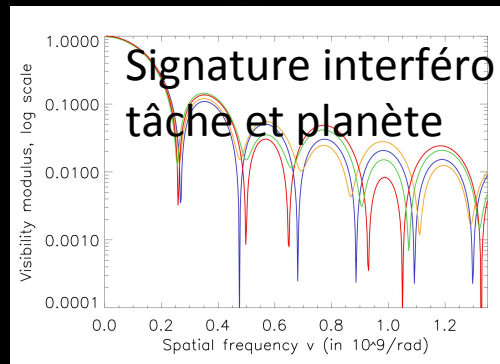
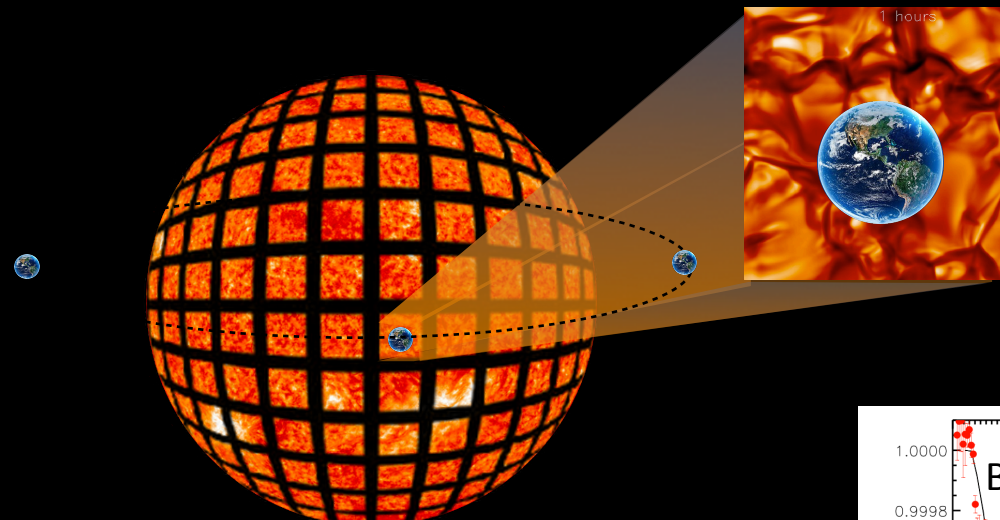
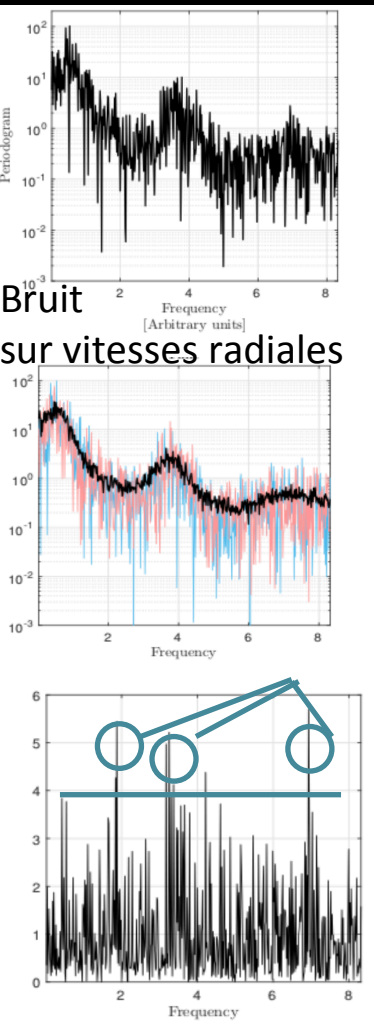


- Résolution 3 mas (6% de la surface de l'étoile)
- Taille cellules de convection entre 5% et 45% de la surface de l'étoile
- Impact sur mesure assombrissement centre bord et diamètre angulaire
- Variation dans le temps (2 ans d'observations)
- Comparaison avec mesures magnétiques (cf talk A. Lèbre), tomographie (cf talk A. Chiavassa)

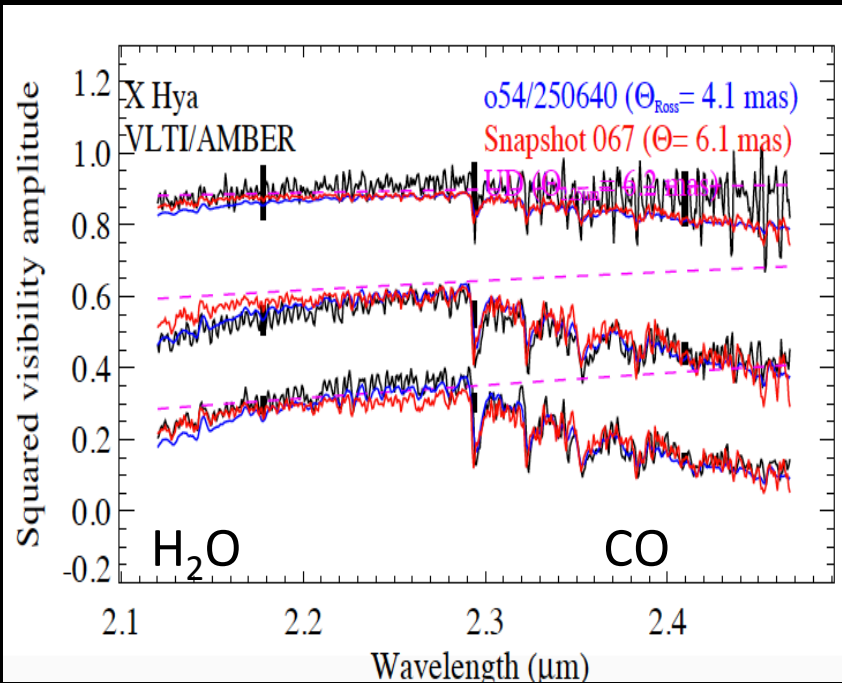
La convection: un bruit pour la détection d'exoplanètes

A. Chiavassa

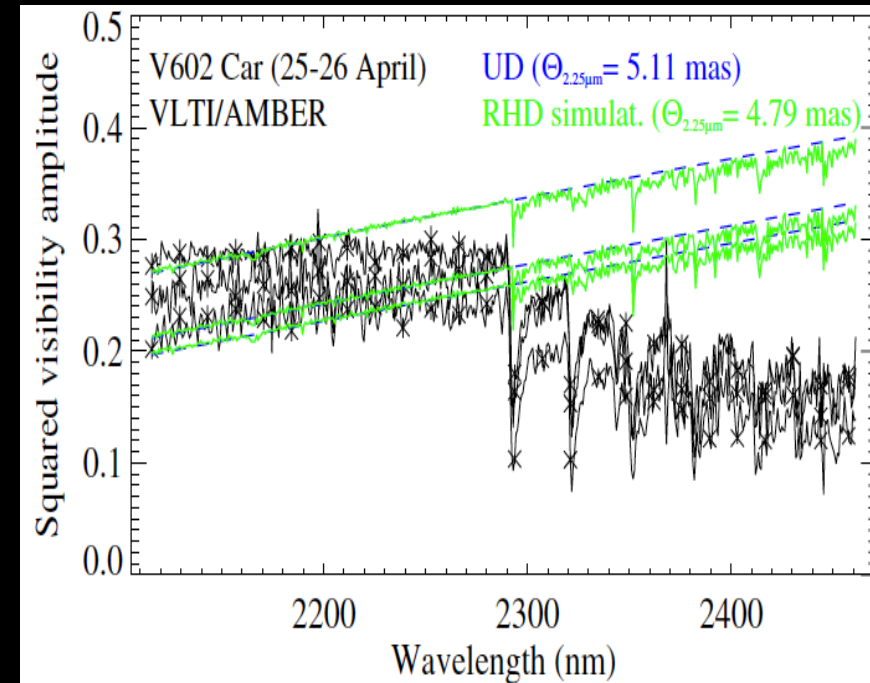
L. Bigot



Molsphere: AGB vs RSG



Witkowski+2016

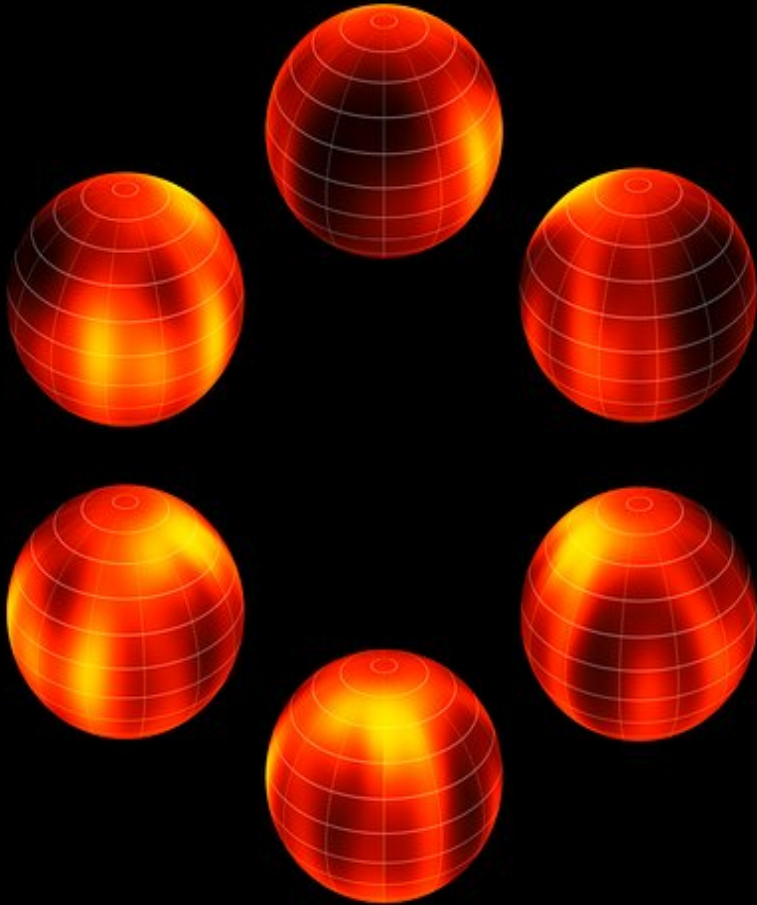


Arroyo-Torres+2016

- Atmosphère plus étendue dans les bandes de CO et de H₂O
- En accord avec les modèles 1D CODEX et 3D Co⁵bold

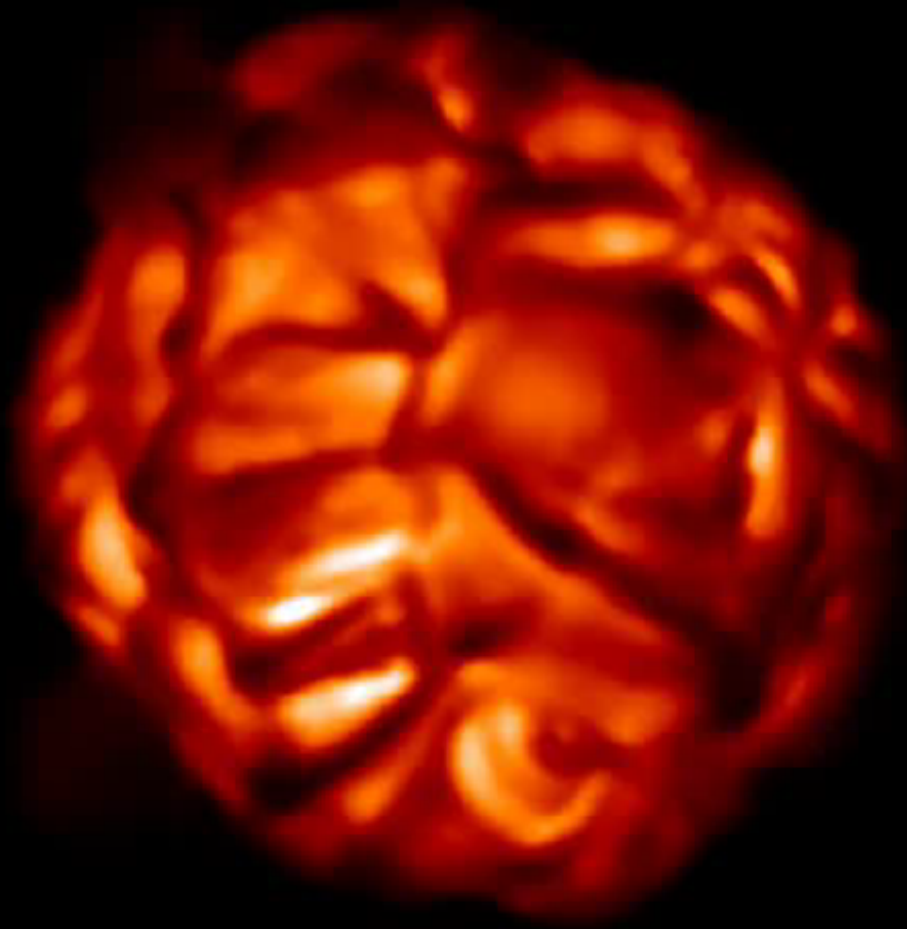
- Molsphere de la même taille que pour les AGB
- Modèles ne peuvent pas le reproduire, mécanisme en plus? Pression de radiation dans les raies? (Josselin & Plez, 2007)

Naines brunes: formation de nuages



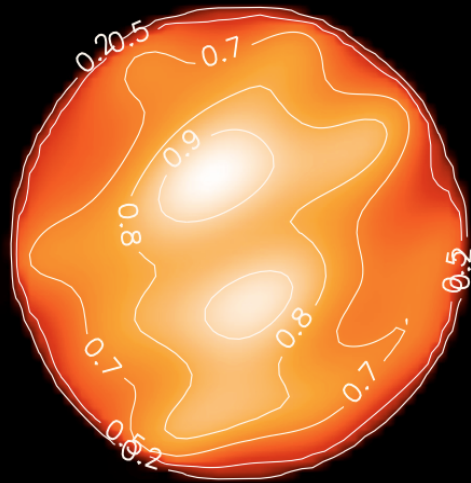
- Simulations 3D (rotation, nucléation, condensation)
- Mise à jour des opacités moléculaires
- Spectres synthétiques distribués à la communauté
- Applications aux planètes

st35gm04n26: Surface Intensity(1r), time(0.0)=30.263 yrs



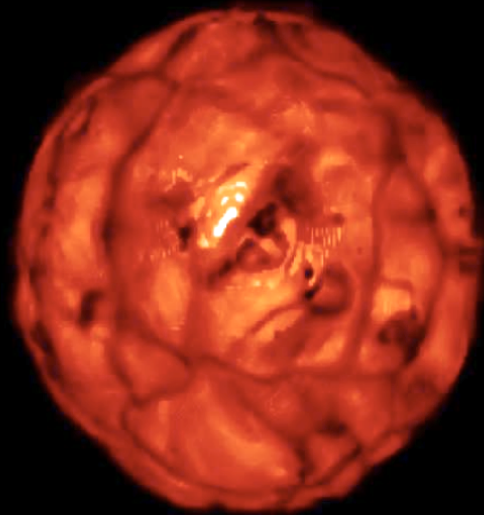
Simulation by B. Freytag

<http://www.astro.uu.se/~bf/>



Interférométrie

(1.64 μ m, Haubois et al. 2009)



Modèle

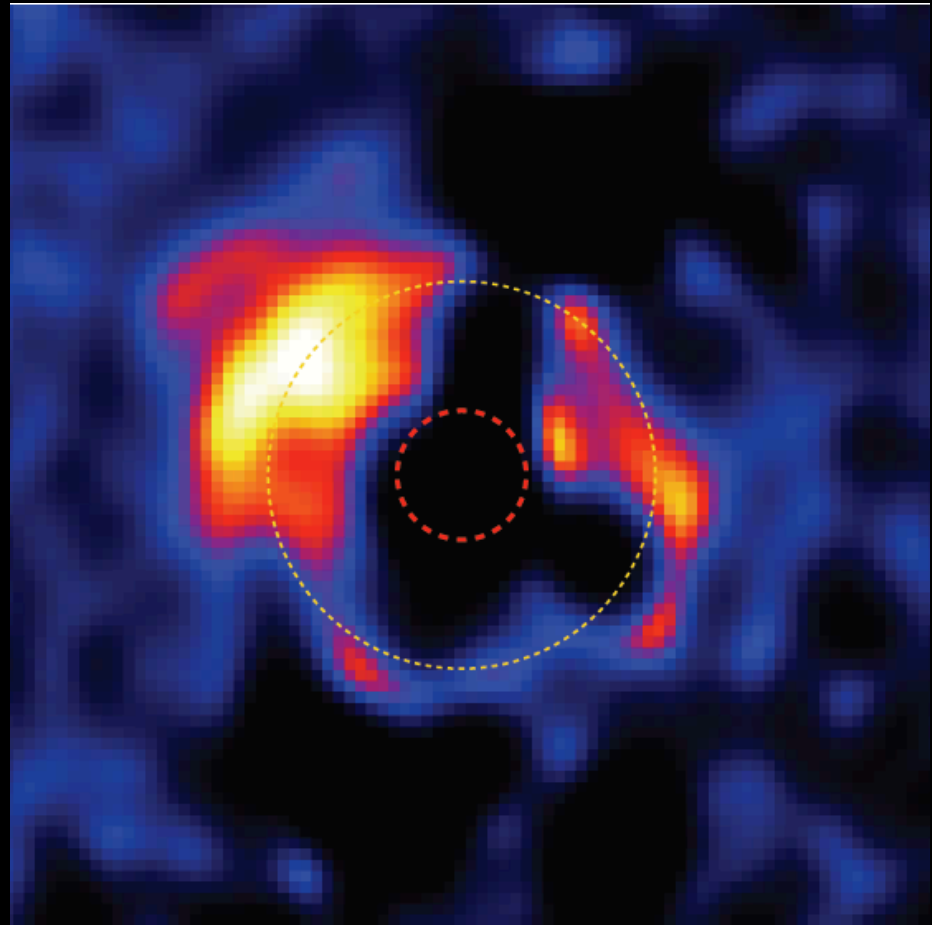
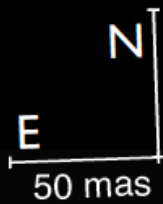
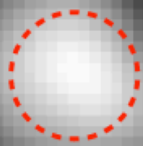
(1.64 μ m, Chiavassa et al. 2010)

50 mas

Haubois+(2016)

Bételgeuse: première image directe de la surface d'une étoile

V band (554 nm)

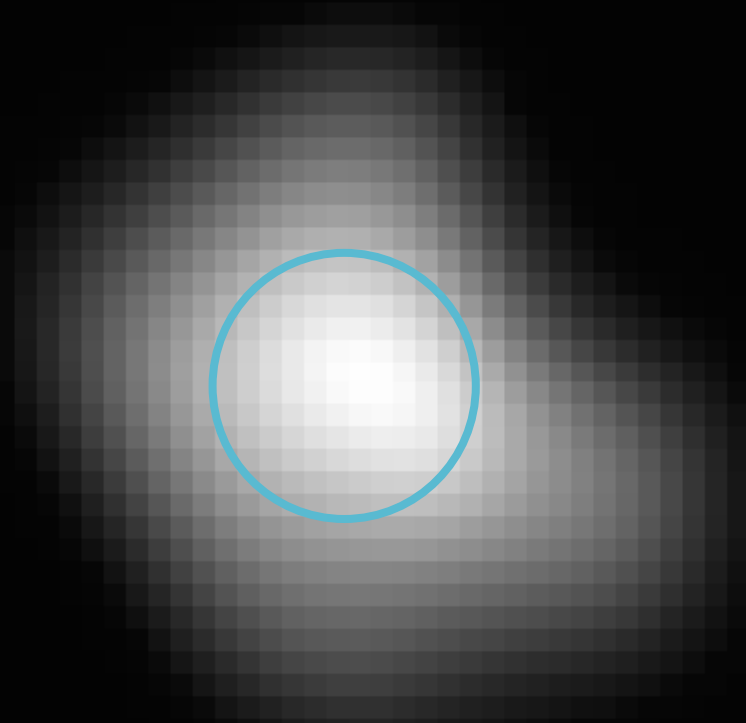


Photosphère

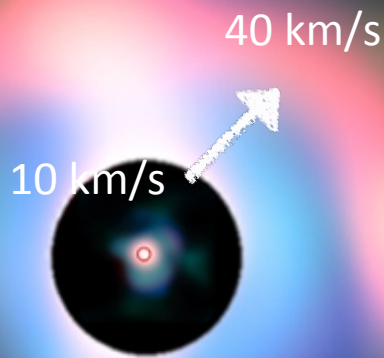
25 au/ 40 mas

Bételgeuse

SPHERE/VLT, optical, Kervella+2016



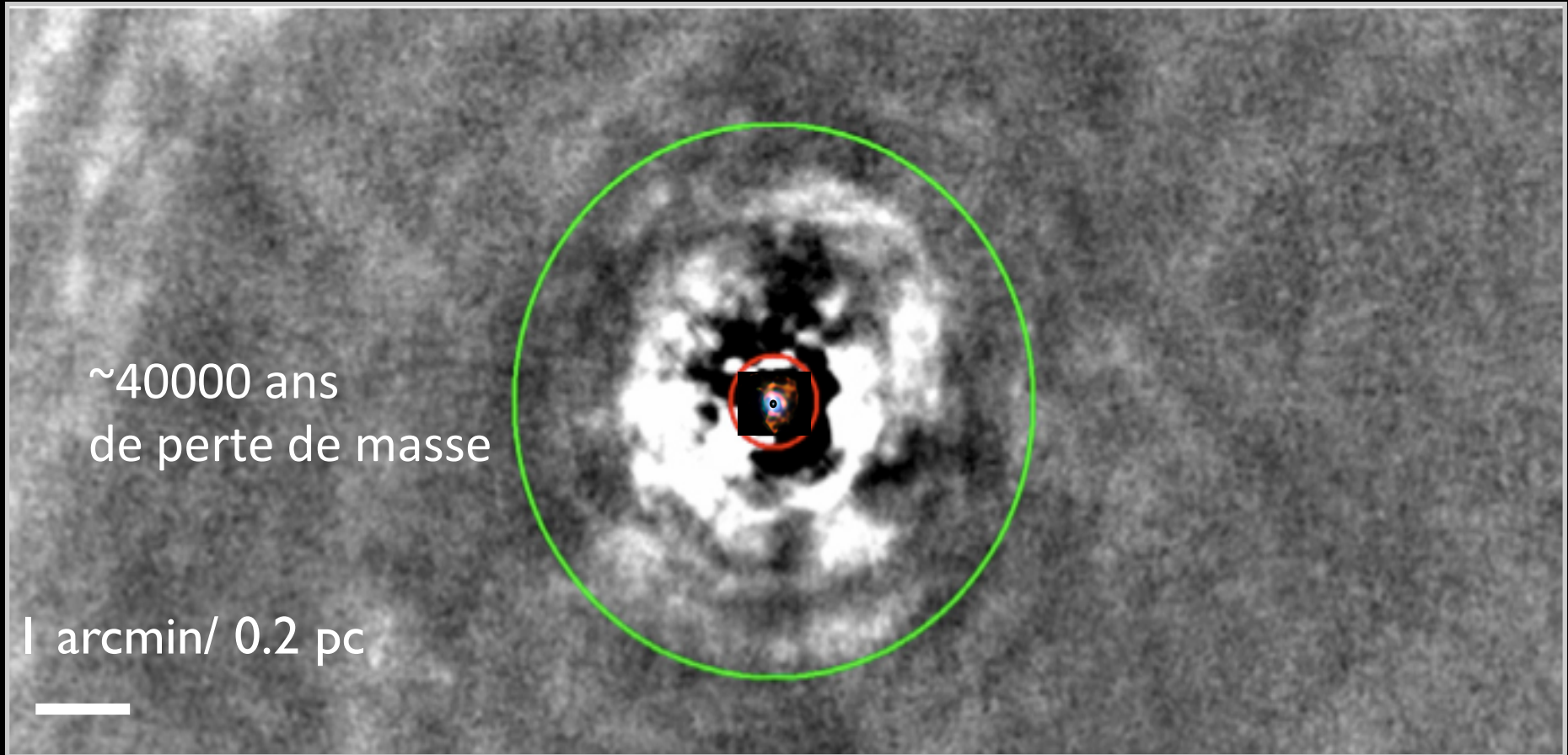
Enveloppe interne



3200 au/ 5"

Bételgeuse

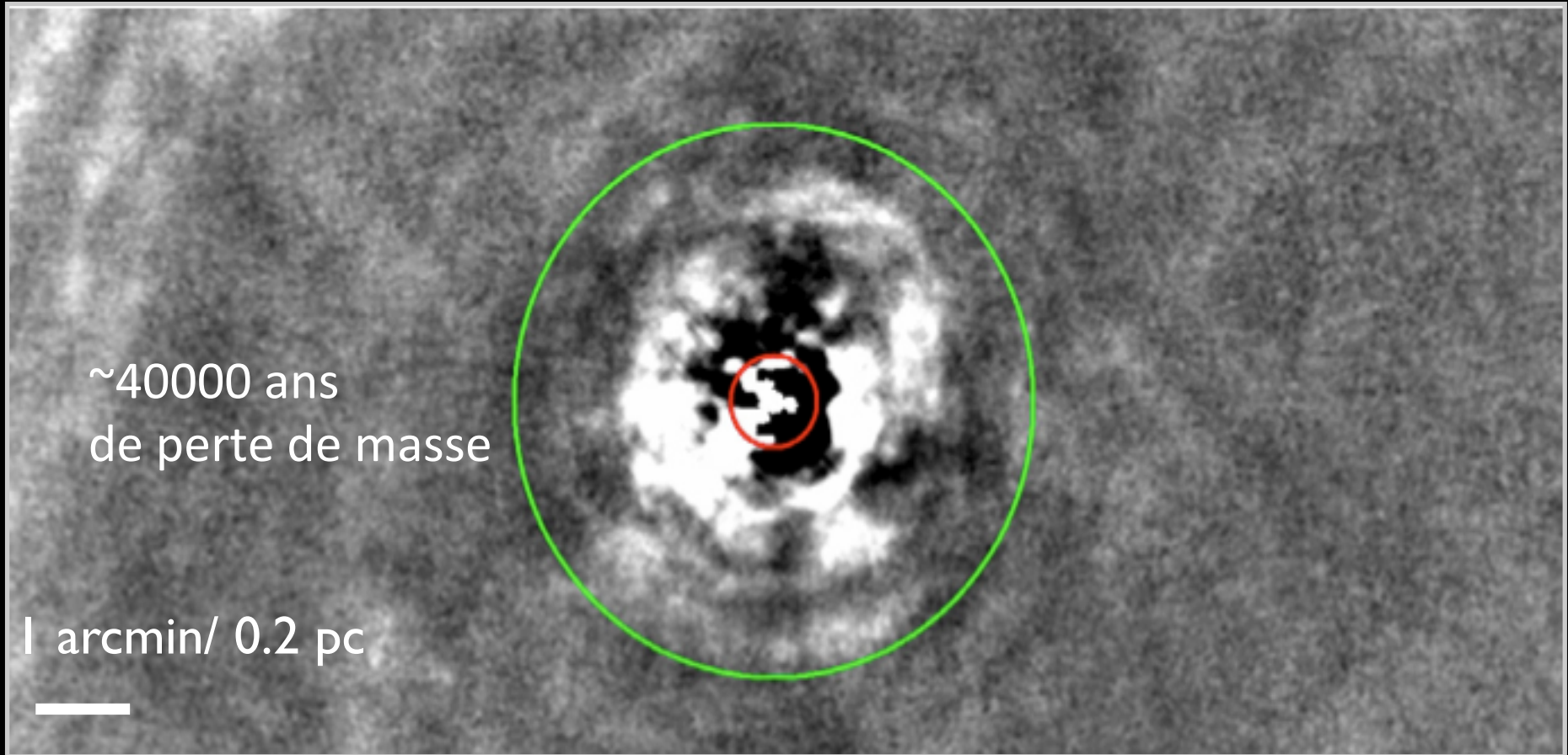
Enveloppe intermédiaire



Bételgeuse

Herschel 70-250 μm , Decin et al. 2012

Enveloppe intermédiaire



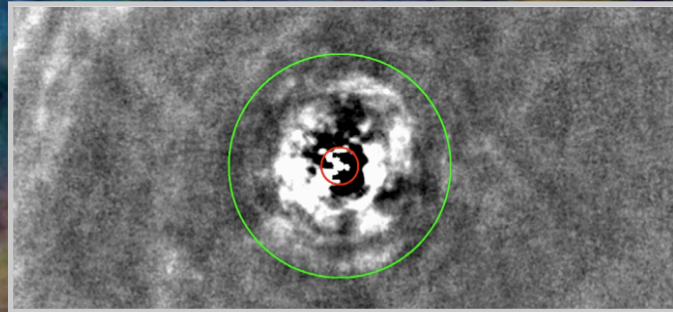
Bételgeuse

Herschel 70-250 μm , Decin et al. 2012

Enveloppe externe

~200,000 ans
de perte de masse

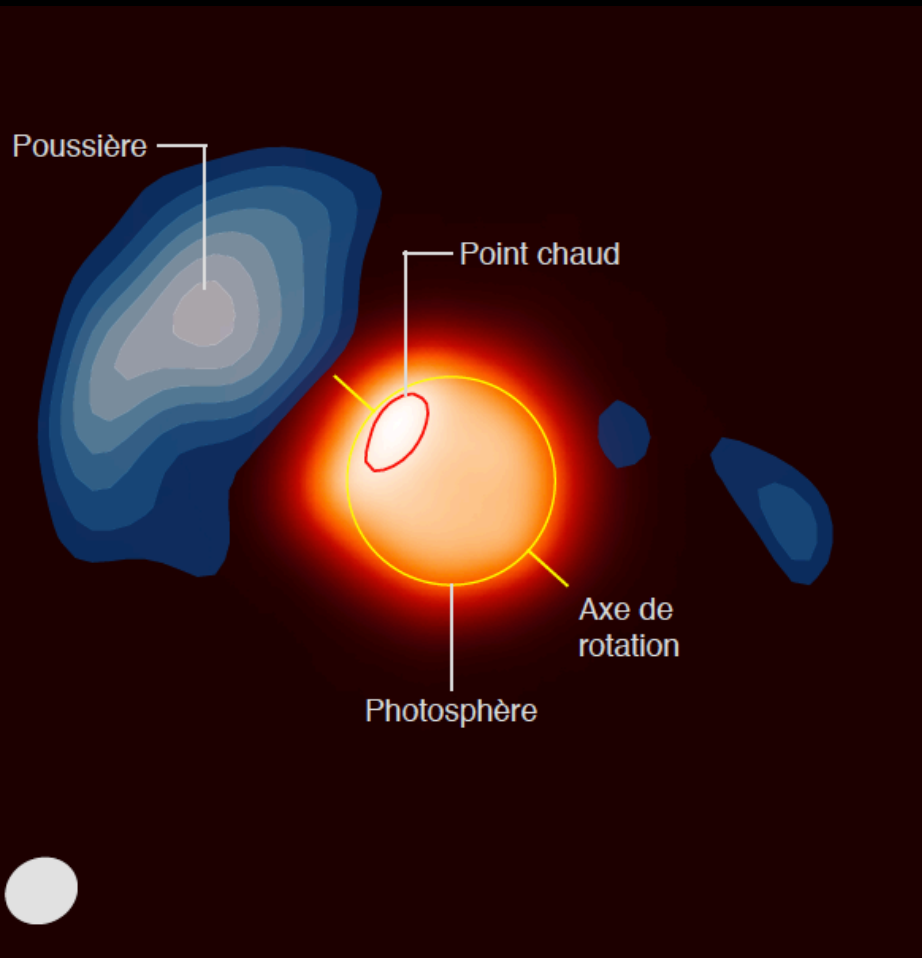
1pc
5 arcmin



Bételgeuse

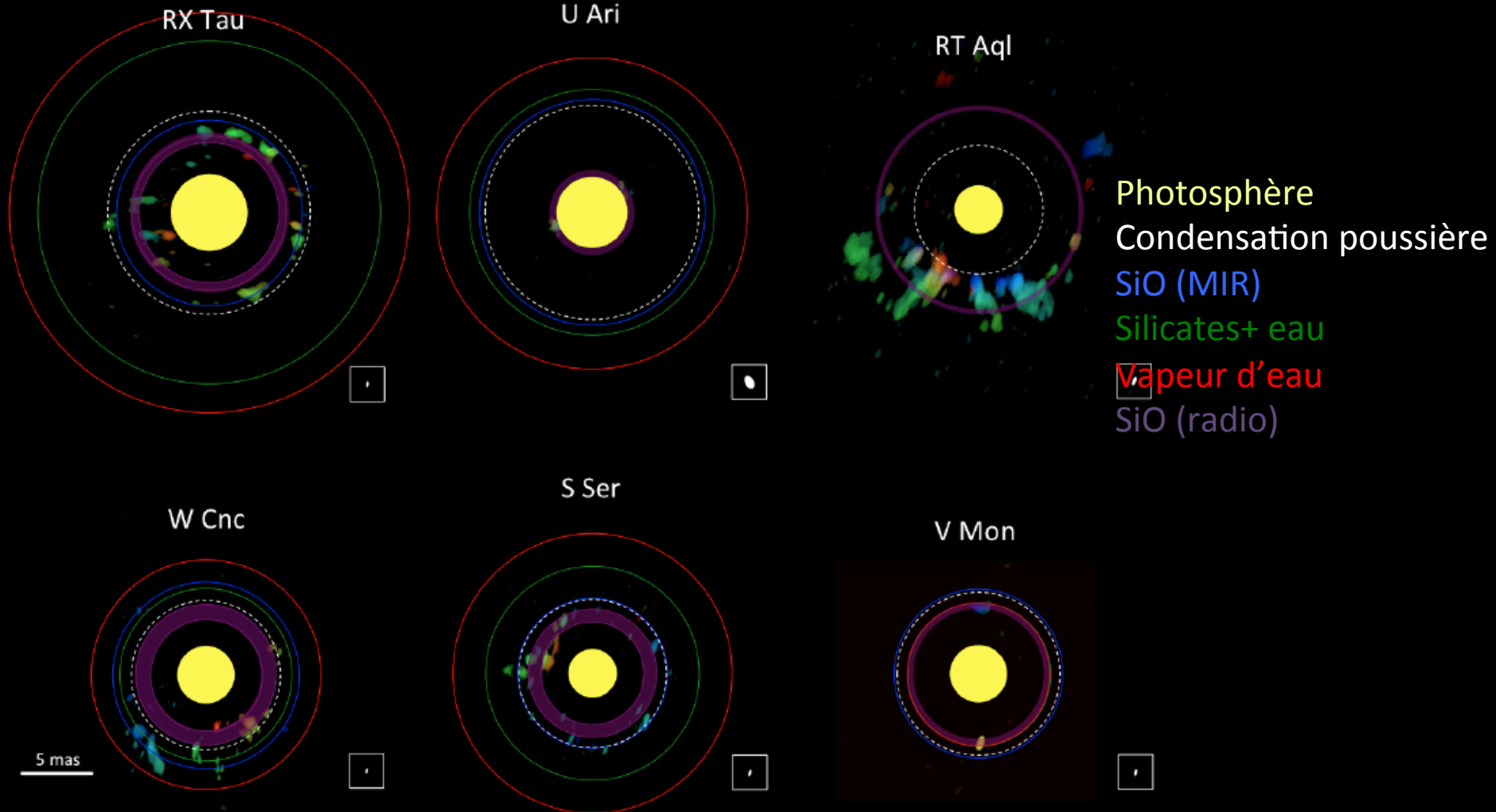
Herschel 70-250 μm , Decin et al. 2012

Et pourtant elle tourne!

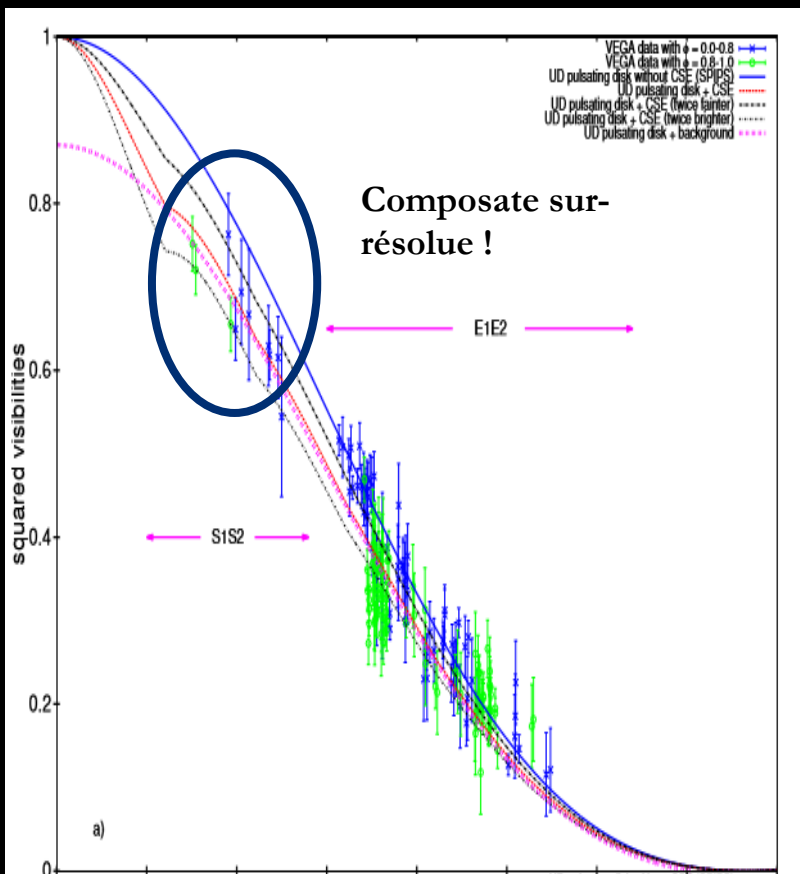


- ALMA: rotation de Bételgeuse en ~ 36 ans
- Point chaud
- Plume de gaz, éjection et formation de la poussière?
- Champ magnétique (cf talk A. Lèbre)

Observations multi-longueurs d'onde: photosphère, gaz, poussière

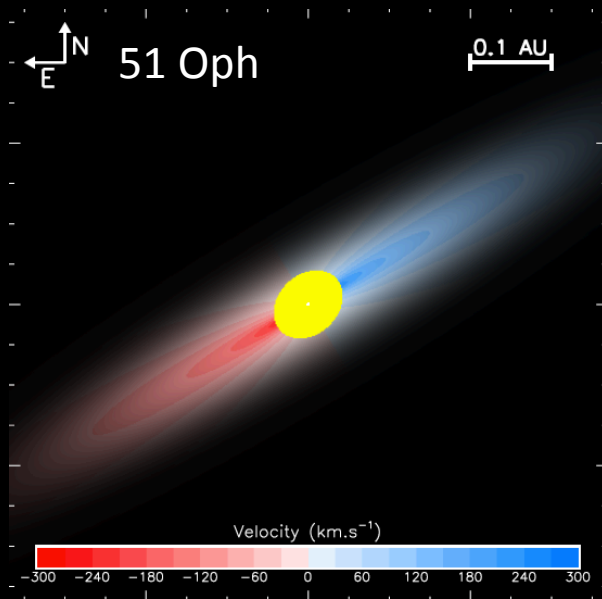


De l'atmosphère à l'environnement des Céphéïdes

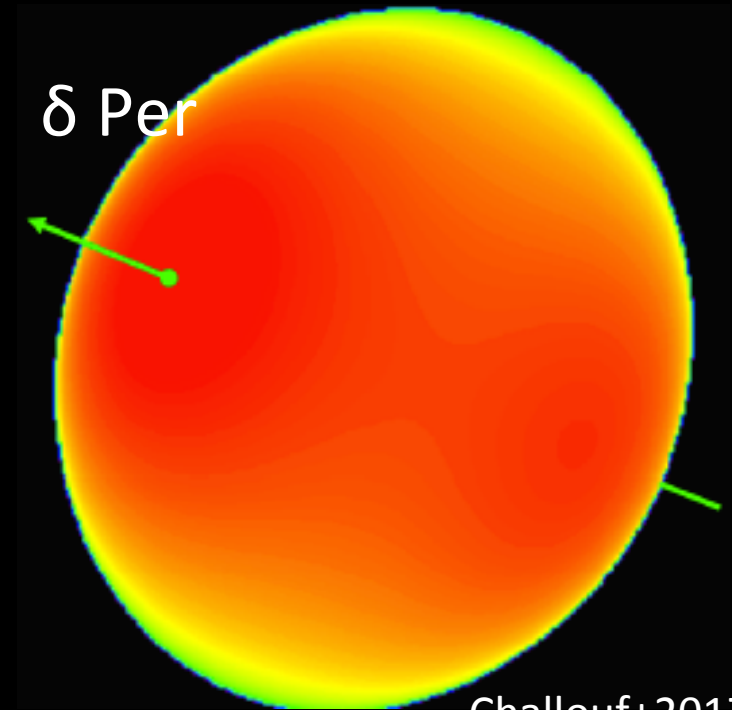


- Atmosphère: contraintes sur facteur de projection
- VEGA+ MIDI: détection d'enveloppes autour de céphéïdes
- Impact sur la relation PL?

Rotation et interférométrie



Jamialahmadi+2015



Challouf+2017

Déformation de la photosphère due a la rotation,
assombrissement gravitationnel

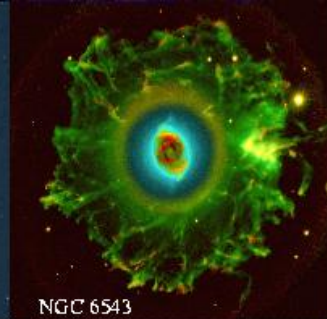
Impact de la binarité



Etoile AGB



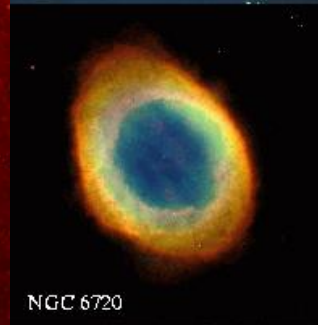
Abell 39



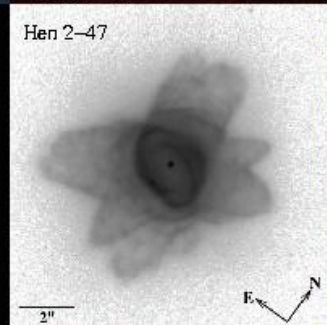
NGC 6543



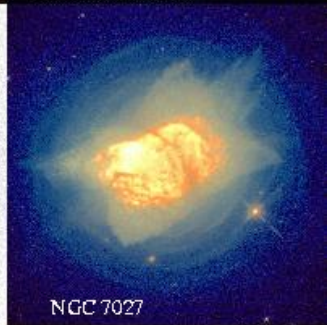
NGC 6543 (zoom)



NGC 6720



Hen 2-47



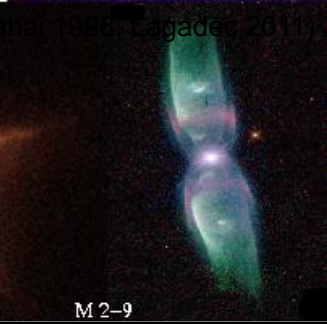
NGC 7027



OH 231.8+4.2



RECTANGLE ROUGE

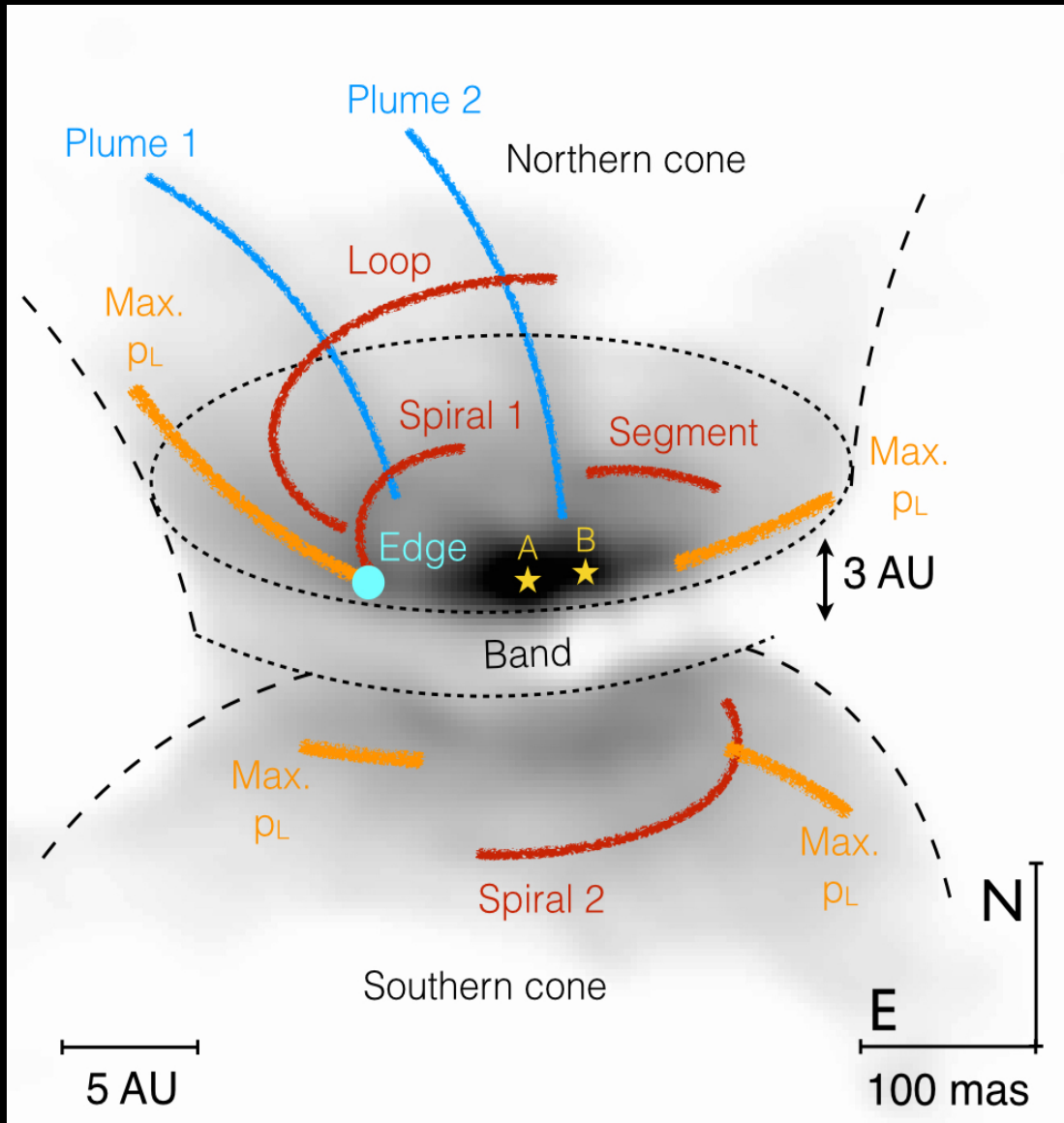


M 2-9

Nébuleuses planétaires

Almost no PPNe are spherical (Sahai 1993; Lagadec 2011)

L2 Puppis

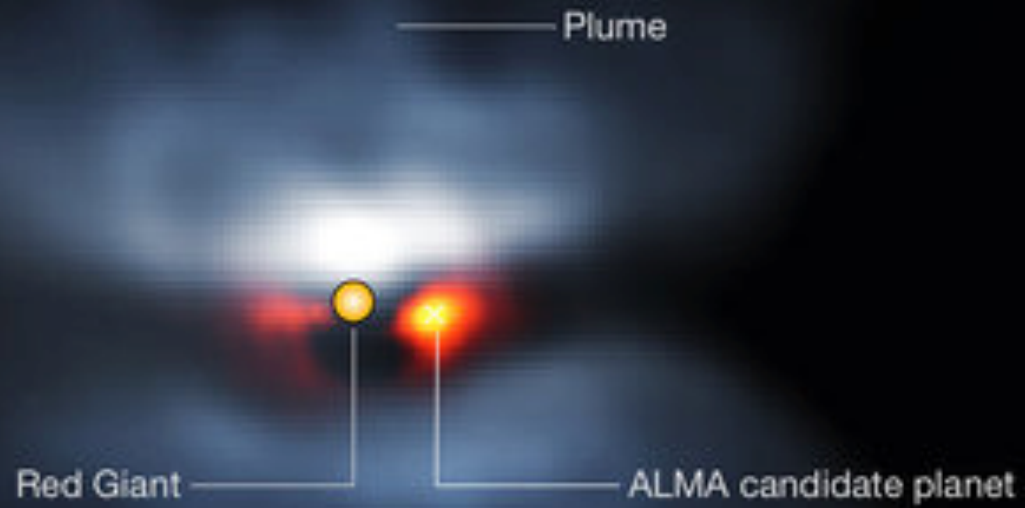


- Etoile AGB proche (64 pc)
- Disque vu par la tranche (ZIMPOL)
- Bord interne (6 AU) vu dans les cartes de polarisation
- Deuxième source à 2 AU
- Spirales + plumes

L2 Pup: une future PN bipolaire?



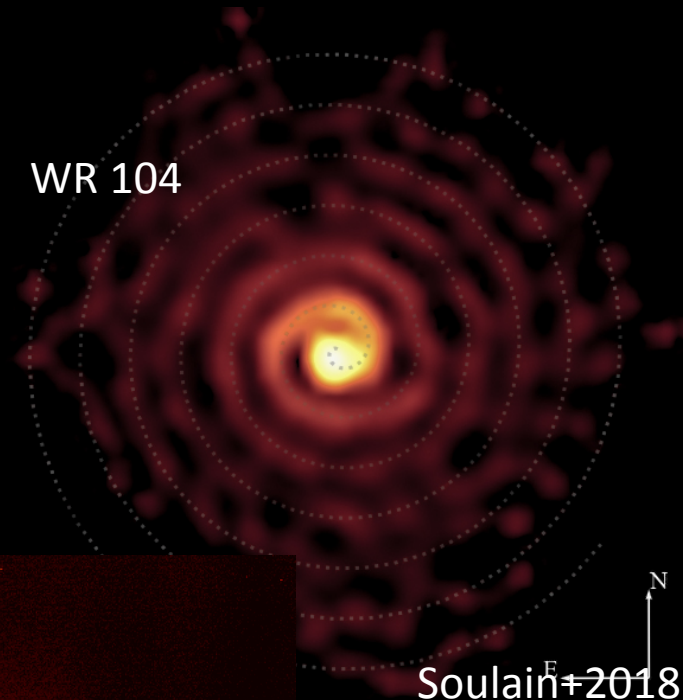
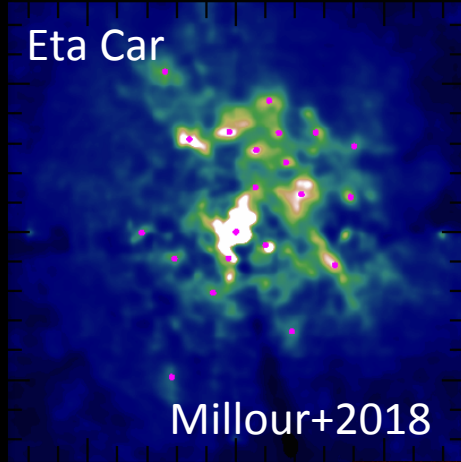
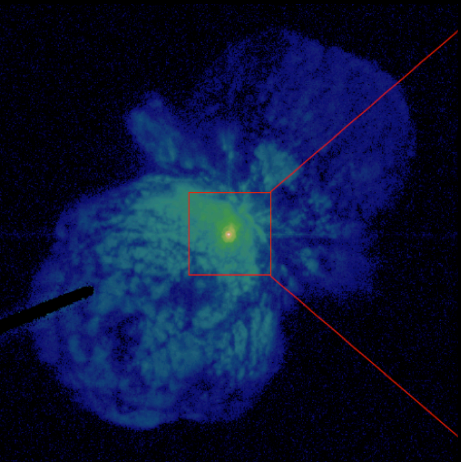
L2 Pup b: le futur de la terre?



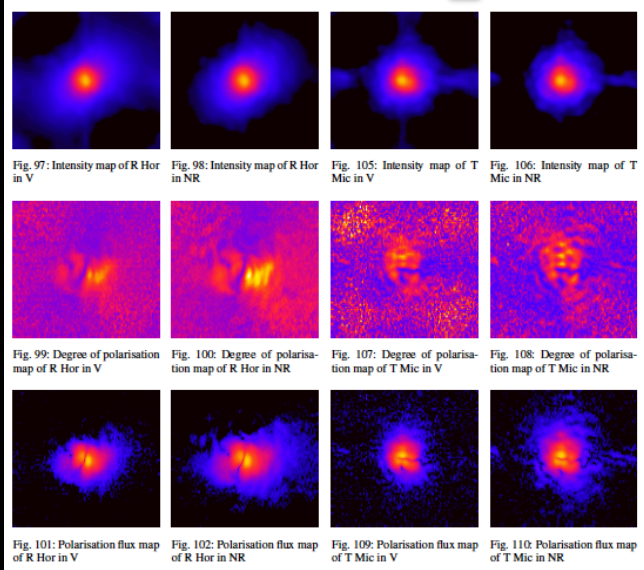
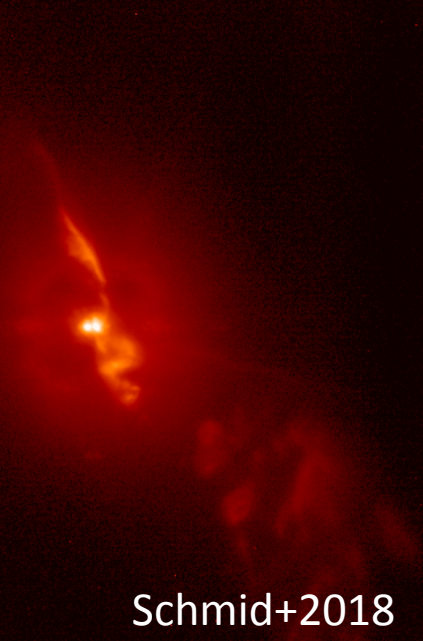
5 AU

0.1"

Autres binaires (SPHERE/VLT)



R Aqr



AGBs Lagadec+2018

Autres binaires (SPHERE/VLT)



AFGL 4106: étoile post-RSG binaire

SPHERE/IRDIS Lagadec+in prep

Perspectives

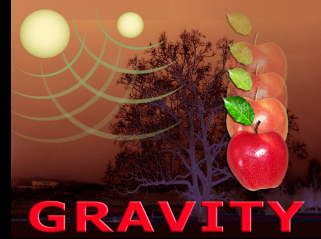
- Observations:

MATISSE (poussière, gas chaud, disques), Gravity (surfaces stellaires, molecules, convection), JWST (éjection et évolution de la poussière, effet de la métallicité), SPHERE+ (Objets rouges), ALMA/NOEMA (polarisation), GAIA (populations galactiques), SPICA/Chara (diamètres), grand relevés (PRISTINE, WEAVE, 4MOST etc...)

- Modèles:

Code hors-ELT 3D multi-espèces (Plez, SED RSGs), Densification grilles de modèles, modèles à chimie particulière (Caffau), code ESTER rotation, tomographie, interaction mesures en labo/observations

Prospective



- Optimiser le retour scientifique des nouveaux instruments avec une forte contribution française:
MATISSE/VLTI: poussière chaude dans les disques jeunes, formation de poussière autour d'étoiles évoluées, MOLSPHERE, convection, activité magnétique (cf talk A. Lèbre)
GRAVITY/VLTI: surfaces stellaires, molécules, convection, binaires?



Prospective

- Optimiser le retour scientifique des nouveaux instruments avec une forte contribution française:

SPHERE et SPHERE+ (IPAG, LESIA, LAM, Lagrange):

temps garanti pendant ~2 ans (binaires, vents),

upgrade: objets rouges? (poussière)

ALMA+NOEMA:

Combiner avec observations SPHERE (poussière, gaz+ dynamique), polarimétrie (champ magnétique)

Besoin: modèles de transfert radiatif et hydro

Autres programmes

- JWST: éjection et évolution de la poussière, effet de la métallicité, chimie des enveloppes, autres projets?
- Gaia: perte de masse de grands échantillons d'étoiles évoluées galactique (comparaison LMC/SMC et au delà)
- grand relevés (PRISTINE, WEAVE etc...)
- SPICA/Chara (diamètres étoiles → planètes)
- LSST (pulsation)

Amélioration des modèles

- Code hors-ELT 3D multi-espèces (Plez, SED RSGs)
- Densification grilles de modèles
- Rotation, effet de la binarité, perte de masse
- Modèles à chimie particulière (Caffau)
- Estimation bruit stellaire (transit, RV) pour PLATO, CHEOPS, TESS+ correction signal spectral dû à l'étoiles pour CRIRES+, GIARPS, SPIRou, HIRES/ELT
- Effet de la métallicité: étoiles évoluées extragalactiques, CRIRES+, ESPRESSO, ELT

Contraintes observationnelles aux modèles

- Garder liens forts interférométrie/ modèles 3D
- Tomographie (convection)
- Spectro-polarimétrie (surface, convection, cf talk A. Lèbre)
- Spectroscopie MOS (abondances)
- Modèles hydrodynamiques-transfert poussière

Structuration de la communauté française

- Intéraction mesures en labo/observations
- Action “perte de masse” : expertise en observations, modèles, étoiles faibles masses et massives, feedback pour formation stellaire
- Interface PNPS/PNCG pour étude d'étoiles évoluées extragalactique, impact sur enrichissement chimique
- Interface PNPS/PNP pour la caractérisation des étoiles hôtes d'exoplanètes

Discussion

- Observations:

MATISSE (poussière, gaz chaud, disques), Gravity (surfaces stellaires, molécules, convection), JWST (éjection et évolution de la poussière, effet de la métallicité), SPHERE+ (Objets rouges), ALMA/NOEMA (polarisation), GAIA (populations galactiques), SPICA/Chara (diamètres), grand relevés (PRISTINE, WEAVE etc...), LSST (pulsation)

- Modèles:

Code hors-ELT 3D multi-espèces (Plez, SED RSGs), Densification grilles de modèles, modèles à chimie particulière (Caffau), interaction mesures en labo/observations