

Session "Atmosphères, vents, perte de masse"

8:30-8:50: Bilan et perspectives (F. Martins)

8:50-9:10: Etoiles évoluées (E. Josselin) - *revue*

9:10-9:25: Etoiles pauvres en métaux et riches en carbone: les témoins des premières étoiles (T. Masseron)

9:25-9:45: Etoiles de petites masses et naines brunes (C. Reylé) - *revue*

9:45-10:00: Etude spectroscopique détaillée des étoiles A0-A1 à faible vsini (F. Royer)

10:00-10:30: Pause café

10:30-10:45: The X-shooter Spectral Library Project (A. Lançon)

10:45-11:00: Propriétés des étoiles massives à faible métallicité (J.C. Bouret)

11:00-11:15: Modélisation des étoiles chaudes massives et exploitation des mesures hautes résolution angulaire des instruments VLT/AMBER, VLT/MIDI et CHARA/VEGA (P. Stee)

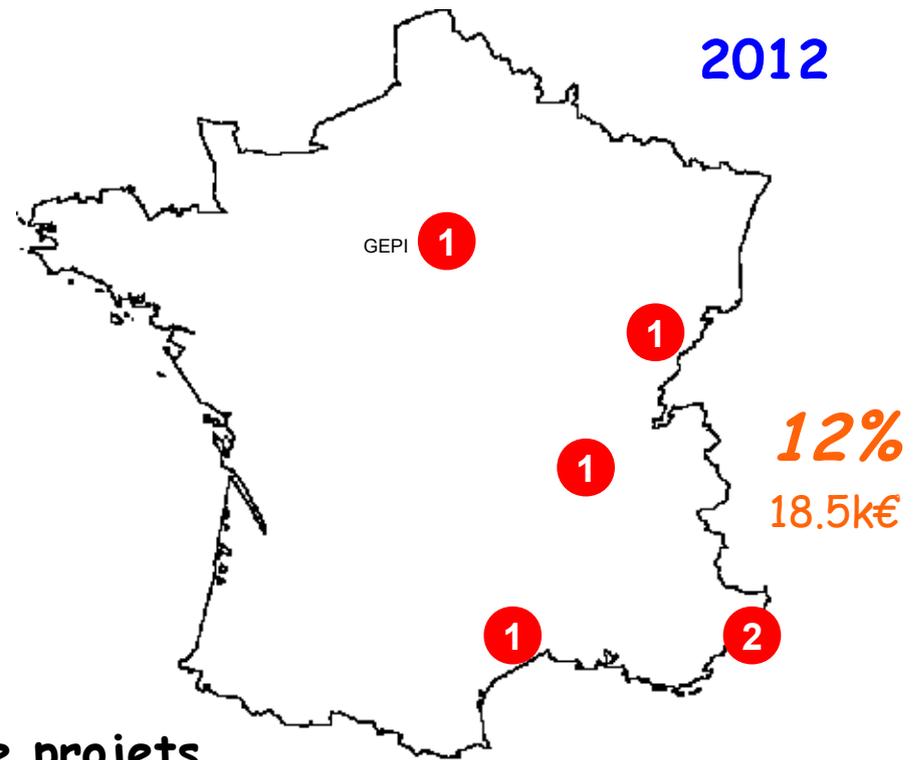
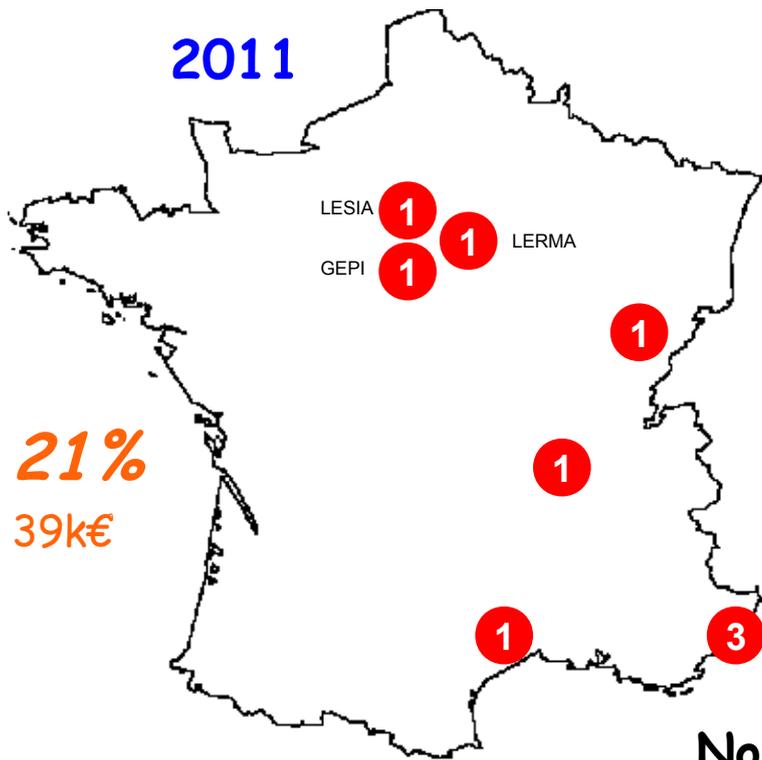
11:15-11:45: discussion (F. Martins et al.)

Atmosphères, vent, perte de masse, environnements stellaires

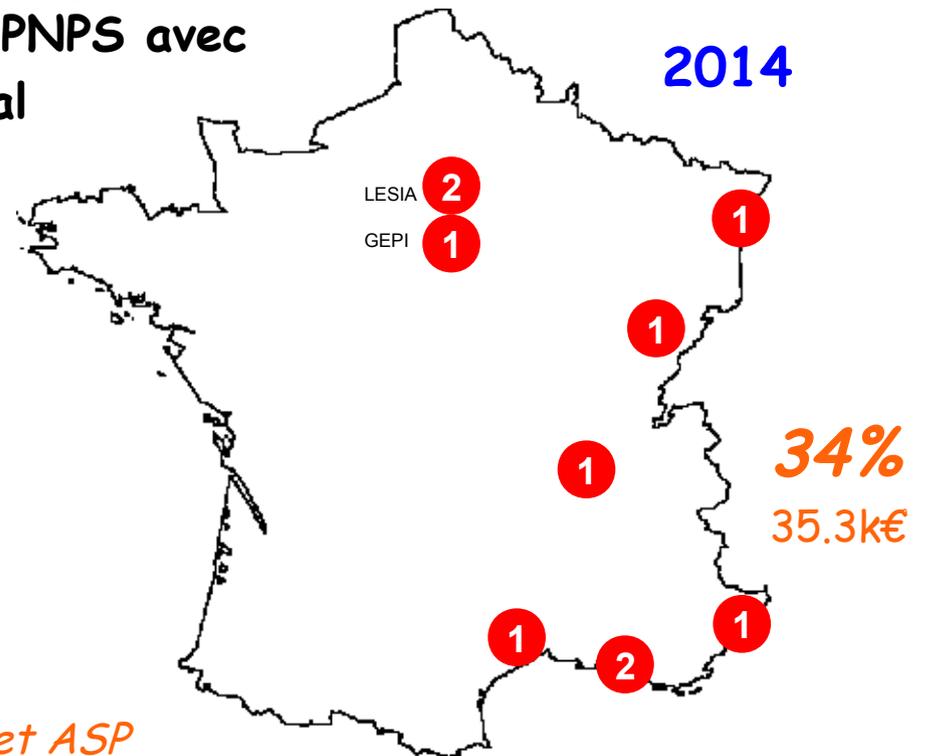
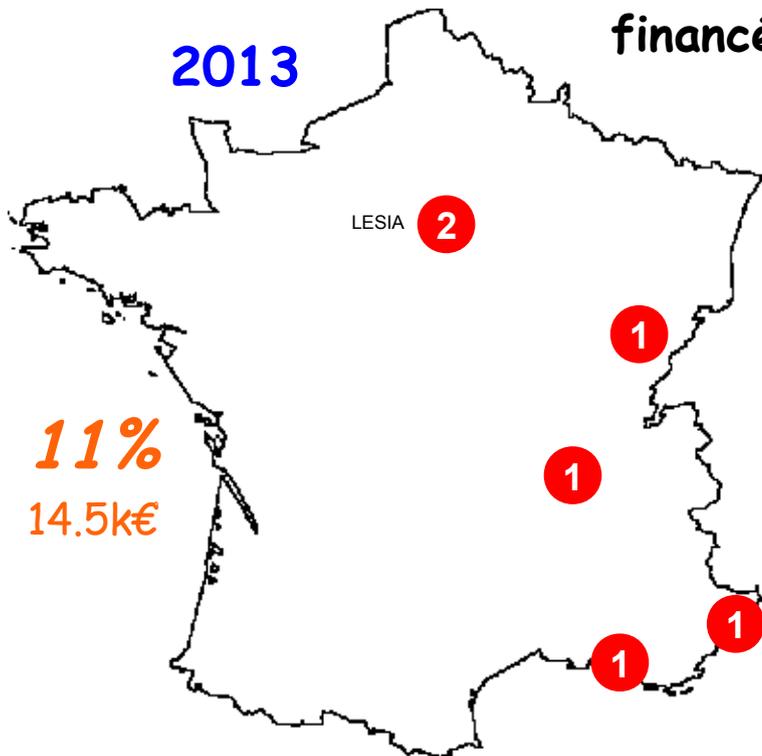
Bilan administratif, highlights, pistes de prospective

Fabrice Martins
Céline Reylé, Eric Josselin
Philippe Stee, Pierre Kervella

*Contributions de G. Alecian, I. Baraffe, L. Bigot, J.C. Bouret, P.
Delorme, N. Feautrier, F. Thévenin*



Nombre de projets financés par le PNPS avec PI local



% du budget ASP

Thématiques abordées ces 4 dernières années

Etoiles chaudes/massives:

- rotation (Royer)
- abondances de surface (Alecian; Bouret; Martins - ANR)
- supernovae "core collapse" (Dessart - ANR)
- géométrie/disques - rotation Keplerienne (Meilland, Millour, Stee, Chesneau...)
- perte de masse (Bouret/Martins, Chesneau/Stee)

Etoiles froides et/ou évoluées:

- hors-ETL (Merle/Thévenin, Caffau/Bonifacio, Feautrier, Lambert/Josselin)
- 3D (Caffau/Freytag, Bigot/Chiavassa/Creevey...)
- perte de masse (Mauron/Josselin, Lagadec, Montargès/Kervella)
- environnements proches (Montargès/Kervella/Perrin)
- propriétés de surface (Montargès/Kervella/Chiavassa)
- Gaia ESO survey (de Laverny/Recio-Blanco - ANR)

Etoiles de petite masse/naines brunes:

- naines M: métallicité (Rajpurohit/Reylé/Neves/Bonfils/Delfosse), échelle de Teff (Rajpurohit/Reylé/Allard/Schultheis)
- naines brunes: nuages (Allard; Baraffe - ERC), détection et caractérisations (Delorme, Delfosse, Forveille, Reylé, Allard)

"Environnement":

- céphéides (Nardetto/Mourard, Kervella)
- binarité (Kervella/Perrin, Halbwachs, Martins/Bouret, Millour/Chesneau/Stee)

+ ~6 thèses

~150 articles dont ~50 en 1er auteur

Physique fondamentale (Tchang-Brillet/Feautrier...)

2011-2014

Quelques highlights scientifiques basés sur les contributions reçues de la communauté

Non exhaustif

Complété par les autres présentations de la session

Physique atomique et moléculaire en physique stellaire (L. Tchang-Brillet, N. Allard, N. Feautrier, S. Sahal-Bréchet, A. Spielfiedel, C. Blaess, N. Champion, et collaborateurs)

Outils:

Expériences: spectromètre VUV de 10m sous vide (Meudon)

Théorie: spectroscopie, physique et chimie quantique, collisions, élargissement Stark, opacités quasi-moléculaires

1. Spectroscopie VUV à haute résolution (longueur d'onde, forces d'oscillateur, énergies des niveaux, facteur de Landé)

→ ions lourds multichargés / H₂ et ses isotopologues

Projets: lanthanides, Mn, Fe, Ni moyennement ionisés, tungstène, HD

2. Collisions atomiques avec H, écarts à l'ETL, préparation observations GAIA

→ excitation collisionnelle de MgI, CaI, CaII, OI

Projets: développement de méthodes approchées pour atomes complexes (Fe) *voir talk E. Josselin*

3. Profils de raies: Elargissement Stark des raies des atomes et des ions / Opacités atomiques et moléculaires

→ Profils synthétiques de raies atomiques perturbées par collision, applications aux naines blanches

Projets: largeurs Stark des raies de CI, OI, OII / profils des raies de résonance de Ca⁺ et Mg⁺ (collisions avec He)

4. Bases de données

→ développement de la base STARK-B

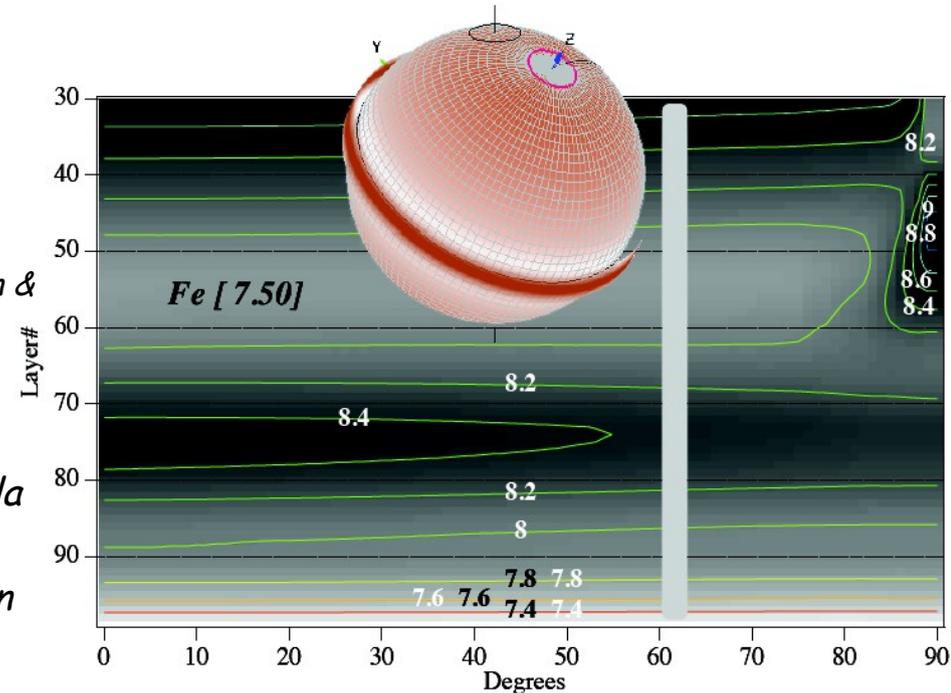
Diffusion des métaux dans les atmosphères magnétiques (G. Alecian et al.)

Processus physiques/méthodes

- *diffusion microscopique*
- *accélération* radiatives
- transfert de rayonnement *polarisé* avec effet Zeeman (Alecian & Stift 2010)

Modélisation numérique

Code CaratStrat: *seul code actuellement capable de modéliser* la distribution des *métaux* à la surface des Ap magnétiques.
Structure autocohérente en T et P avec les abondances (Alecian et al., 2011, 2014).



Distribution du Fe dans une atmosphère 12000K, 20kG dipolaire

Bilan :

- Distribution 3D des abondances (d'équilibre) dans les atmosphères magnétiques.
- Diffusion *dépendante du temps* dans les milieux optiquement minces
- Mise en évidence du comportement *chaotique* de certaines abondances superficielles.

Perspectives :

- Modélisation 3D *dépendante du temps*.
- Stabilité des inhomogénéités d'abondance (*météorologie stellaire*).
- Etude des éléments lourds et des terres rares dans des étoiles très anormales (étoile de Przybylski).
- Confrontations observ. ESPADONS, et futur SPIROU

Paramètres fondamentaux avec VEGA

Calibration de T_{eff} des étoiles du halo par interférométrie et simulations hydro 3D

(Creevey, Thévenin, Bigot, Berio, Mourard, Chiavassa, Nardetto)

Programme «Metal-poor» sur VEGA@CHARA

Combinaison **interférométrie + modèles d'atmosphères 3D** pour T_{eff} précises

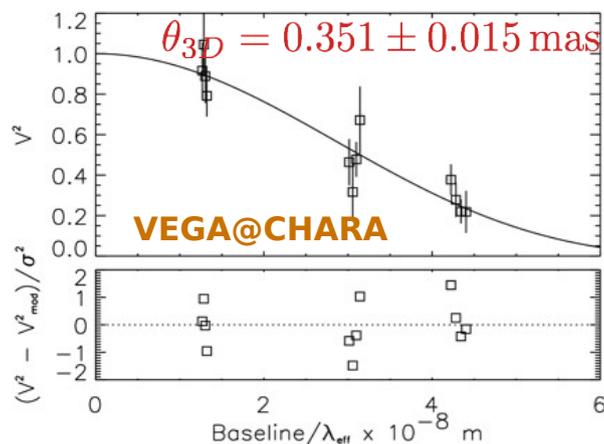
Tester les modèles stellaires pour des étoiles autre que le Soleil → amélioration des isochrones/atmosphères.

Calibration de l'échelle de température à faible métallicité (erreur $\pm 200\text{K}$)

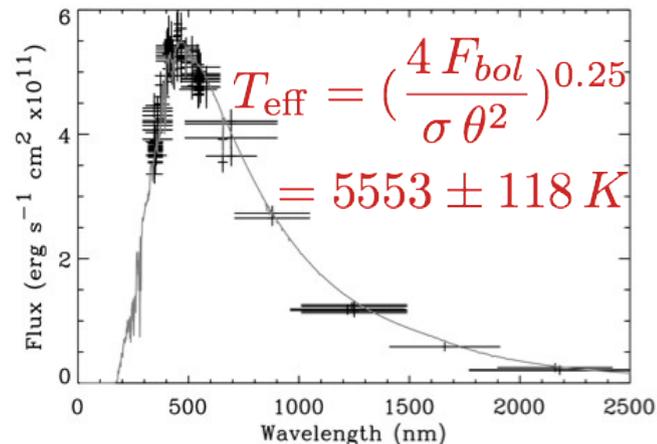
→ Besoin d'une mesure de T_{eff} indépendante des modèles

→ VEGA bien adapté pour les étoiles du halo - **résolution angulaire unique** (\neq interféromètres en bande K)

Angular diameter fit



Bolometric flux fit



HD 140283

3D hydro atmosphere
+ CESAM2k

$M = 0.800 \pm 0.015 M_{\odot}$,
Age = $12.1 \pm 0.9 \text{ Gyr}$
 $\text{Logg} = 3.65 \pm 0.05$,
 $\alpha = 1.0 (\alpha_{\odot} = 2.0)$

Creevey et al. (2014, in prep)
Creevey et al. (2012a, 2012b)

Etude de la dynamique atmosphérique des naines brunes par une approche GCM (Global Circulation Models)

(I. Baraffe - CRAL/Exeter, F. Allard - CRAL, G. Chabrier - CRAL)
(Financé par une "advanced ERC")

Global Circulation Model: outil numérique utilisé en météorologie (prédiction du temps et climat terrestre à court et long terme)

Simulations hydrodynamiques 3D de la circulation atmosphérique à la surface d'une planète (Terre ou autre....)

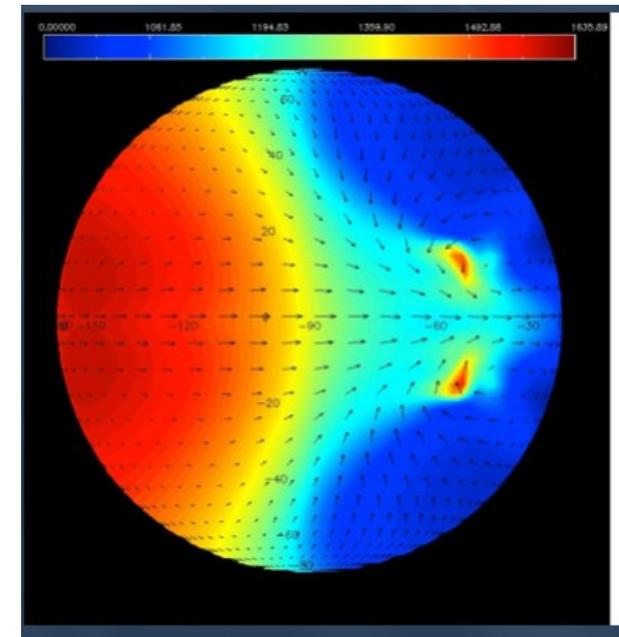
GCMs actuellement appliqués à la **dynamique atmosphérique d'exoplanètes**

→ développements actifs en France:

- Paris/Bordeaux Forget, Selsis et al.
- CRAL/Exeter, Baraffe et al. (liens avec Bordeaux)

Projet en cours: Application aux atmosphères nuageuses ("poussiéreuses") des naines brunes

- ⇒ Etude de la formation/disruption des nuages
- ⇒ **Interprétation des observations actuelles** (cf. Crossfield et al. Nature 2014) et à venir (Doppler imaging)
- ⇒ Meilleure compréhension des atmosphères poussiéreuses (cf Allard et al.) et **liens directes avec le domaine des exoplanètes** (transit ou imagerie directe).

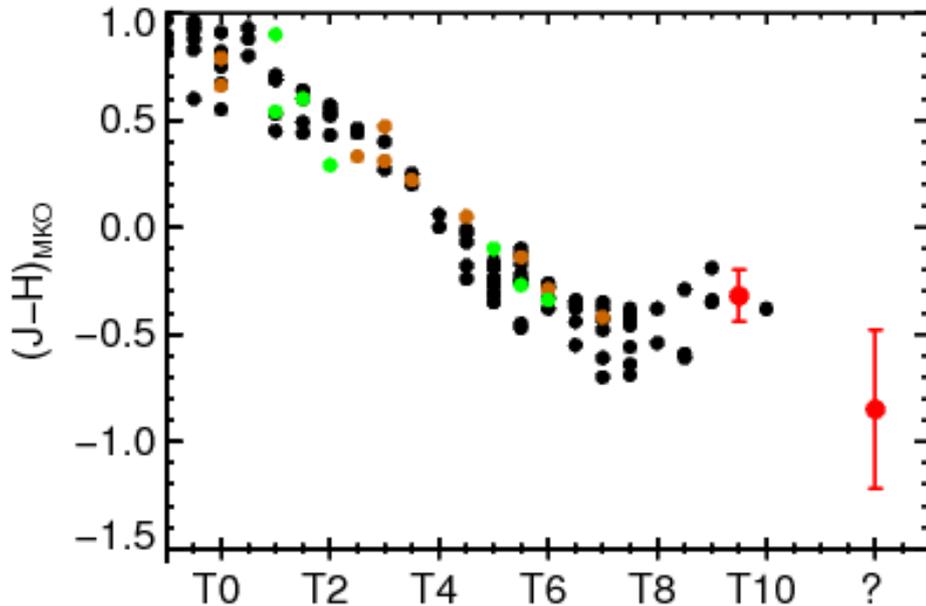


Vents horizontaux (flèches) et température (code de couleur) à la surface d'un Jupiter chaud (Mayne, Baraffe et al. 2014, A&A, 561)

Naines brunes de très faible masse: un objet avec une température dans le domaine de l'eau liquide (Delorme et al.)

=> **Teff=370+/-40K**
La 1ère naine Y

Press release Keck, ESO, CFHT, CNRS, Mars 2011



Liu, Delorme et al. 2011

Couleurs atypiques, différentes des prédictions des modèles

voir talk C. Reylé

Points de prospective: thématiques

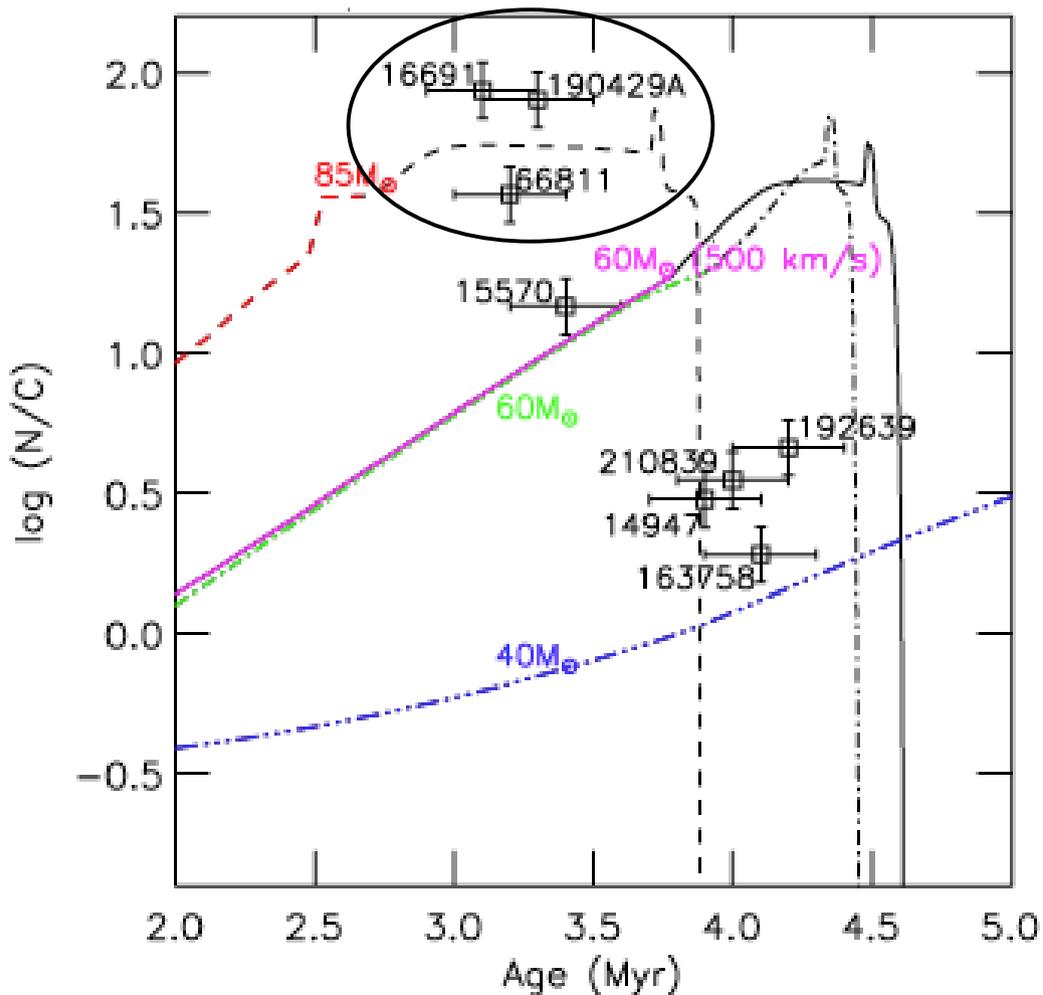
- Vers des **paramètres fondamentaux précis**
 - réduction des incertitudes (T_{eff} , $\log g$, rayons $\Rightarrow M$ et âge)
 - abondances de surface
- **Résoudre** les surfaces et enveloppes stellaires
 - caractéristiques de la convection de surface
 - assombrissement centre-bord / rayons stellaires
 - structure physique, inhomogénéité et cinématique des enveloppes/vents stellaires
- Propriétés des systèmes **binaires**
 - caractéristiques physiques et orbitales
 - effets de la binarité sur les surfaces stellaires (géométrie, distribution de T , abondances)
- **Perte de masse** à travers le diagramme HR:
 - processus physiques
 - prescriptions pour les modèles d'évolution
- **Naines brunes** et lien exoplanètes (interface forte avec le PNP)
 - recherche systématiques
 - caractérisation des propriétés physiques
 - météorologie des atmosphères

Points de prospective: moyens

- Simulations **hydrodynamiques 3D** des atmosphères d'étoiles
Simus hydro et RT
- Calculs **hors-ETL**: collaboration étroite entre physique atomique et physique stellaire
→ traitement des collisions - écarts à l'ETL - déterminations d'abondances
- **Spectroscopie multi-longueur d'onde**: haute résolution spectrale
 - UV: projet **UVMag**
 - optique: T2M (Neo)-Narval, **SOPHIE**
 - IR: **Spirou/SPIP** - instrumentation **E-ELT**
- L'**E-ELT**: focus "haute résolution spatiale" pour le stellaire
 - surface / environnement des étoiles proches
 - physique stellaire dans l'Univers local (populations, effets de métallicité - $1/50$ à $2 Z_{\odot}$)
- **Haute résolution angulaire**:
Pionier/ VEGA / FLUOR / MIRC / First / Gravity / MATISSE / ALMA / NOEMA - SPHERE
→ besoin de haute résolution spectrale (structure cinématique des enveloppes)
- **Gaia** et le diagramme HR: paramètres fondamentaux / déterminations automatiques
- **Librairies spectrales** (**NARVAL/PolarBase - SOPHIE - X-Shooter - ESO/Gaia - POLLUX...**)
 - interaction et extension
 - détermination automatique de paramètres stellaires (e.g. **AMBRE - Gaia**, préparation **PLATO**)

Backup / work slides

Evolution des étoiles massives: abondances et rotation (Bouret et al.)



Etoiles O supergéantes Galactiques:

- enrichissements en azote
- rapports N/C compatibles avec les prédictions des modèles avec rotation (Meynet & Maeder 2005) sauf pour les étoiles les plus massives (type O4)

Voir aussi talk JC Bouret

Conclusions

- Rôle du vent dans l'évolution des propriétés de surface (perte de masse incertaine) ?
- Extension aux géantes/supergéantes du SMC

Modèles d'atmosphères d'étoiles géantes (de Laverny et al. Puis palacios et al.)

« Anomalies d'abondances chimiques, rotation, magnétisme et ondes internes dans les étoiles évoluées »
(2008-2011) - PI P. de Laverny

« Comprendre les étoiles géantes rouges et leur 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 (J. Lambert 2012)
- abondance de Fe hors-ETL pour géantes rouges Kepler (Ezzeddine et al. 2013)

- Simulations hydrodynamiques **3D** des atmosphères d'étoiles
- Calculs **hors-ETL**: collaboration étroite entre physique atomique et physique stellaire
 - traitement des collisions - écarts à l'ETL - déterminations d'abondances
- **Haute résolution angulaire**: Pionier/ VEGA / FLUOR / MIRC / PAVO / CLASSIC / First / Gravity / MATISSE / ALMA / NOEMA
 - sonder les systèmes multiples de toute masse, les environnements proches des étoiles, les enveloppes stellaires
 - besoin de haute résolution spectrale (structure cinématique des enveloppes)
- Préparation à l'exploitation de l'**E-ELT**: focus "haute résolution spatiale" pour le stellaire
 - surface / environnement des étoiles proches (supergéantes)
 - physique stellaire dans l'Univers local (populations, effets de métallicité - $1/50$ à $2 Z_{\odot}$)
- **Gaia** et le diagramme HR: paramètres fondamentaux / déterminations automatiques
- **Librairies spectrales** (NARVAL/PolarBase - SOPHIE - X-Shooter - ESO/Gaia - POLLUX...)
 - interaction et extension
 - détermination automatique de paramètres stellaires (e.g. AMBRE - Gaia)
- Propriétés des systèmes **binaires** (suivi observationnel - T2M:SOPHIE/SPIP, interférométrie)
- **Perte de masse** à travers le diagramme HR: physique et prescriptions pour les modèles d'évolution (UVMag, interférométrie, imagerie IR haute résolution E-ELT, Spirou, ALMA, NOEMA)
- Recherche et caractérisation des **naines brunes** à la limite du domaine planétaire (interface avec le PNP - Spirou/PLATO...)