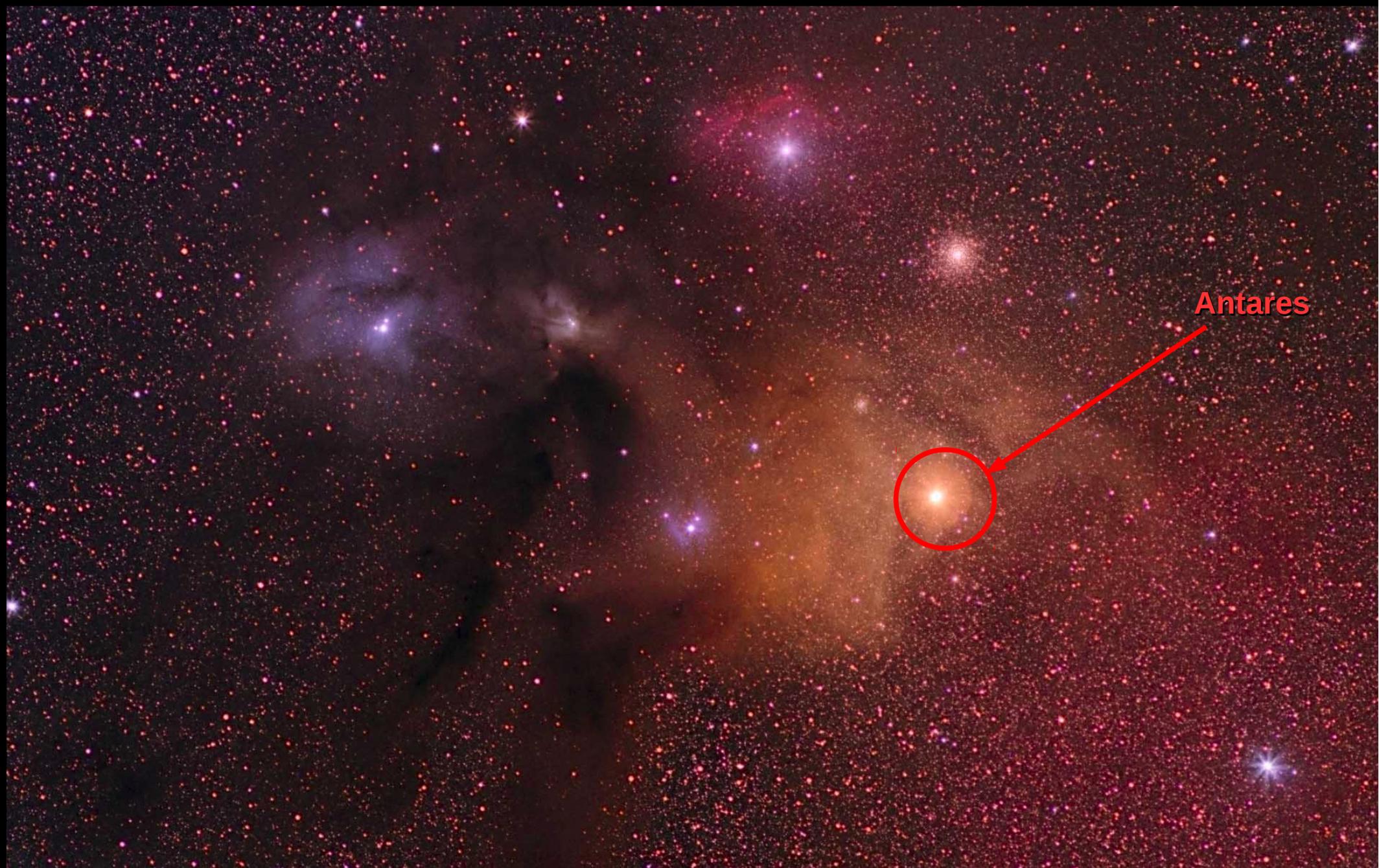




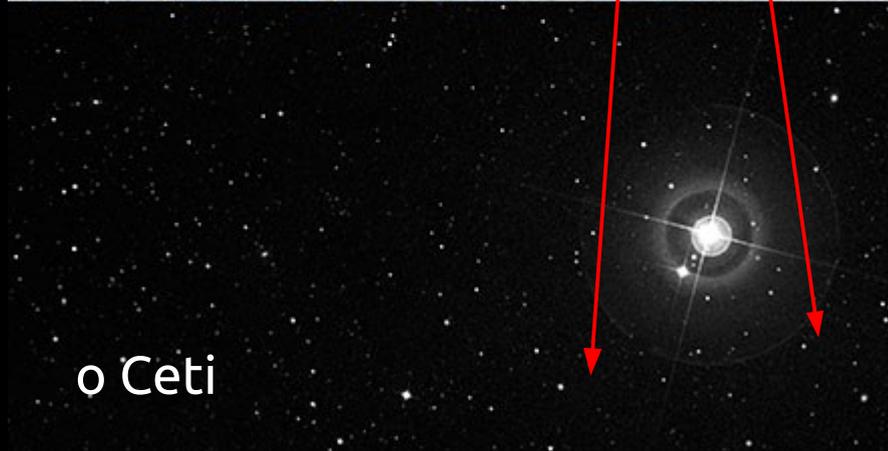
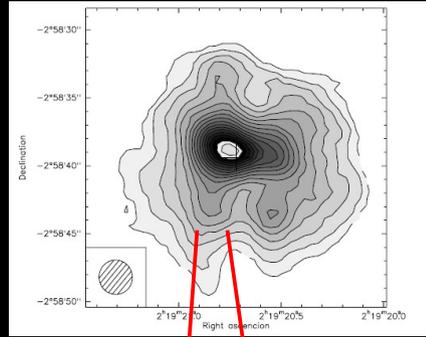
GÉANTES ROUGES



Les géantes rouges

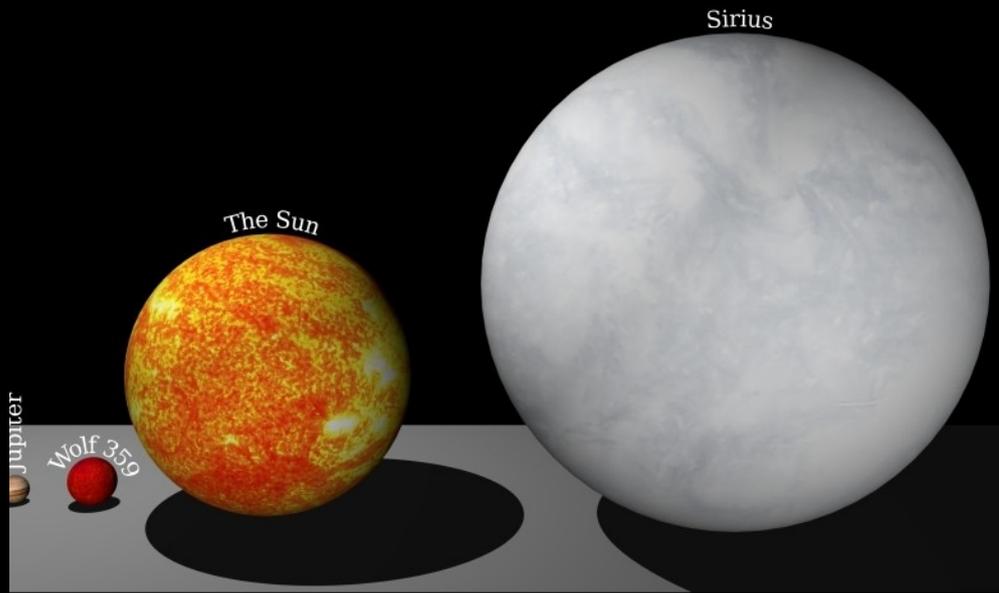


Les géantes rouges

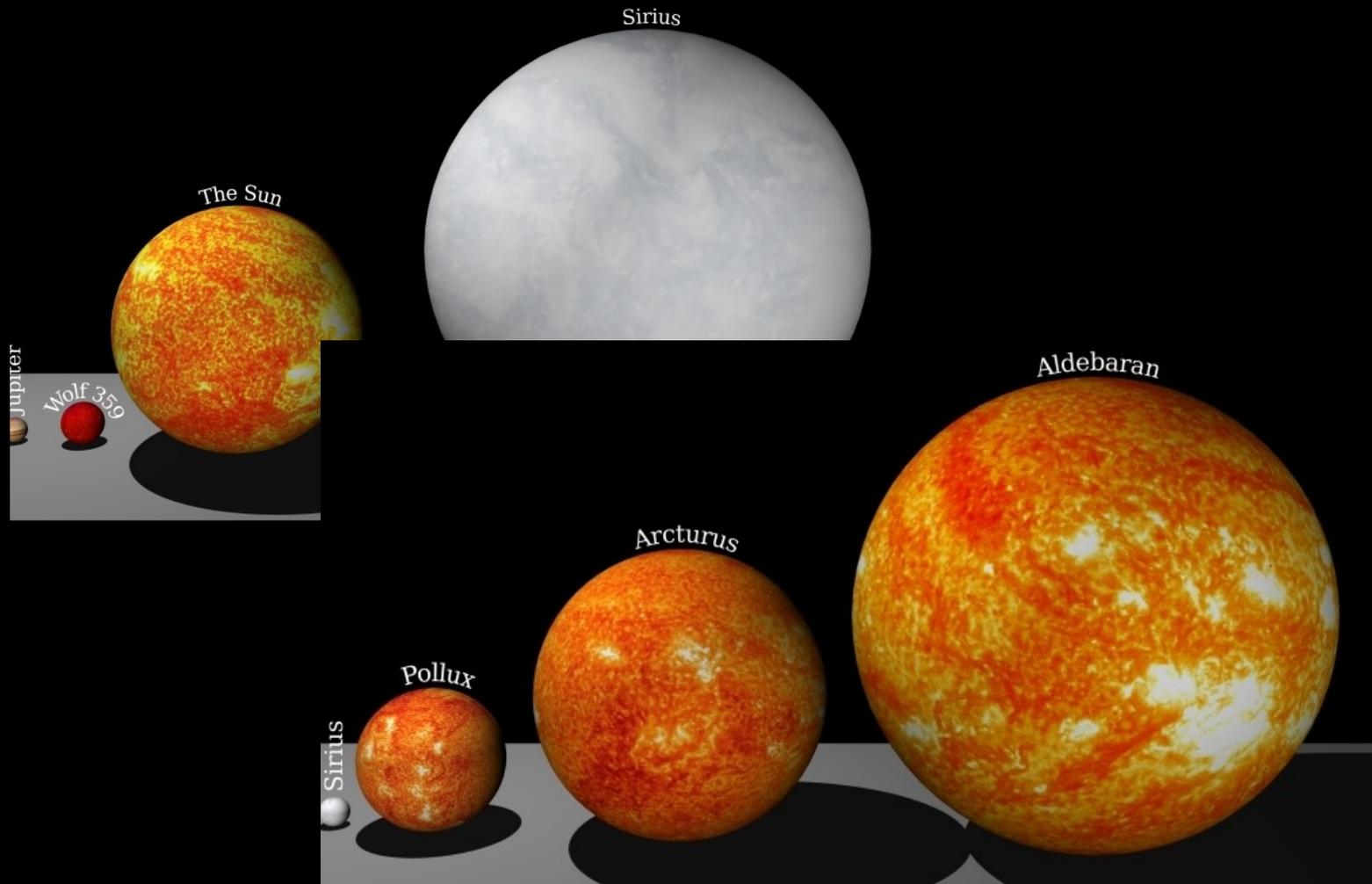


IRC10216

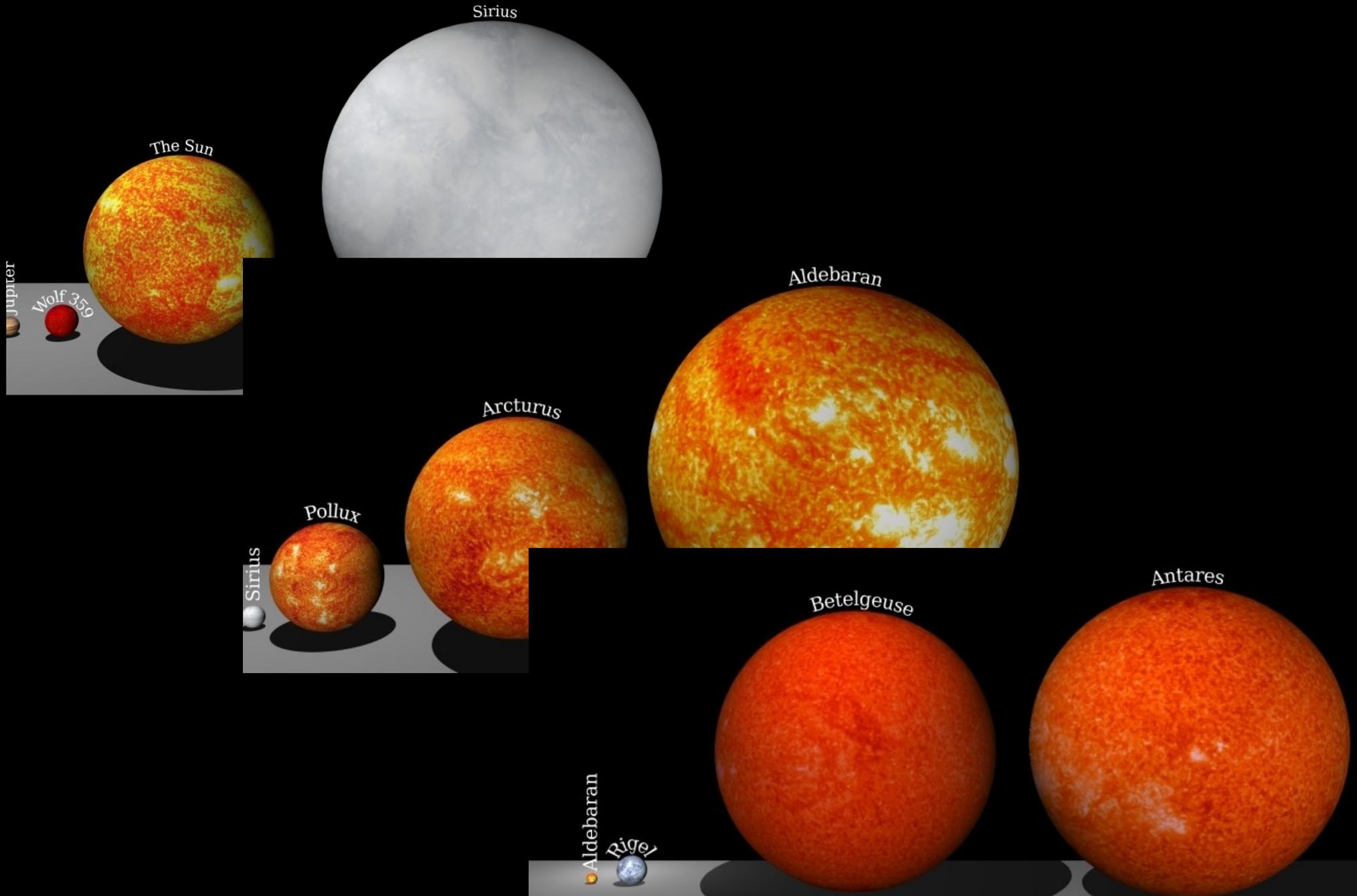
La taille relative des géantes rouges par rapport aux autres étoiles



La taille relative des géantes rouges par rapport aux autres étoiles

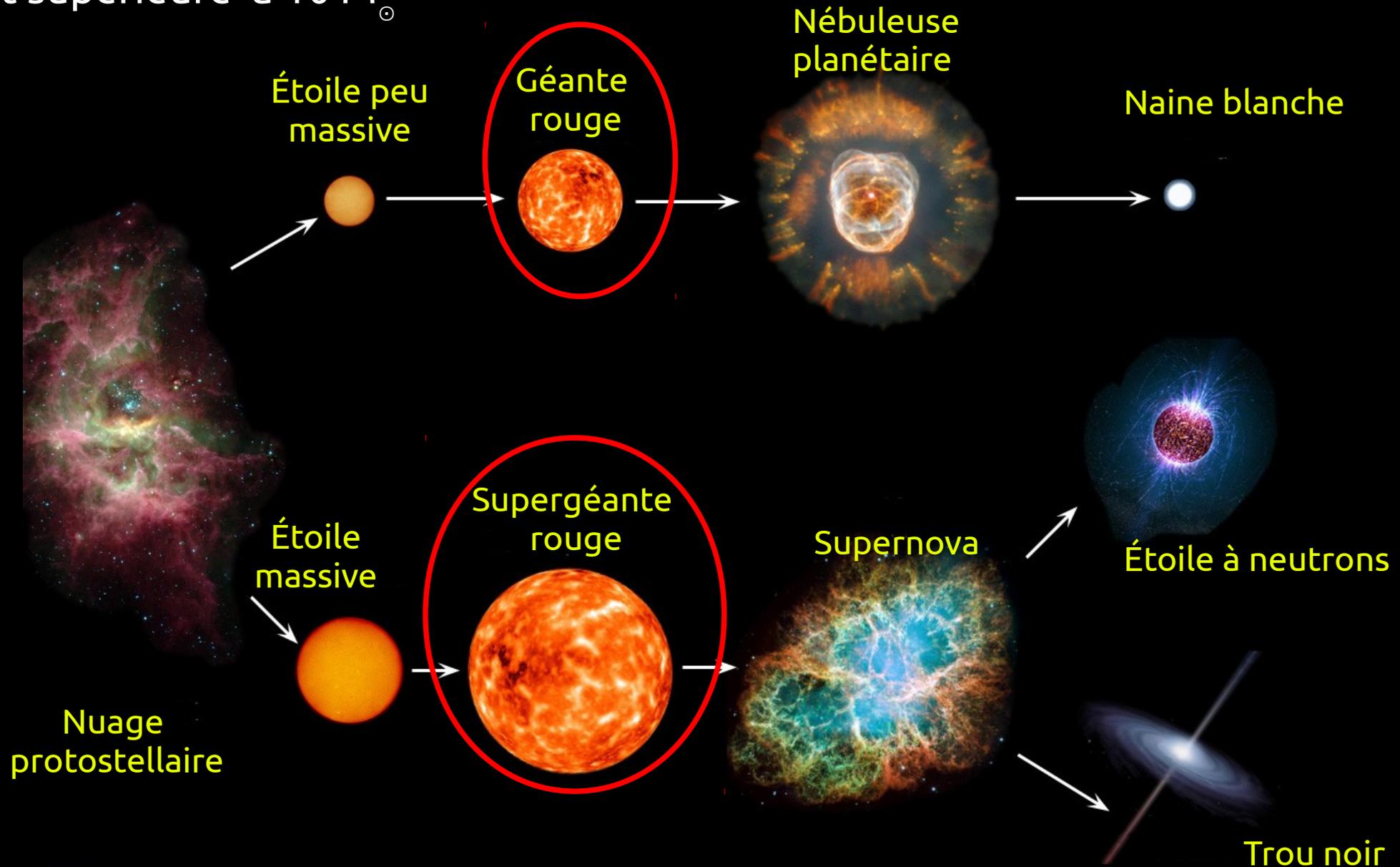


La taille relative des géantes rouges par rapport aux autres étoiles



Les géantes rouges sont des étoiles évoluées dont la masse initiale est comprise entre $0.6 M_{\odot}$ et $10 M_{\odot}$

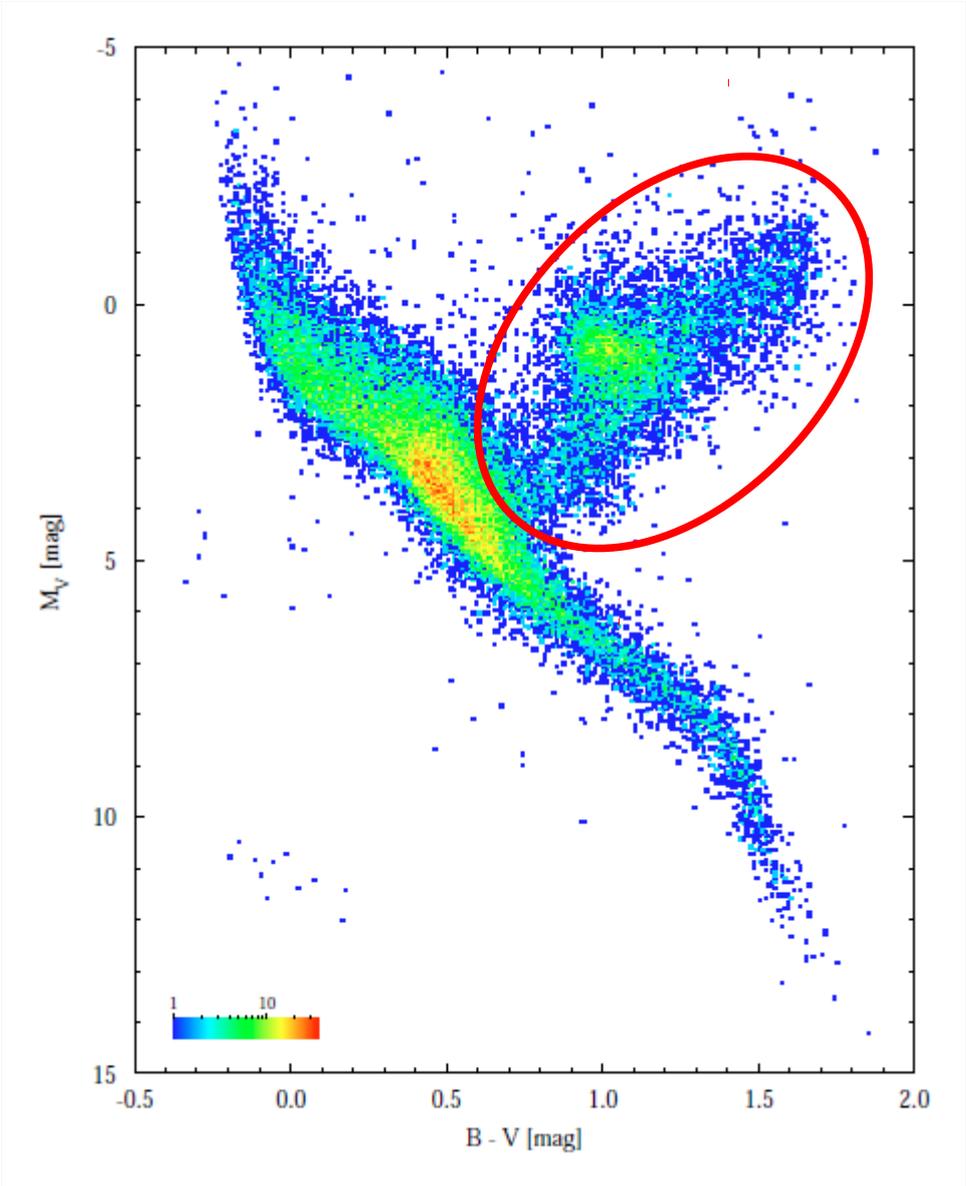
Les supergéantes rouges sont des étoiles évoluées dont la masse initiale est supérieure à $10 M_{\odot}$



Les images ne sont pas à l'échelle

Plus précisément dans un diagramme de Hertzsprung-Russell

Luminosité



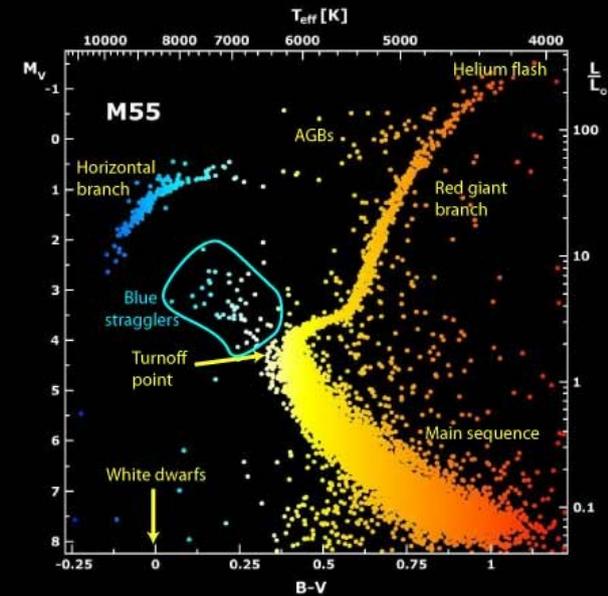
Température

Pourquoi s'intéresser aux géantes rouges ?

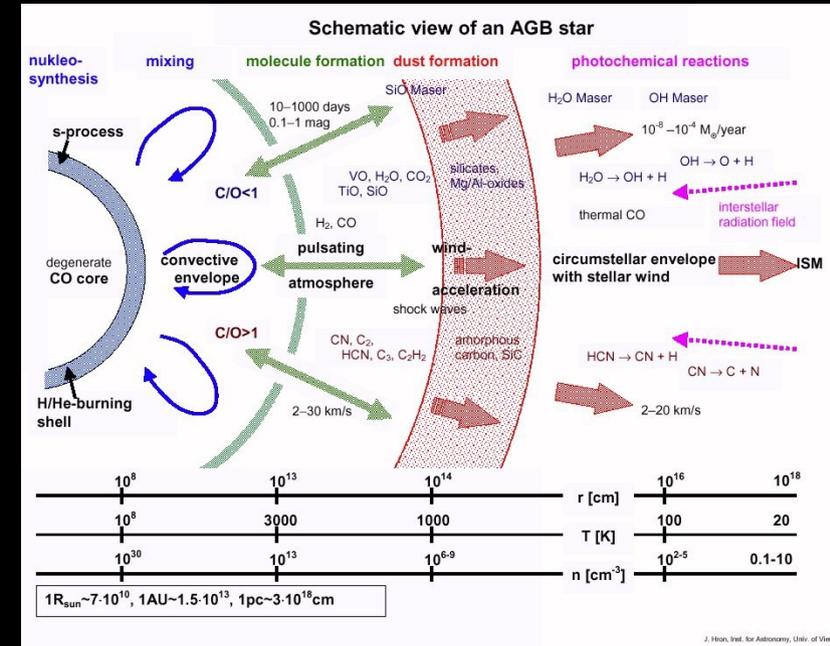
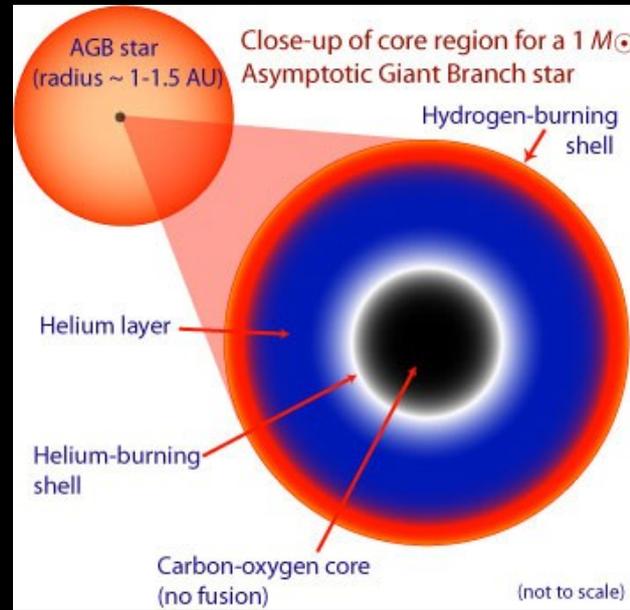
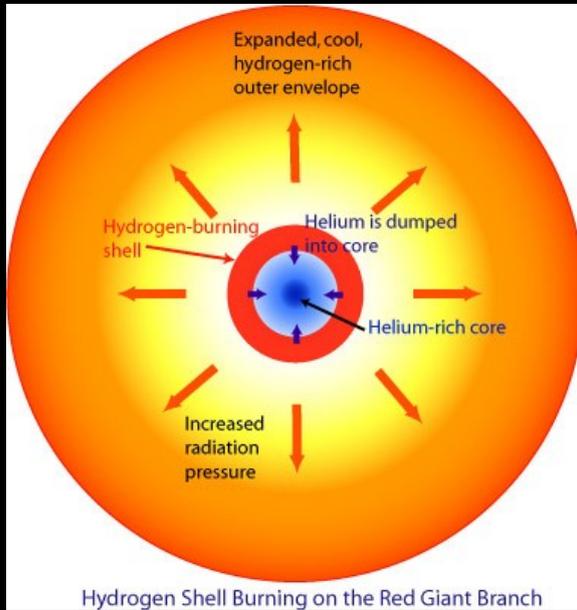
Rayon étendu et luminosité élevée
→ forte perte de masse
→ contributeurs importants à l'évolution chimique des galaxies



Étoiles vieilles et très lumineuses
→ contributeurs importants à la lumière intégrée des populations stellaires des amas et des galaxies



Pourquoi s'intéresser aux géantes rouges ?



Enveloppe convective très étendue + fusion nucléaire en coquilles minces

nucléosynthèse spécifique et site de **processus de transport non-standard** conduisant à des signatures observationnelles particulières

Enveloppes circumstellaires étendues, froides et dynamiques

Chimie hors-équilibre et source principale de **poussières** dans l'Univers actuel

L'étude des géantes rouges au LUPM : modélisation de l'évolution

Ana Palacios , Olivier Richard

Développement et calcul de modèles d'évolution stellaire avec des codes propriétaires (code STAREVOL, code Montréal-Montpellier)

→ pour étudier et comprendre les effets de l'environnement, de la masse initiale et des processus physiques standard sur l'évolution des étoiles à travers les phases géantes rouges

→ pour étudier et comprendre les effets des processus physiques de transport de matière et de moment cinétique sur l'évolution et la nucléosynthèse à la phase géante rouge

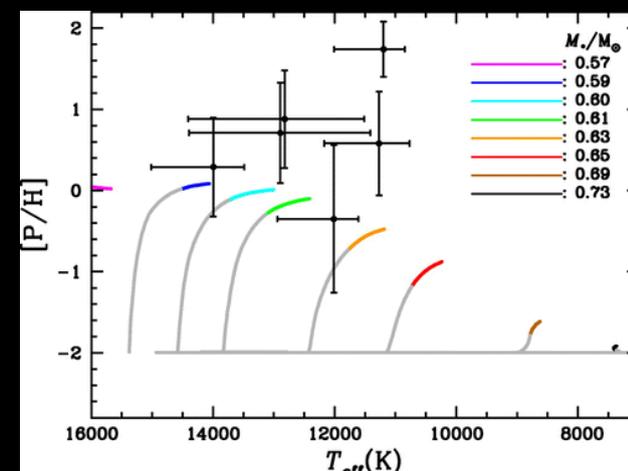
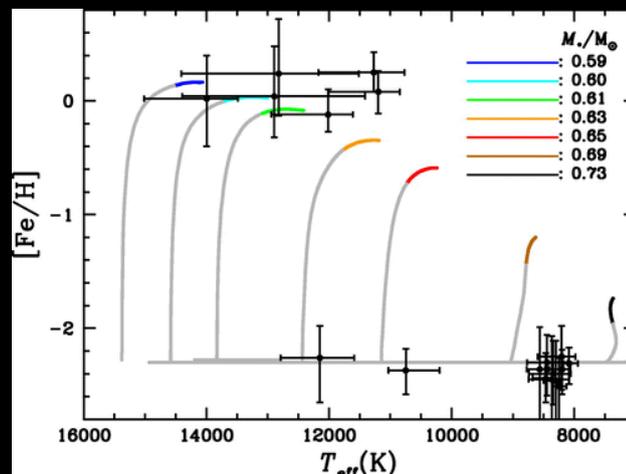
→ pour étudier et comprendre les processus de nucléosynthèse complexes à l'origine d'éléments lourds constituant la moitié des isotopes pour les noyaux plus lourds que le Fer

→ pour interpréter les observations spectroscopiques (abondances, rotation) et astérosismiques d'étoiles géantes rouges

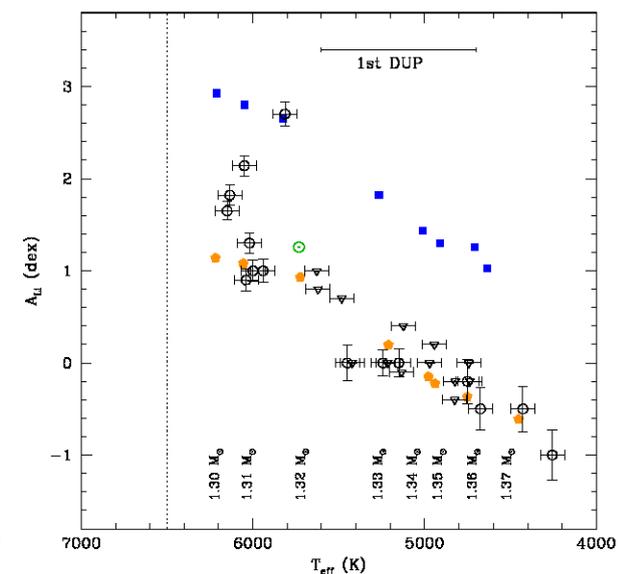
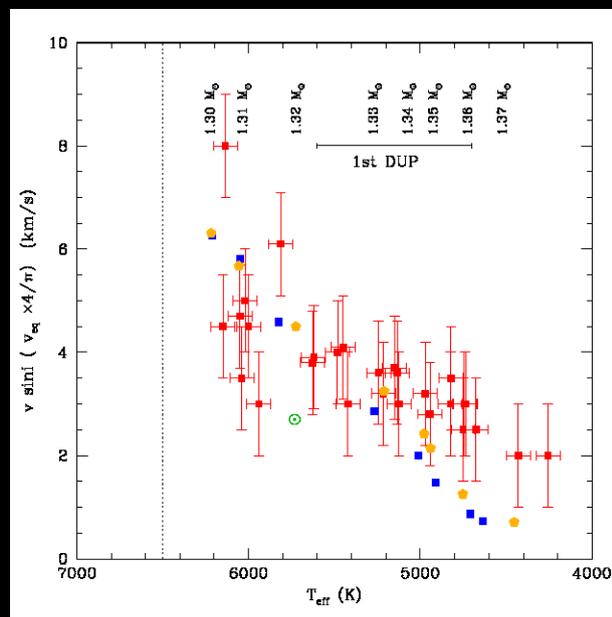
L'étude des géantes rouges au LUPM : modélisation de l'évolution

Ana Palacios, Olivier Richard

Lévitation des éléments lourds (fer et autres métaux) dans les étoiles chaude de la branche horizontale - Modèles code de Montréal avec diffusion gravitationnelle, lévitation radiative et turbulence paramétrée (Michaud et al. 2008, ApJ)



Évolution de la vitesse de rotation et de l'abondance de lithium à la surface des géantes rouges de l'amas ouvert M67 – Modèles code STAREVOL avec circulation méridienne, cisaillement turbulent et mélange thermohaline (Canto Martins, Lèbre, Palacios et al. 2011)

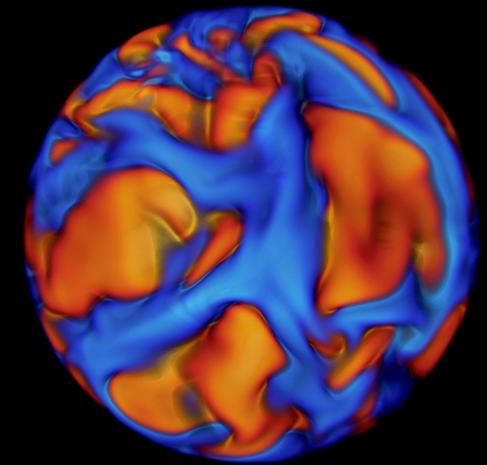
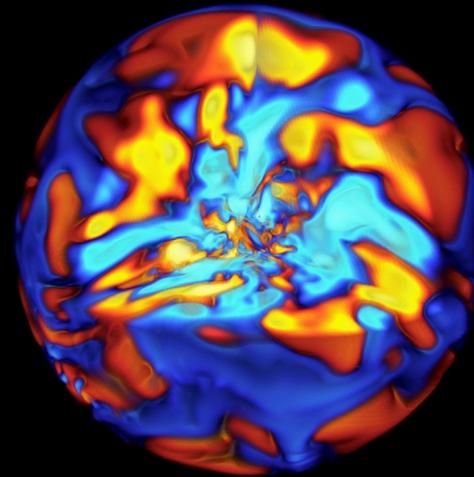
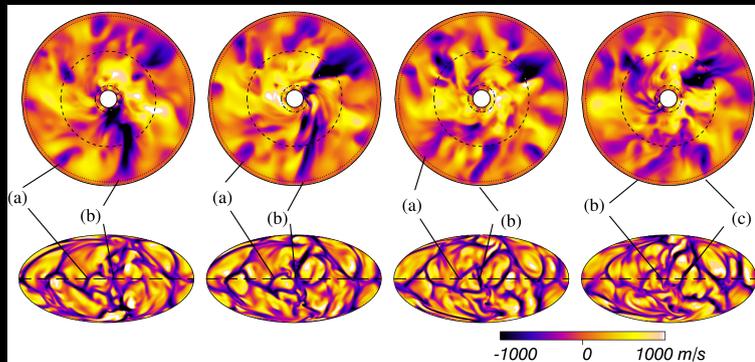
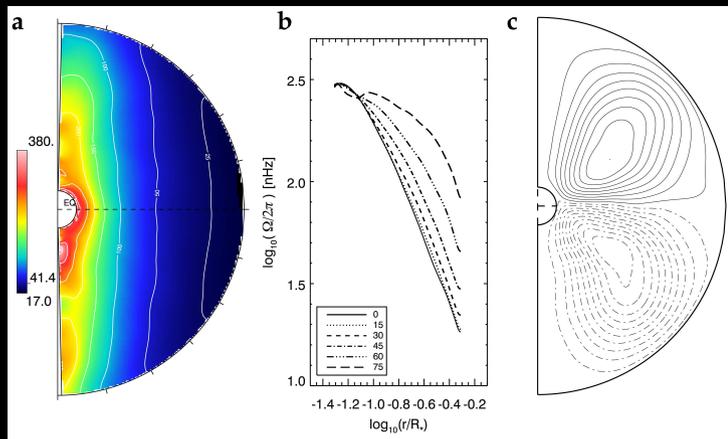


L'étude des géantes rouges au LUPM : simulation des intérieurs convectifs

Ana Palacios

Simulations hydrodynamiques et magnétohydrodynamiques de l'enveloppe convective étendue d'une géante rouge

Collaboration avec le CEA/Saclay (A.S. Brun)



L'étude des géantes rouges au LUPM : modélisation des atmosphères

Eric Josselin, Julien Lambert, Agnès Lèbre, Bertrand Plez

Développement et calcul de modèles d'atmosphères (MARCS) et de codes de synthèse spectrale (Turbospectrum)

Calcul du transfert radiatif sur la base de simulations 3D (code Optim3D - thèse A. Chiavassa)

Développement de code de transfert radiatif hors-ETL (code MORAD) (thèse J. Lambert)

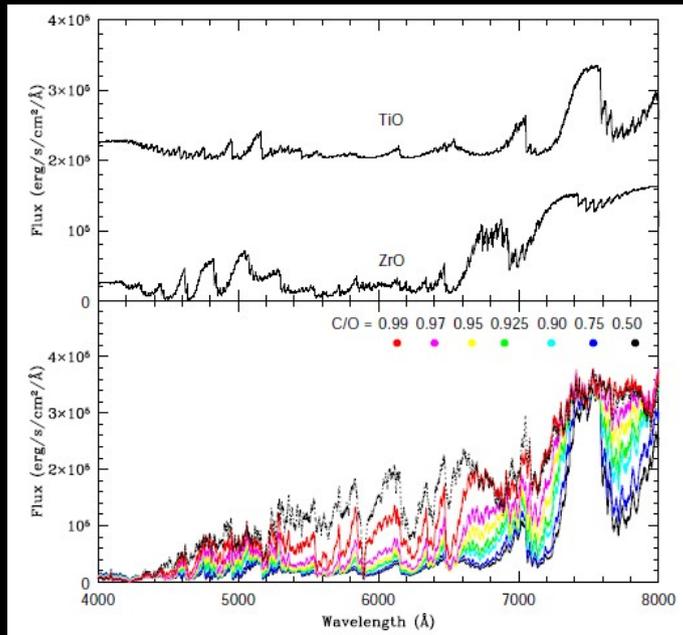
→ pour analyser et comprendre les observations spectroscopiques des géantes et supergéantes rouges

→ pour évaluer des abondances chimiques, des paramètres atmosphériques et dynamiques des atmosphères de géantes et supergéantes rouges

→ pour comprendre les processus physiques de perte de masse (dans les supergéantes)

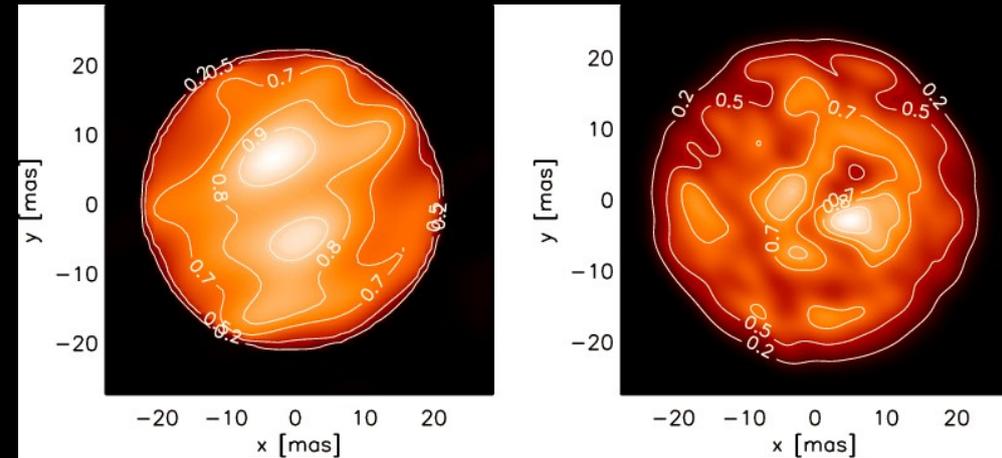
L'étude des géantes rouges au LUPM : modélisation des atmosphères

Eric Josselin, Julien Lambert, Agnès Lèbre, Bertrand Plez

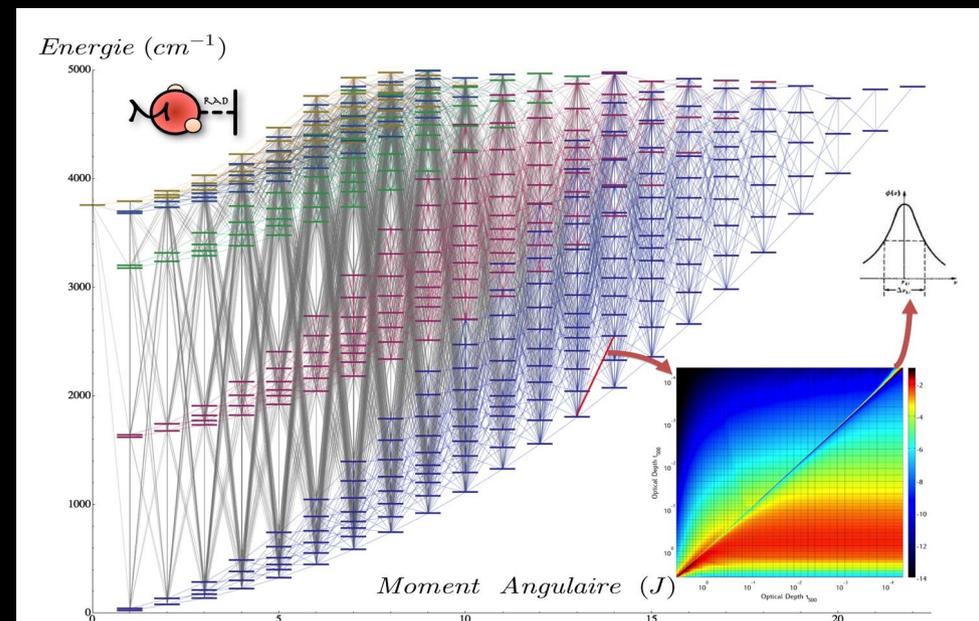


Spectres synthétiques d'étoiles carbonées de type S dans la région des bandes moléculaires de TiO (Van Eck, Neyskens, Plez et al. 2011)

Réseau des transition radiatives de la molécule d'eau dans l'ensemble de l'atmosphère d'une supergéante rouge – Approche hors ETL (Lambert 2011)



Comparaison de l'image de Bételgeuse obtenue par interférométrie et de l'observation interférométrique calculée sur la base d'une simulation hydrodynamique 3D de Bételgeuse (Chiavassa et al 2010)



L'étude des géantes rouges au LUPM : observation des géantes et supergéantes rouges

Nicolas Mauron, Agnès Lèbre, Gérard Jasiewicz, Nicolas Fabas, Éric Josselin

Observations spectroscopiques dans l'optique

- pour caractériser des populations d'étoiles évoluées en fonction de l'environnement
- pour déterminer la composition chimique de surface d'étoiles géantes rouges et supergéantes rouges

Observations spectropolarimétriques dans l'optique

- pour caractériser le magnétisme des étoiles géantes
- pour étudier la propagation de chocs dans les enveloppes d'étoiles Mira

Observations spectroscopiques IR et submm

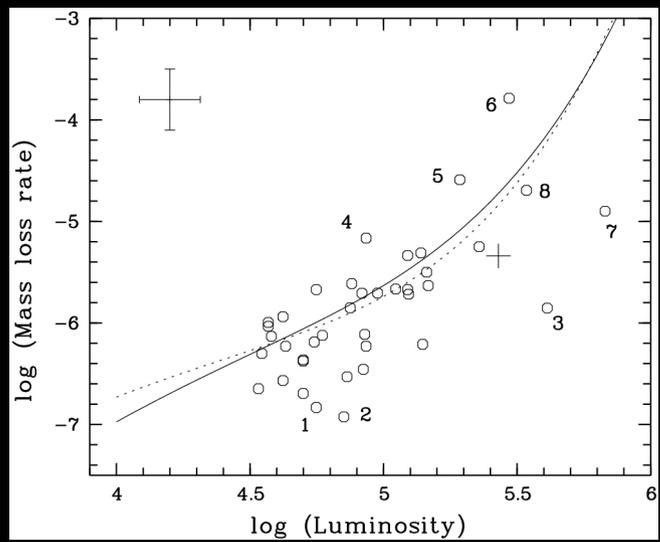
- pour caractériser la chimie et la morphologie des enveloppes d'étoiles froides

Imagerie optique et submm

- pour caractériser la perte de masse et la composition des enveloppes circumstellaires d'étoiles AGB

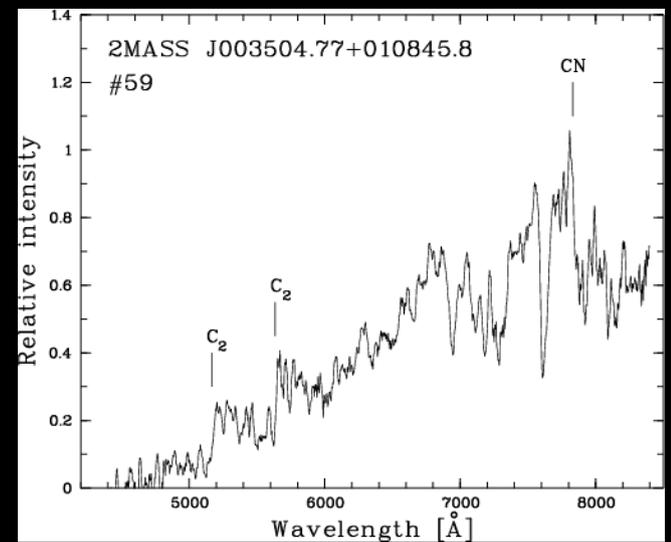
L'étude des géantes rouges au LUPM : observation des géantes et supergéantes rouges

Nicolas Mauron, Agnès Lèbre, Gérard Jasiewicz, Nicolas Fabas, Éric Josselin

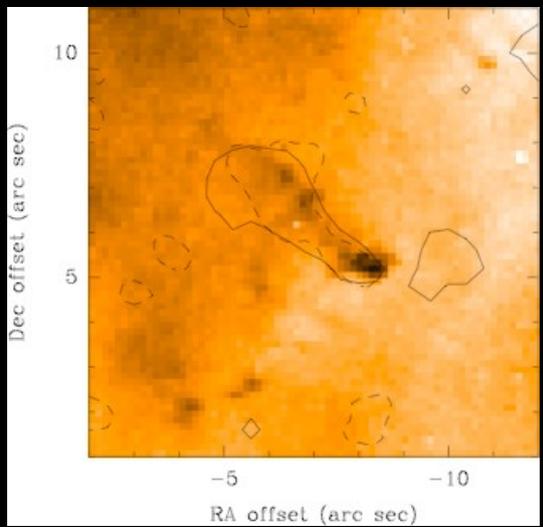


Caractérisation de la perte de masse des supergéantes rouges en fonction de la composition chimique initiale (Mauron & Josselin 2011)

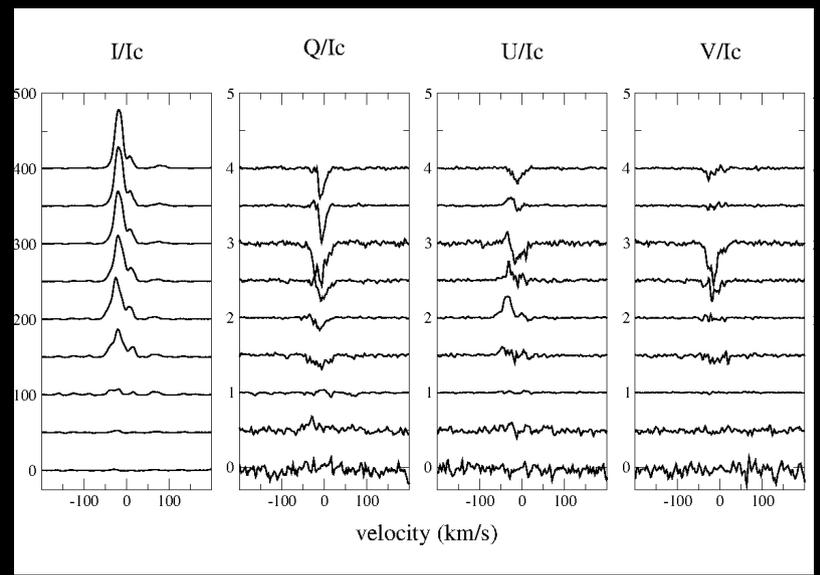
Découverte d'étoiles froides carbonées dans le halo de la Galaxie (Mauron 2007)



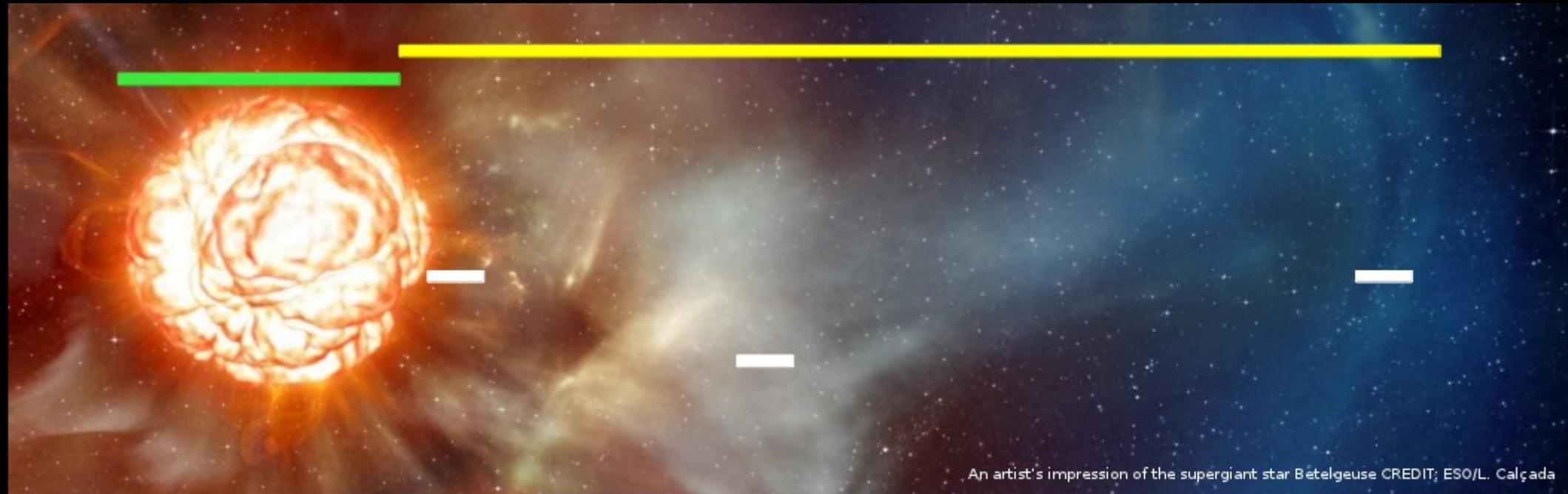
Contours traçant le gaz moléculaire dans le domaine millimétrique autour d'un globule cométaire dans la nébuleuse de l'Anneau (Josselin comm. priv)



Évolution de la signature polarisée dans la raie de l'hydrogène H beta au cours d'un cycle de pulsation de l'étoile α Ceti (Fabas, Lèbre et Gillet 2011)



Les géantes rouges : une thématique fédératrice de l'équipe AS



Observations : images interférométriques, spectres, photométrie

Simulations 3D : atmosphère et environnement circumstellaire / hydrodynamique, chocs, champs magnétiques

Conditions physico-chimiques locales : champs de vitesse, densité, composition chimie, T, P, ...

9 personnes impliquées

Initiation d'un consortium national pour l'étude des géantes rouges

Thème de recherche fortement soutenu par le PNPS (INSU)