

# Atmosphères et vents des étoiles froides évoluées

## Revue partielle (et partiale)

Eric Josselin, Université Montpellier II

Besançon - 26 février 2014



## Atmosphères stellaires

- prise en compte des effets 3D  
(importance suspectée depuis e.g. Schwarzschild 1975 !):  
simulations RHD et **post-processing** :  $v_{rad}$ , parallaxes (Chiavassa et al.)
- étude des effets hors ETL :
  - nouvelles données de physique atomique et moléculaire (e.g. Feautrier et al.)
  - révision des paramètres fondamentaux (e.g. Bigot et al., Merle et al.)préparation à Gaia, confrontation à l'astérosismologie
  - nouvelles méthodes de traitement du transfert radiatifMéthode non linéaire - code parallèle (Lambert et al.)



Programme National de Physique Stellaire

## Perte de masse

- Découverte des champs magnétiques (cf. talk M. Aurière)  
Lien avec convection, activité chromosphérique, perte de masse
- Microphysique : chimie circumstellaire, formation / destruction des grains (Biennier, Georges et al.)  
Paramètre-clé pour modéliser les vents hybrides !
- Perte de masse : modélisation et prescription  
Rôle-clé pour l'évolution stellaire  
(perte de moment cinétique, évolution chimique des galaxies) ...  
... mais peu de progrès récents (dans les codes d'évolution)
  - Perte de masse à (très) faible métallicité (Lagadec et al. 2012)
  - supergéantes rouges (Mauron & Josselin 2011)



Programme National de Physique Stellaire

## Enveloppes circumstellaires - populations

- des contraintes observationnelles à très haute résolution angulaire et/ou spectrale (cf. aussi talk G. Perrin)  
Spectroscopie visible & IR, zone de formation des vents stellaires, macro- et micro-structures des enveloppes circumstellaires, binarité (e.g. Chesneau et al.)
- Bases de données (obs. et théorie), exploitation :
  - POLLUX
  - Apache Point Observatory Galactic Evolution Experiment (APOGEE) : contrib. Besançon, Nice⇒ populations stellaires, évolution chimique des galaxies (cf. aussi talk A. Lançon)



Programme National de Physique Stellaire

## Taux de collisions

N.B. :

- Modélisation NLTE: compétition entre les processus radiatifs et collisionnels
- collisions avec H dominantes pour les atmosphères d'étoiles froides

N. Feautrier, A. Spielfiedel et al. : approche quantique ...

... difficulté croissante pour états atomiques très excités et atomes complexes

Résultats actuels :  $\text{Li}+\text{H}$ ,  $\text{Na}+\text{H}$ ,  $\text{Mg}+\text{H}$

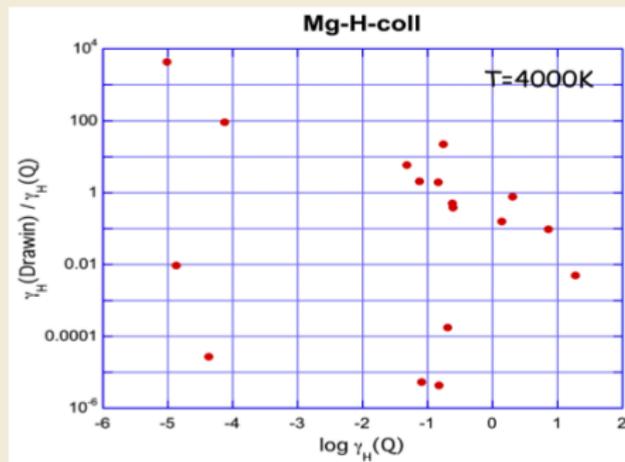
En cours :  $\text{Ca}+\text{H}$ ,  $\text{O}+\text{H}$ ,  $\text{CaII}+\text{H}$ ; projet:  $\text{Fe}+\text{H}$  ???



Programme National de Physique Stellaire

## Taux de collisions

Illustration : cas de Mg+H



Formule semi-classique de Drawin sous-estime ou surestime les taux de collision par plusieurs ordres de grandeur !



## Modèles d'atmosphère d'étoiles géantes

Volet des actions structurantes pluri-annuelles :

- "Anomalies d'abondances chimiques, rotation, magnétisme et ondes internes dans les étoiles évoluées" (2008-2011) - PI P. de Laverny
- "Comprendre les étoiles géantes rouges - impact sur l'évolution des galaxies" (2012-2013) PI A. Palacios

### Synthèse spectrale

- projet AMBRE (de Laverny et al. 2012)
- comparaisons d'outils de synthèse spectrale pour les géantes froides (Lebzelter et al. 2012)

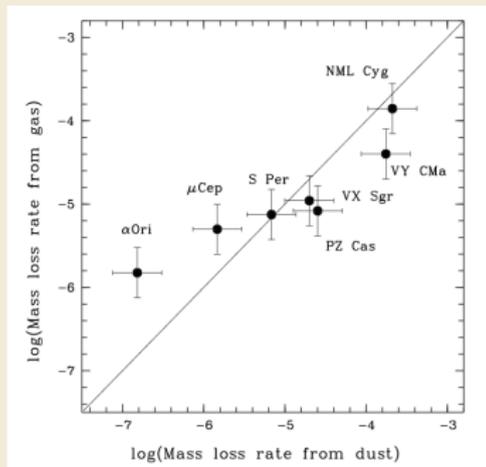
### Transfert radiatif

- code MORAD (Lambert et al. 2014)
- abondance de Fe hors-ETL pour géantes rouges Kepler (Ezzeddine et al. 2013)

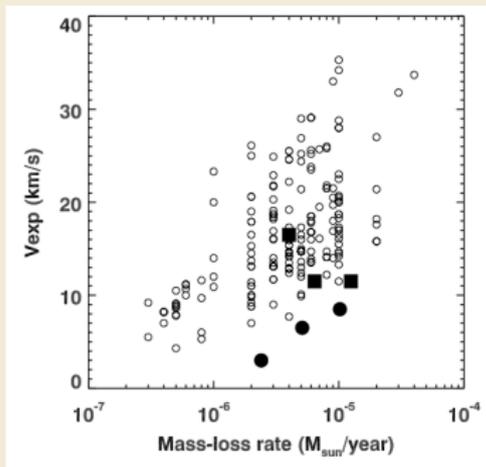


Programme National de Physique Stellaire

## Prescriptions - effets de la métallicité



Supergéantes rouges  
(Mauron & Josselin 2011)

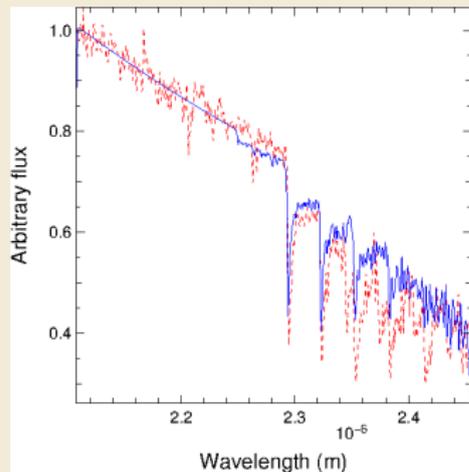
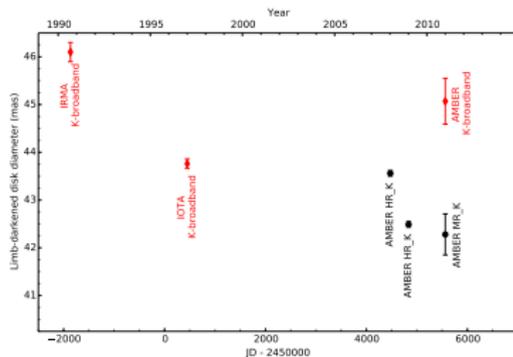


AGB carbonées du halo  
(Lagadec et al. 2012)

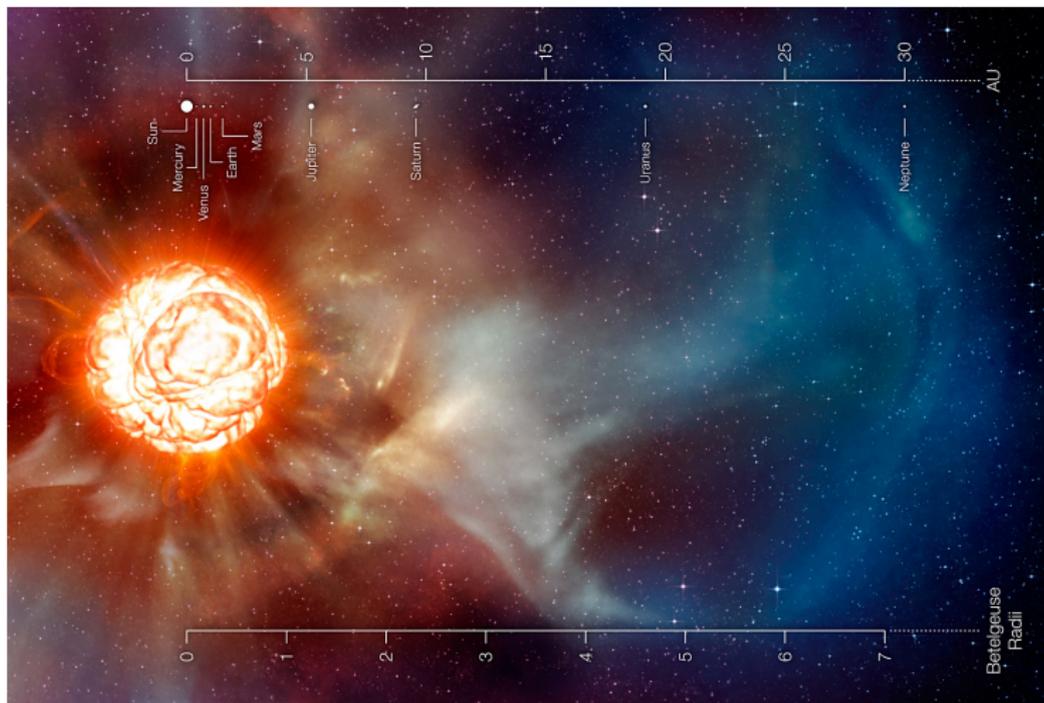
## Observations HRA

Montargès et al.

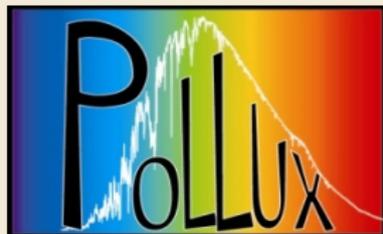
- Mesures de diamètres dans le continuum
- caractéristiques des "MOLspheres"  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{CO}$  :  $R$ ,  $T$ ,  $n$
- Signature du "pattern" de convection avec simulations RHD



# Enveloppes circumstellaires



Programme National de Physique Stellaire



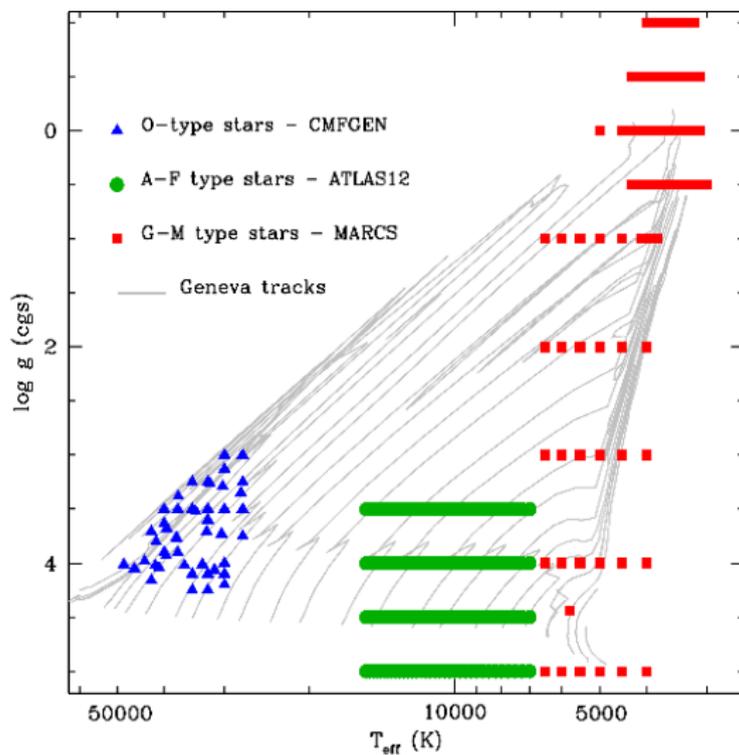
Base de données labellisée INSU de spectres synthétiques et SEDs théoriques

Seule base de données de spectres stellaires théoriques interopérable OV disponible

Intégrée dans un workflow scientifique : application VOSPECFLOW (<http://cdab.bagn.obs-mip.fr/vospecflow/>)

Associée à un module de convolution (ouverture mai 2014)

Manque de données pour utilisation systématique en regard de bases de spectres observés (par ex. PolarBase)  $\Rightarrow$  Prévisions d'évolution à court terme



## POLLUX

### Buts :

- focus sur spectres synthétiques haute résolution
- extension vers l'IR
- augmentation du volume calculs nouveaux
- + hébergement de données existantes dormantes

Faire de POLLUX la référence pour la découverte de spectres stellaires synthétiques haute résolution sur le web et dans l'OV

Tâche de service labellisée

INSU OV-GSO / AS OV France / LUPM / OSU OREME



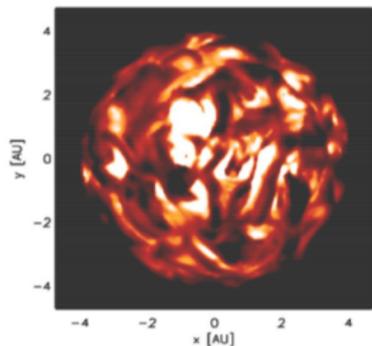
## Quelques pistes ...

- observations : HRA optique (SPHERE, GRAVITY, VEGA), UVMag, SPIRou, PLATO, NOEMA & ALMA, SKA etc.
- contraintes sur les âges ?
- Physique moléculaire : taux de collisions, **facteurs de Landé** (en particulier oxydes : TiO, SiO, CO)
- modélisation : (M)HD compressible : ondes de chocs & magnétisme
- **perte de masse et évolution stellaire !**

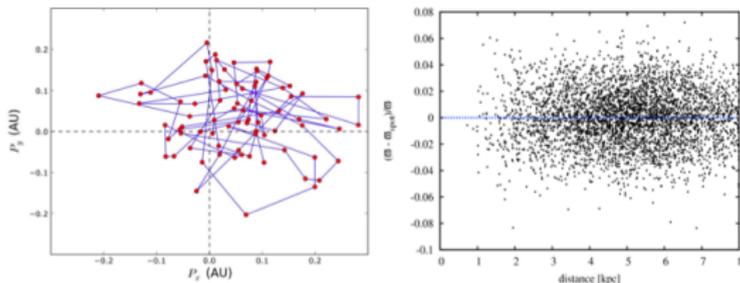


MERCI !

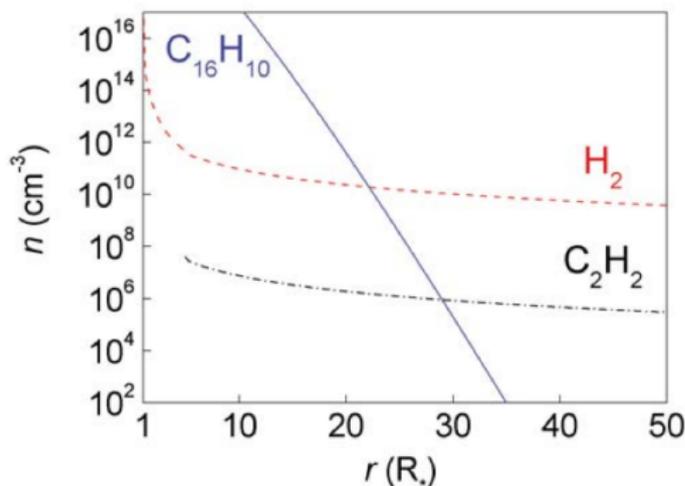




**Figure 10.** Synthetic map of intensity (the range is  $[0 - 230000]$   $\text{erg s}^{-1} \text{cm}^{-2} \text{\AA}^{-1}$ ) in the Gaia  $G$  band [25]. Figure adopted from [24].



**Figure 11.** *Left-hand panel:* photocenter displacement as a function of time for a RSG simulation. Each point is a snapshot 23 days apart for a total of 5 years of simulation (comparable to the duration of the Gaia mission). *Right-hand panel:* relative difference between the parallaxes computed with and without the photocentric motion of the left-hand panel, as a function of the distance. Figures adopted from [24].



**Fig. 1.** Minimum pyrene abundance for condensing 10% of the monomers versus the distance from the central star IRC +10216 under a high molecular hydrogen density scenario from Agundez & Cernicharo (2006). Molecular abundances of  $\text{H}_2$  (Agundez & Cernicharo 2006) and  $\text{C}_2\text{H}_2$  (Fonfria *et al.* 2008) are indicated for comparison. The condensation is governed by the PAH temperature which slowly decouples from the gas because of the high number of collisions. The difference between the gas kinetic temperature and the internal pyrene temperature initially null at the photosphere rises up to a maximum of 250 K at around  $5 R_\star$  and then slowly decreases down to 200 K at  $25 R_\star$ .