LE MAGNETISME

DES GEANTES/SUPERGEANTES ROUGES

Michel Aurière
IRAP/Observatoire Midi Pyrénées

BILAN 2011-2014 DES PROGRAMMES :

(SPECTROPOLARIMETRIE avec Narval/ESPaDOnS)

Magnétisme des géantes rouges de masses intermédiaires

Collaboration Franco-Bulgare-Canadienne :

M. Aurière (+ IRAP, ...) R. Konstantinova-Antova (+BAS)

G. Wade (+RMC)

~ 30 nuits de 8h Narval (PNPS + 3n OPTICON)

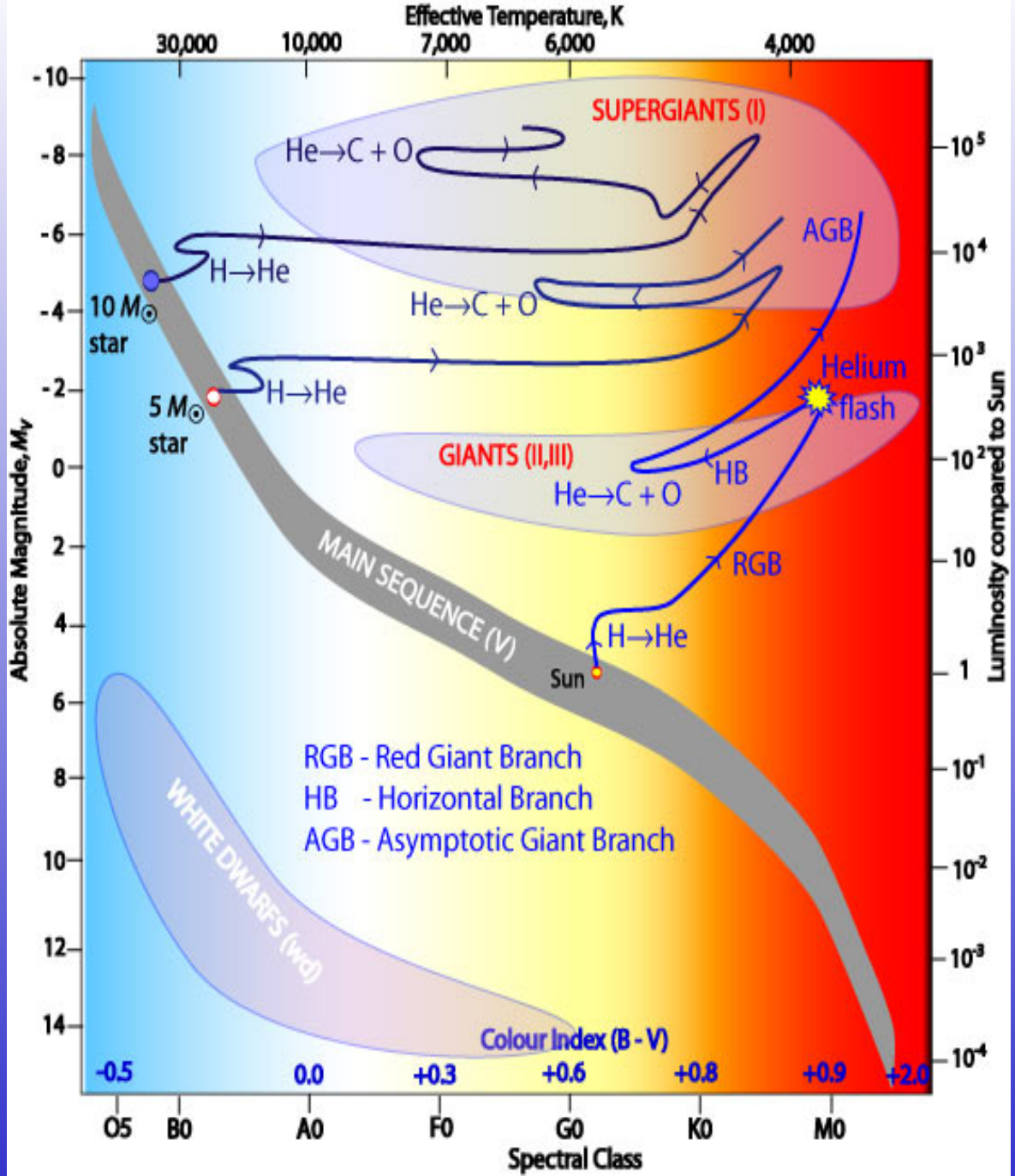
+ qques heures snapshot CFHT 8 Publications de rang A

Magnétisme des étoiles froides évoluées : recherche du champ magnétique dans les étoiles variables pulsantes Miras

A. Lèbre, N. Fabas (PhD 2011), D. Gillet, M. Aurière, P.Petit,

F. Herpin, A. Chiavassa, F. Millour

Evolutionary Tracks off the Main Sequence



ETOILES EVOLUEES FROIDES

EVOLUTION -> Différent types de champs magnétiques :

- **Début d'évolution :** Rotation + convection :
  dynamo type solaire

- **Descendantes d'étoiles Ap :** Champ fossile + convection :
  magneto-convection

- **Fin d'évolution :** rotation ~nulle + convection :
  -> dynamo locale (AGB , Supergéantes froides).

- **Cas des Miras :** amplification par l'onde de choc ?

LES PREMIERES QUESTIONS : GEANTES G K M

- Nature de l'activité ? : Magnétique !

- Distribution du magnétisme dans le diagramme HR ? :

  * 1er couloir magnétique

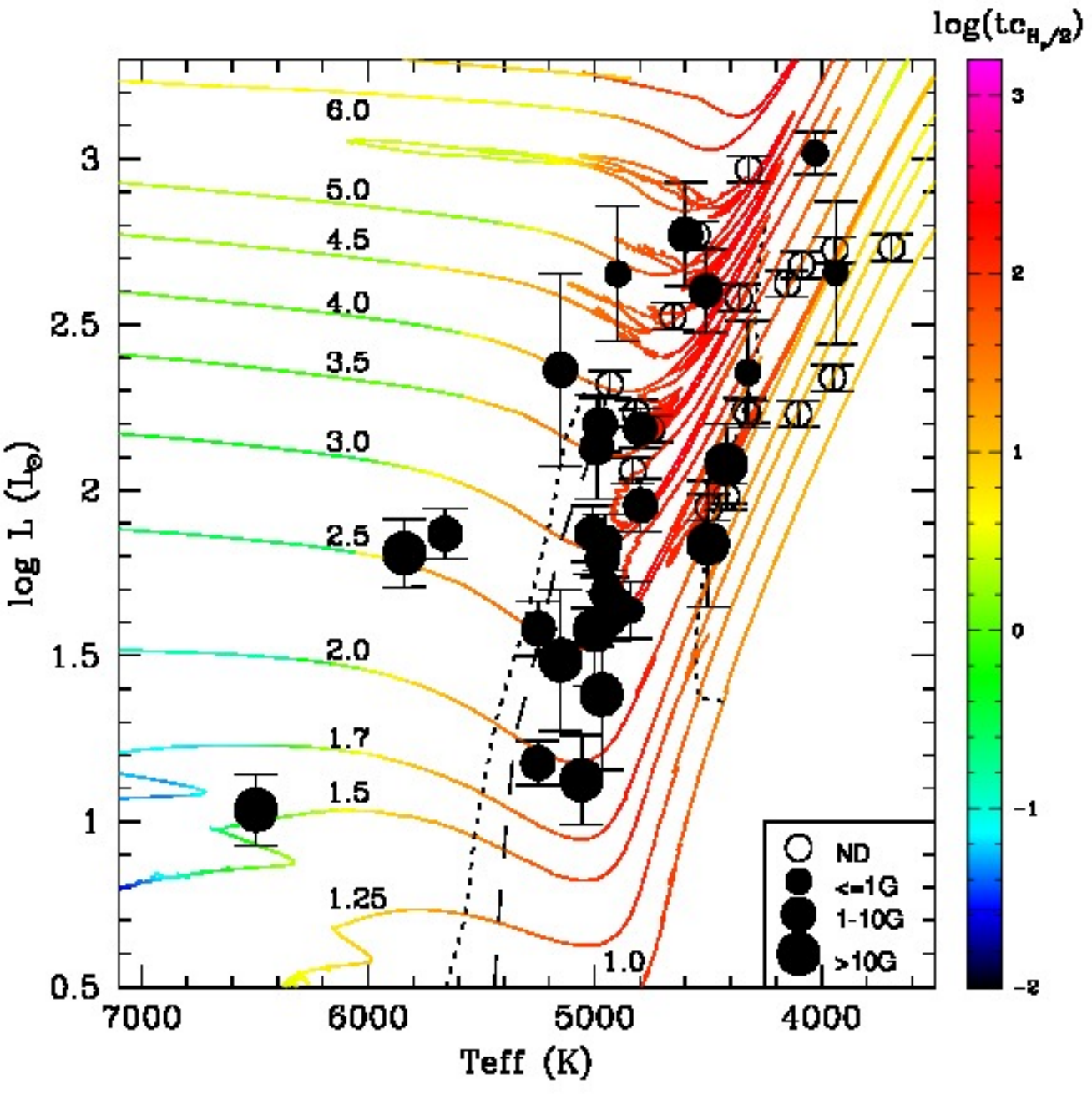
- Nature du magnétisme : Relation B / Prot

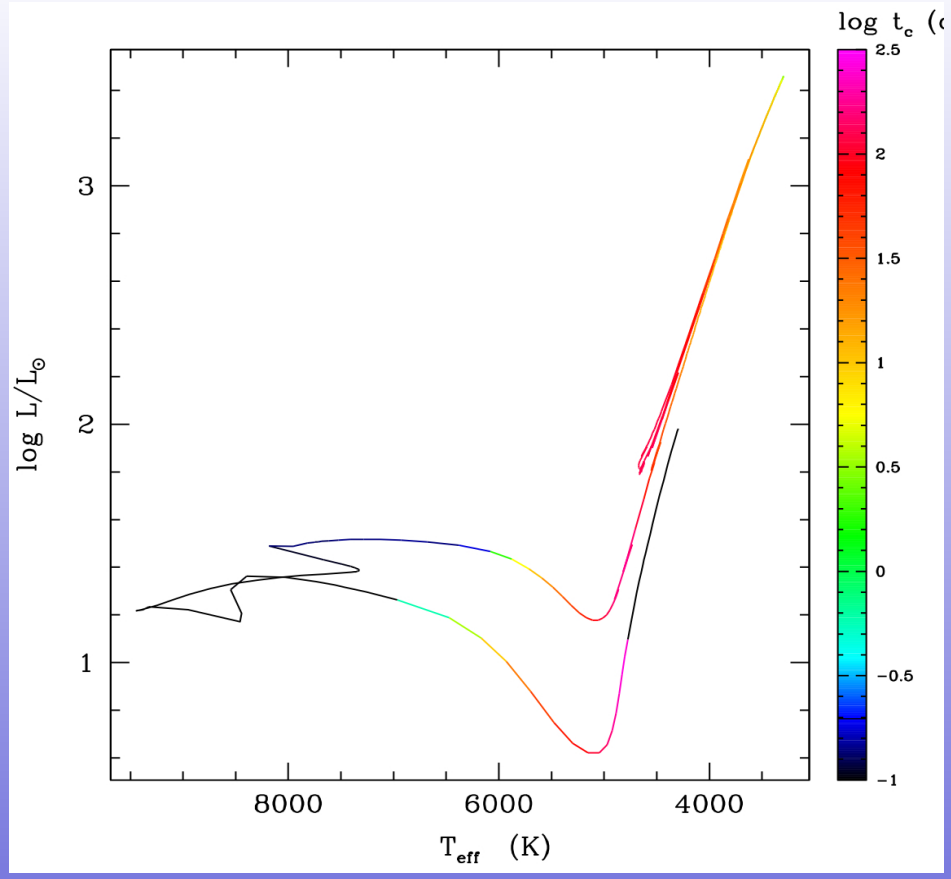
- Evolution des étoiles Ap ? : des critères pour les descendantes d' * Ap

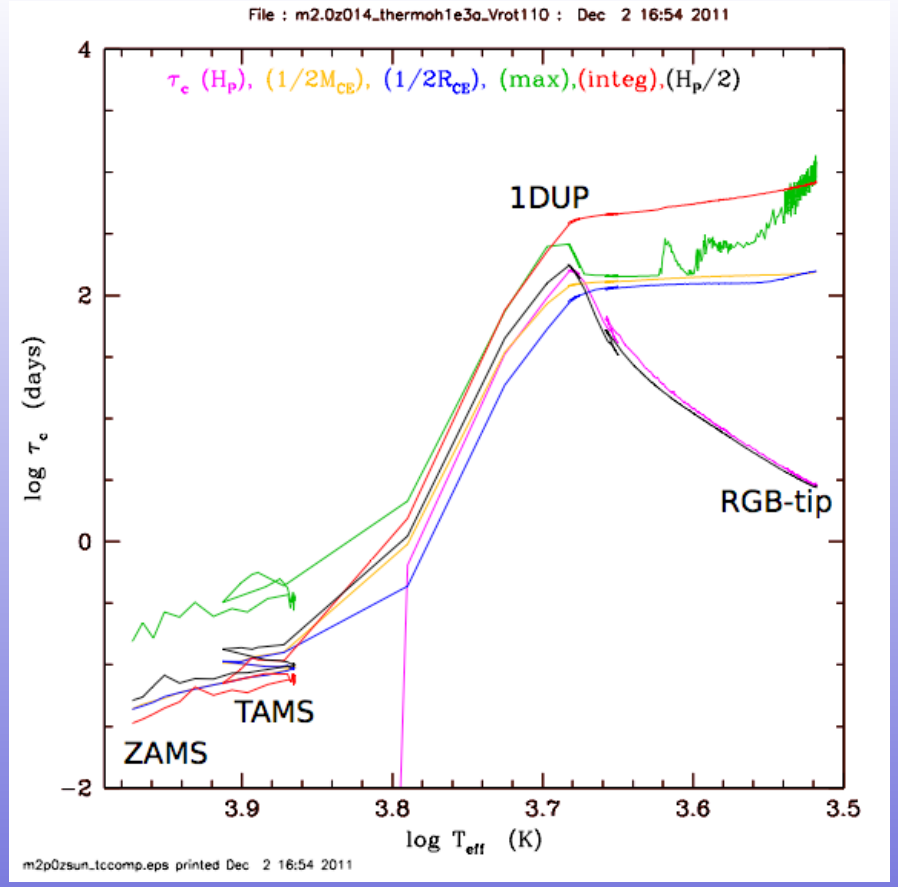
Observation/Detection of 24 Giants with activity signatures and of 6 bright giants

The most active Magnetic Giants are concentrated in a « magnetic strip » corresponding to the 1st Dredge Up (between the dotted lines) and the Core He burning phases

Tracks are from the Evolutionary models with rotation of Charbonnel et al. in preparation.





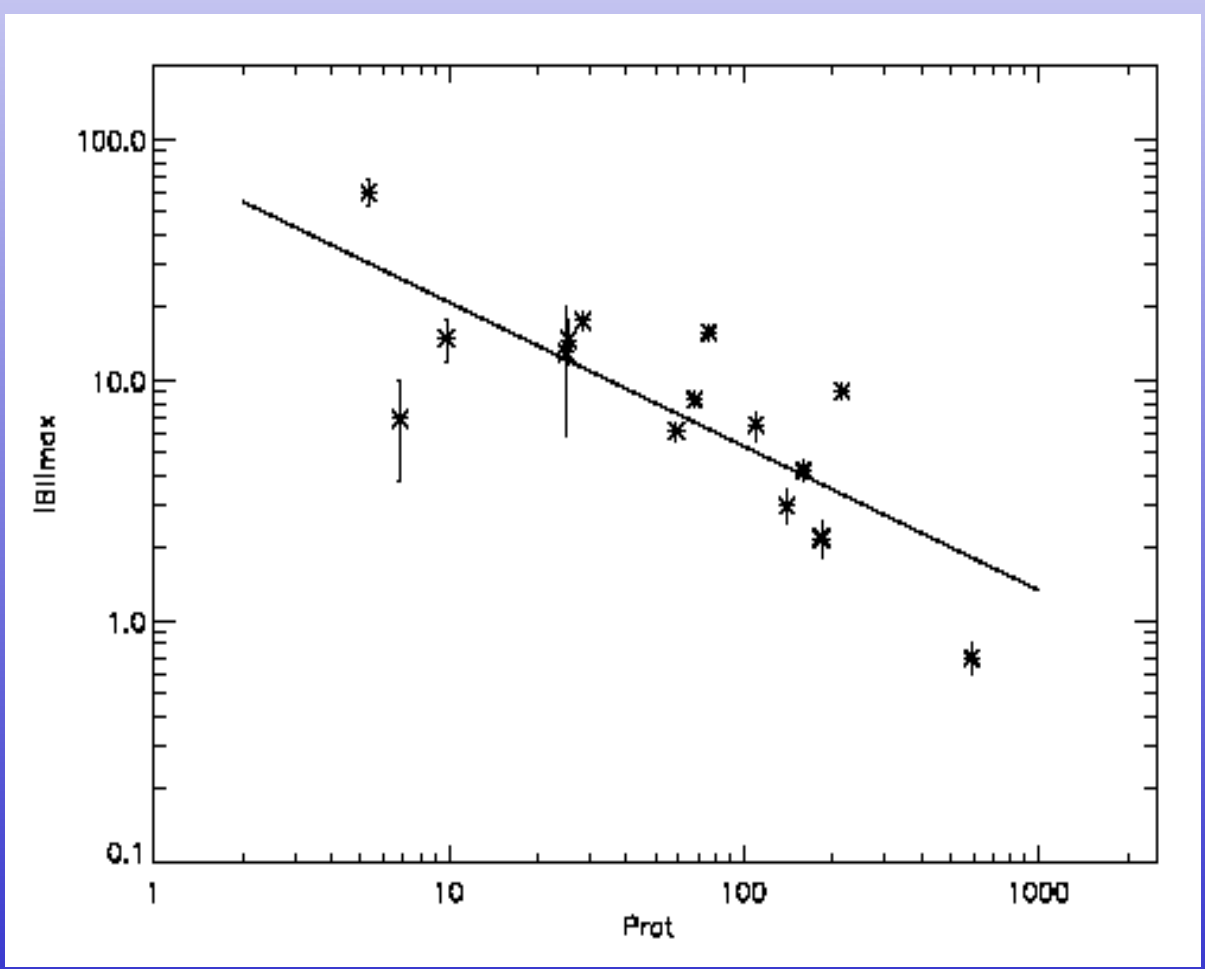


$$t(conv) = \alpha \frac{Hp}{v(conv)}$$

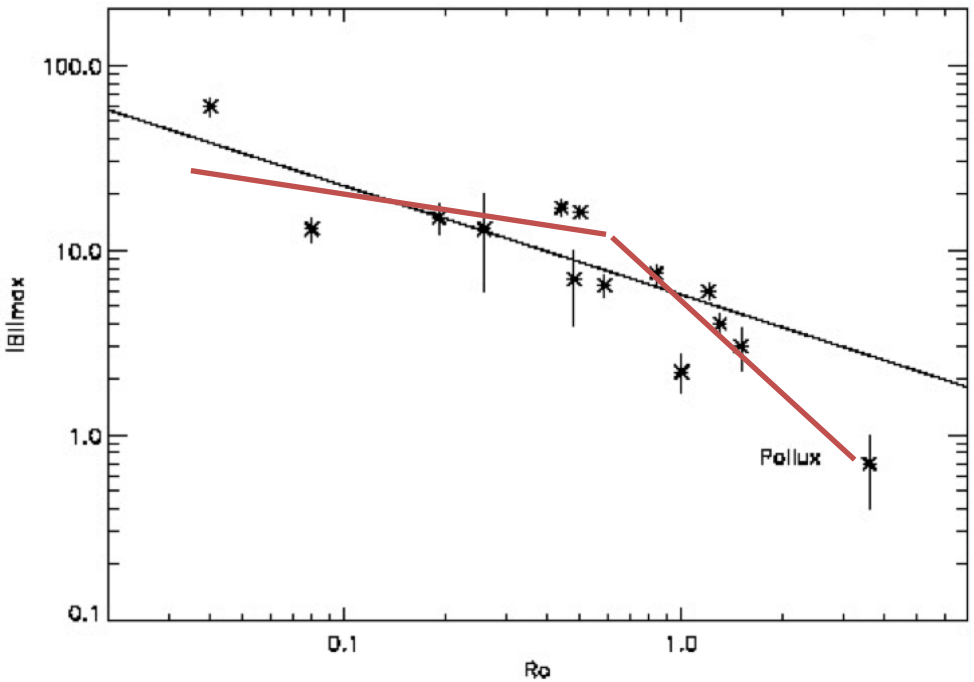
(local, at a distance of Hp/2 from the base of the CE)

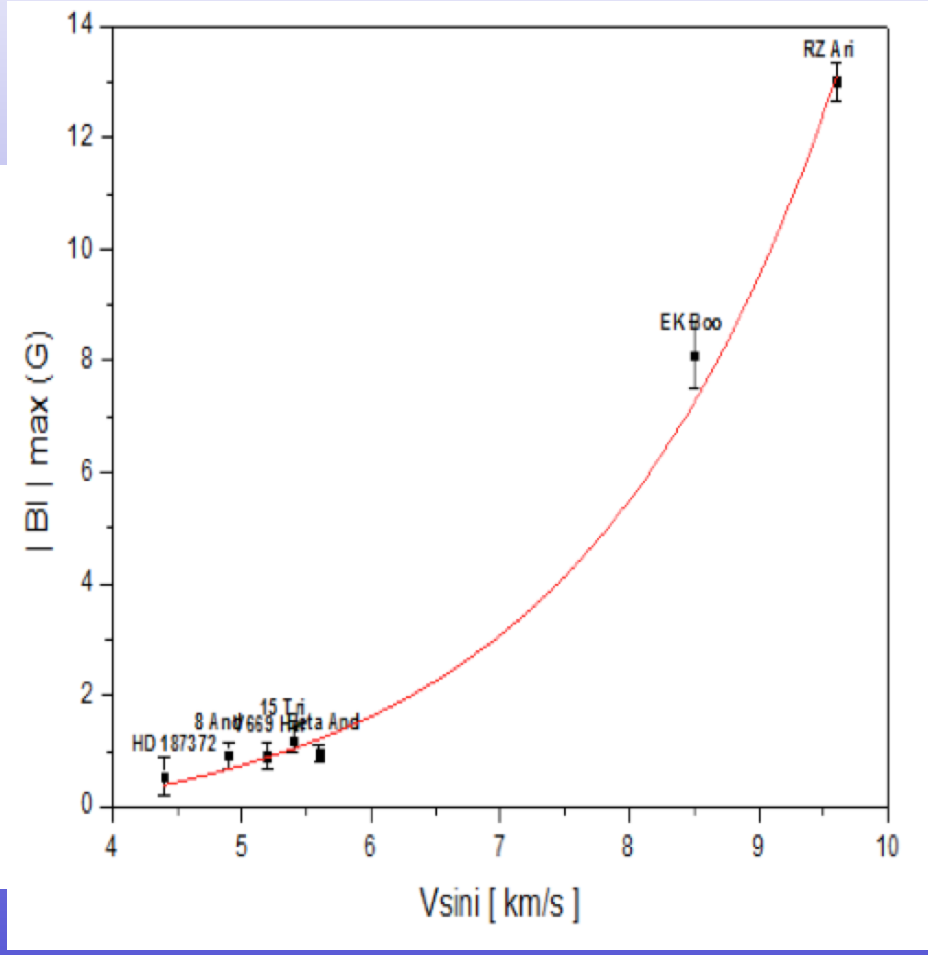
New generation stellar models
Charbonnel, Decressin, Lagarde, Aurière, Konstantinova-Antova , Dintrans (in preparation)

Magnetic Field versus Rotation for 17 active single G-K Giants



Preliminary trends with rotation



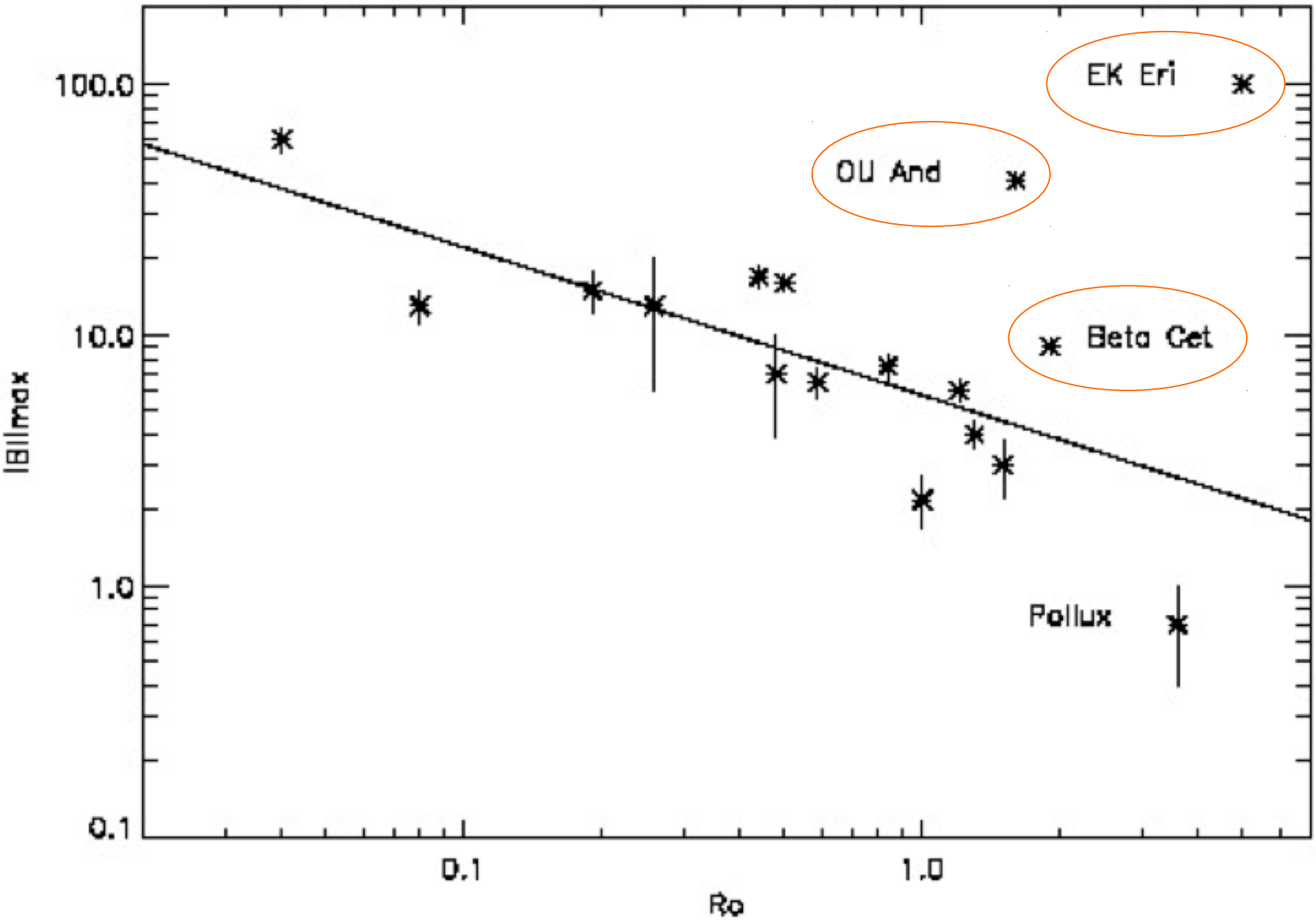


G-K giants

Rossby = Prot/ tau_conv

M giants : Konstantinova+ 2013

Ap star descendant Candidates



Candidates Descendantes d'Etoiles Ap : Critères

- B fort pour rotation ou statut évolutif
- Déviation de la relation B / S-index
- Topologie magnétique simple (dipole incliné)
- Stabilité à long terme des variations périodiques (B,VR, activité)

4 Candidates

14 Ceti (Hertzsprung Gap, 1.5 M_sun)

OU And (Hertzsprung Gap, 2.5 M_sun)

EK Eri (Base RGB, 2 M_sun)

Beta Ceti (He burning, 3.5 M_sun)

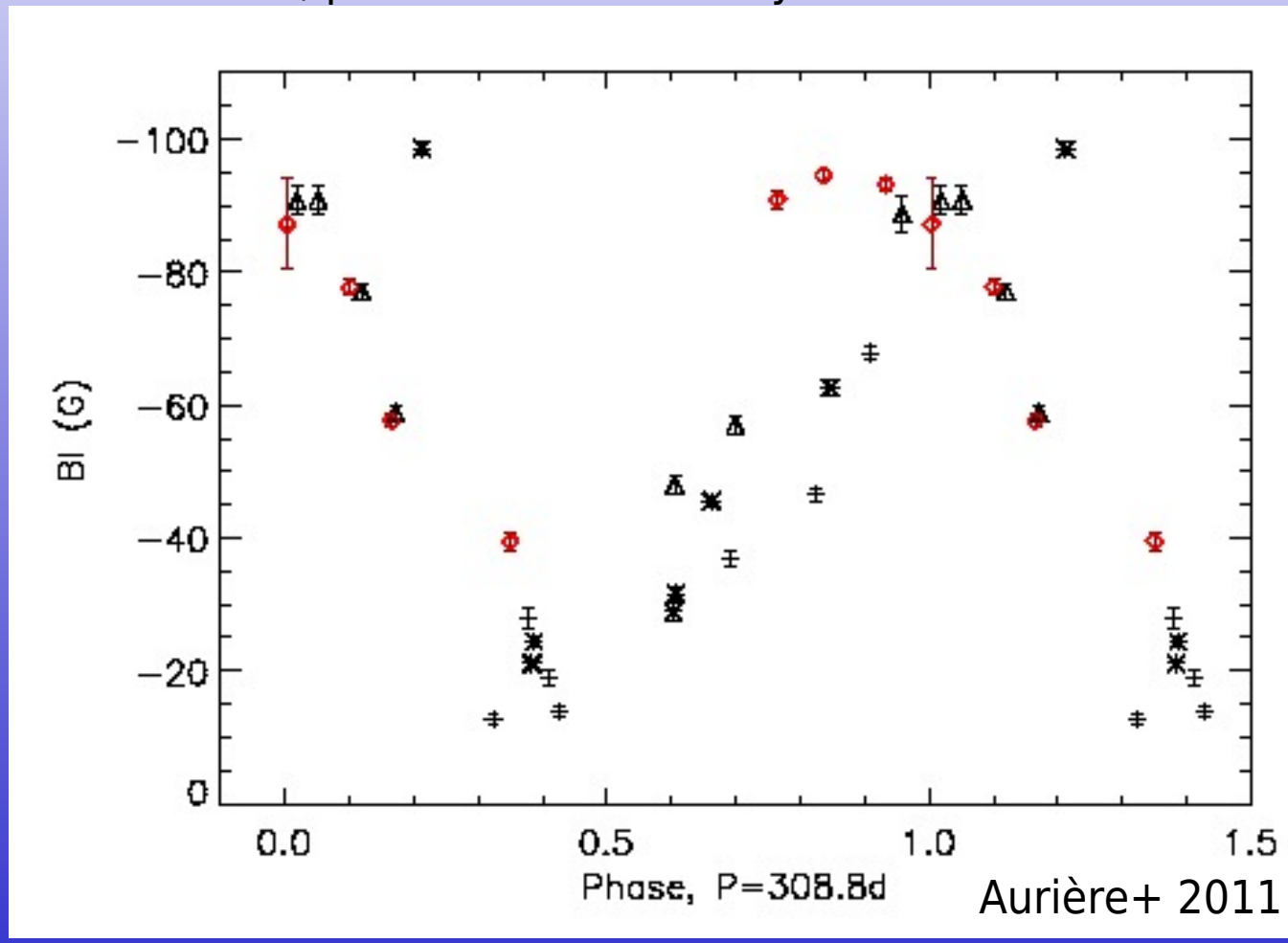
Cool descendants of Ap stars

EK Eridani :

- G8 III-IV
- Very active in X-rays (~10^30 ergs/s),
- CaII H&K in emission, photometric variability...
- But slow rotator!!

Prot = 308.8 d

- Suspected Ap-star Descendant (Stepien 1993)

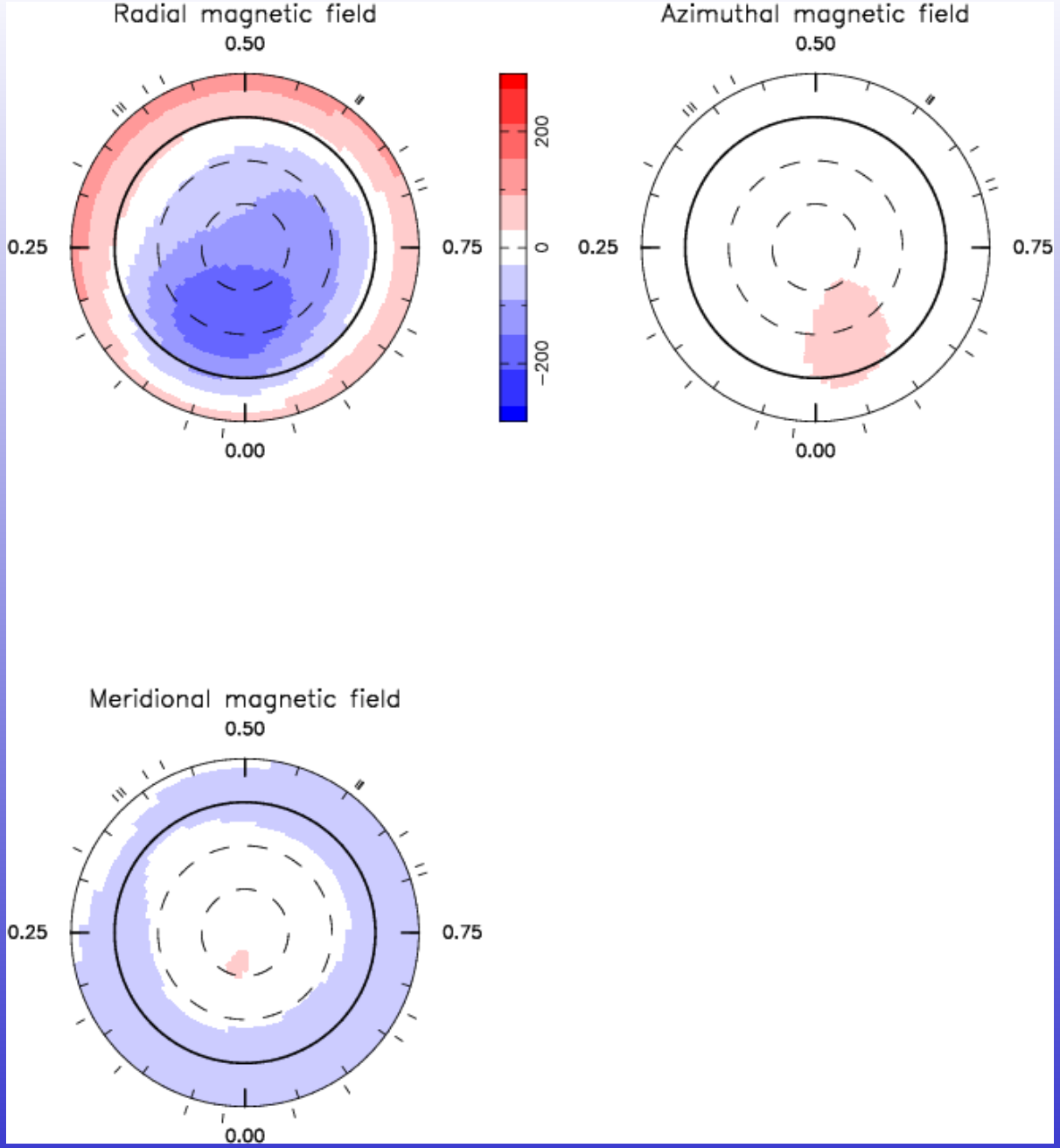


Aurière+ 2011

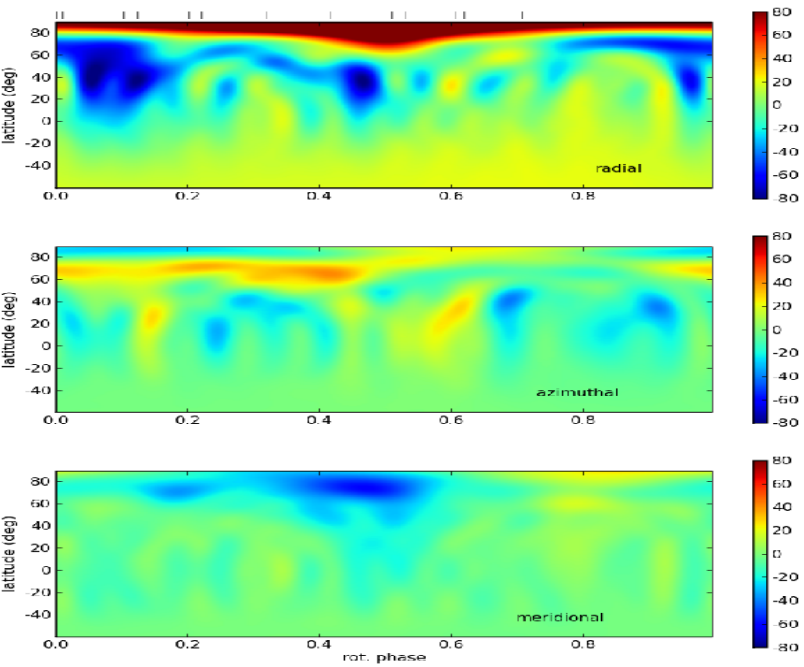
EK ERI

ZDI MAP

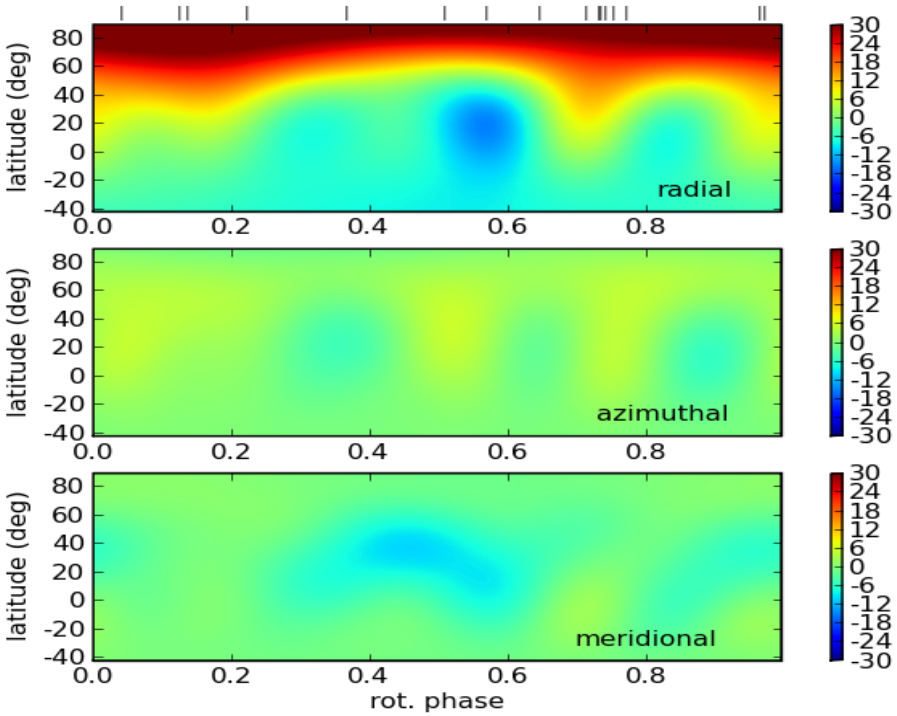
A Dominant Magnetic Dipole



V390 AUR
Fast Rotator
Toroidal Component



BETA CETI
Ap Star Descendant Candidate
Dominant Magnetic Dipole



Prot = 9.8 d

Konstantinova-Antova + 2012

Prot = 215 d

Tsvetkova+ 2013

AUTRES QUESTIONS : ENSEMBLE DES GEANTES G K M (échantillon non biaisé vers le magnétisme)

- Découverte d'une population de géantes rouges magnétiques au niveau Bl < 1 G (archetype = Pollux)

- Distribution du magnétisme dans le diagramme HR ? :

  * Des géantes magnétiques partout dans le HRD
  * 2eme couloir magnétique
  * ~ 50% des géantes rouges sont magnétiques (détectées par notre étude Zeeman) au niveau de Pollux/Soleil ? (à confirmer!)

RESULTATS KEPLER EXPLIQUANT NOS OBSERVATIONS ?

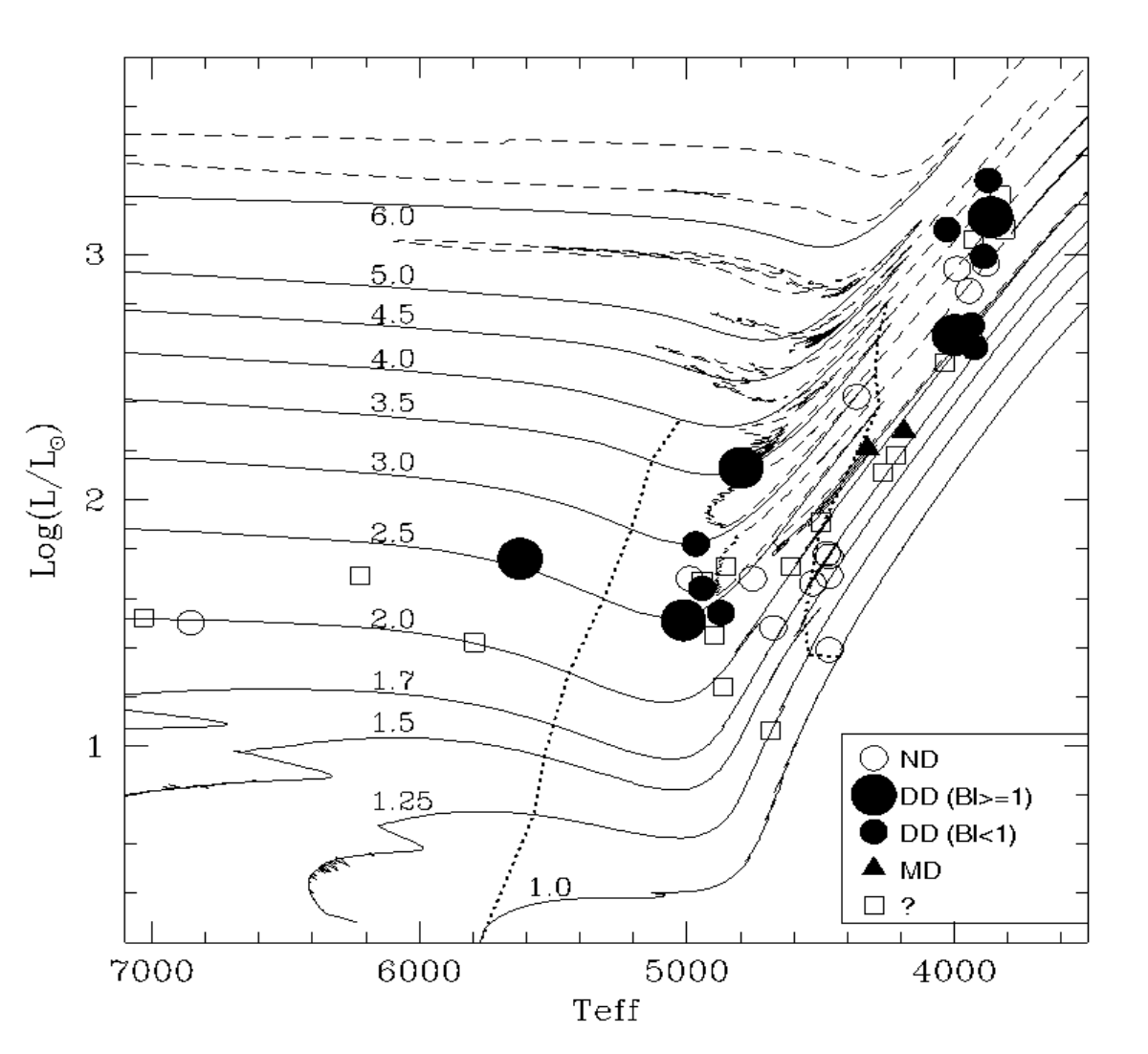
(e.g. Mosser et al . 2012 A&A 548, A10 ; échantillon de 300 géantes)

Ralentissement de la rotation du noyau au cours de l'évolution :

  * transfert de moment cinétique noyau -> enveloppe
  * apparition de rotation différentielle

Situation of the sample stars on the H-R diagram. The evolutionary models by Charbonnel&Lagarde (2010) are used.

40
Red
Giants
(V<4)



PROSPECTIVE : Géantes magnétiques :

- Etude spectropolarimétrique d'étoiles à paramètres sismiques :
  (Influence des champs forts sur la structure interne?)
  * Rotateurs rapides
  * Descendantes d'étoiles Ap

- Recherche de cycles magnétiques

- Champs faibles : impact de l'activité sur la détection de planètes ?

- Simulation numérique des convection, rotation, magnétisme des géantes rouges (e. g. Pollux : Palacios & Brun 2014)

Nouveaux moyens instrumentaux

SPIRou (SPIP?)

NeoNarval

BRITE

Etoiles Miras et Supergéantes rouges

Contexte général pour ces objets évolués :

- Forte perte de masse ----> enveloppe circum-stellaire (ECS)

Perte de masse et ECS suggèrent du magnétisme :

* Détection magnétisme dans ECS (Vlemmings 2011, Herpin et al. 2006)

* Morphologie ECS : bipolarité ou micro-structures des PNe (Huggins 2005)

* Hypothèse : la perte de masse pourrait être initiée par les ondes d'Alfvén

- Faible rotation en surface ----> magnétisme du à une dynamo locale ?

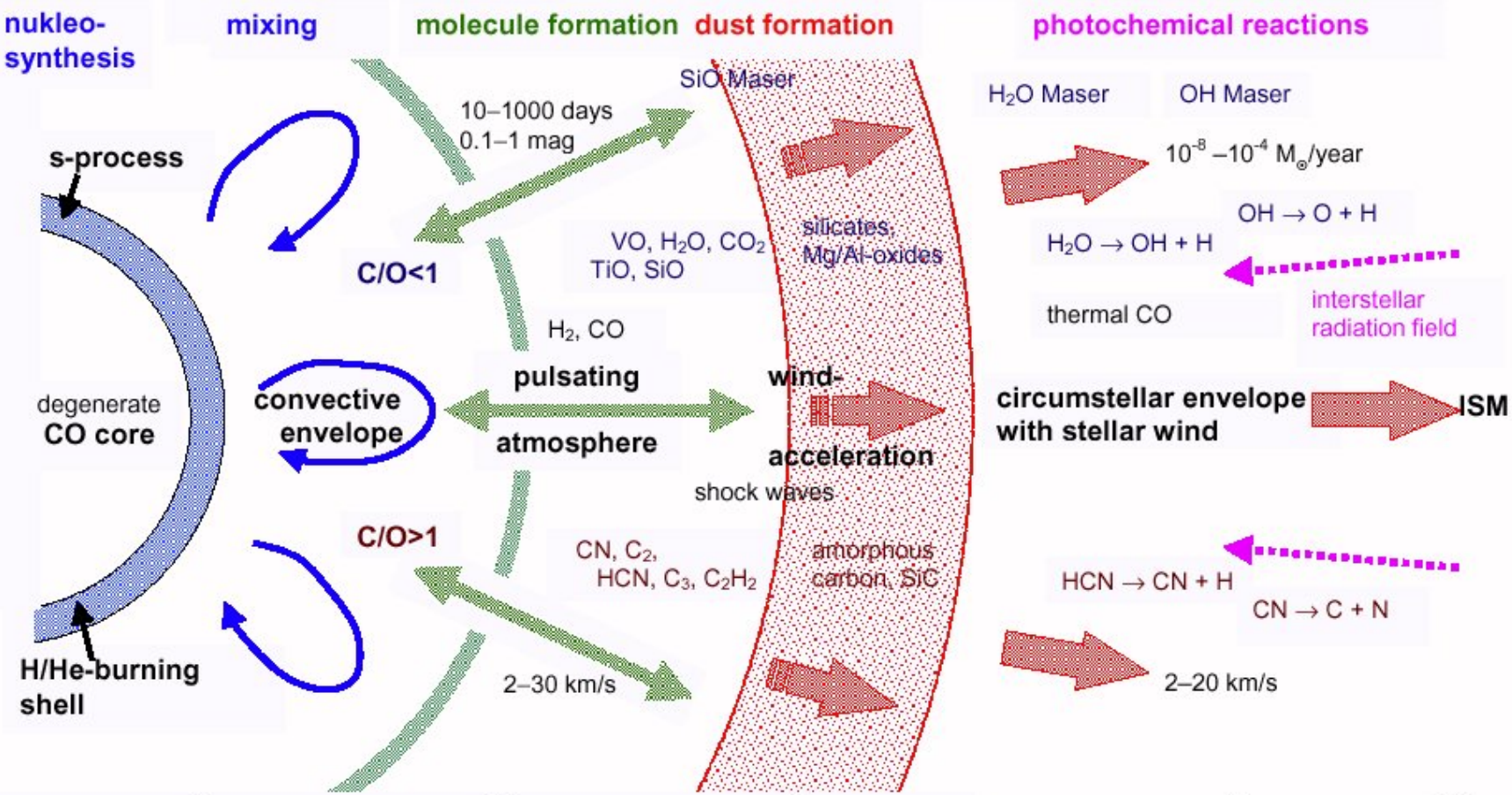
Présence de mouvements convectifs et supersoniques :

* pouvant générer des champs magnétiques locaux ou transitoires (Dorch 2004)

* pouvant générer aussi des asymétries (Schwarzschild, 1975)

* Etoiles M : leurs spectres sont pollués par un grand nombre de signatures moléculaires

Schematic view of an AGB star



r [cm]	10^8	10^{13}	10^{14}	10^{16}	10^{18}
T [K]	10^8	3000	1000	100	20
n [cm^{-3}]	10^{30}	10^{13}	10^{6-9}	10^{2-5}	0.1-10

$1R_{sun} \sim 7 \cdot 10^{10}$, $1AU \sim 1.5 \cdot 10^{13}$, $1pc \sim 3 \cdot 10^{18}$cm

J. Hron, Inst. for Astronomy, Univ. of Vienna

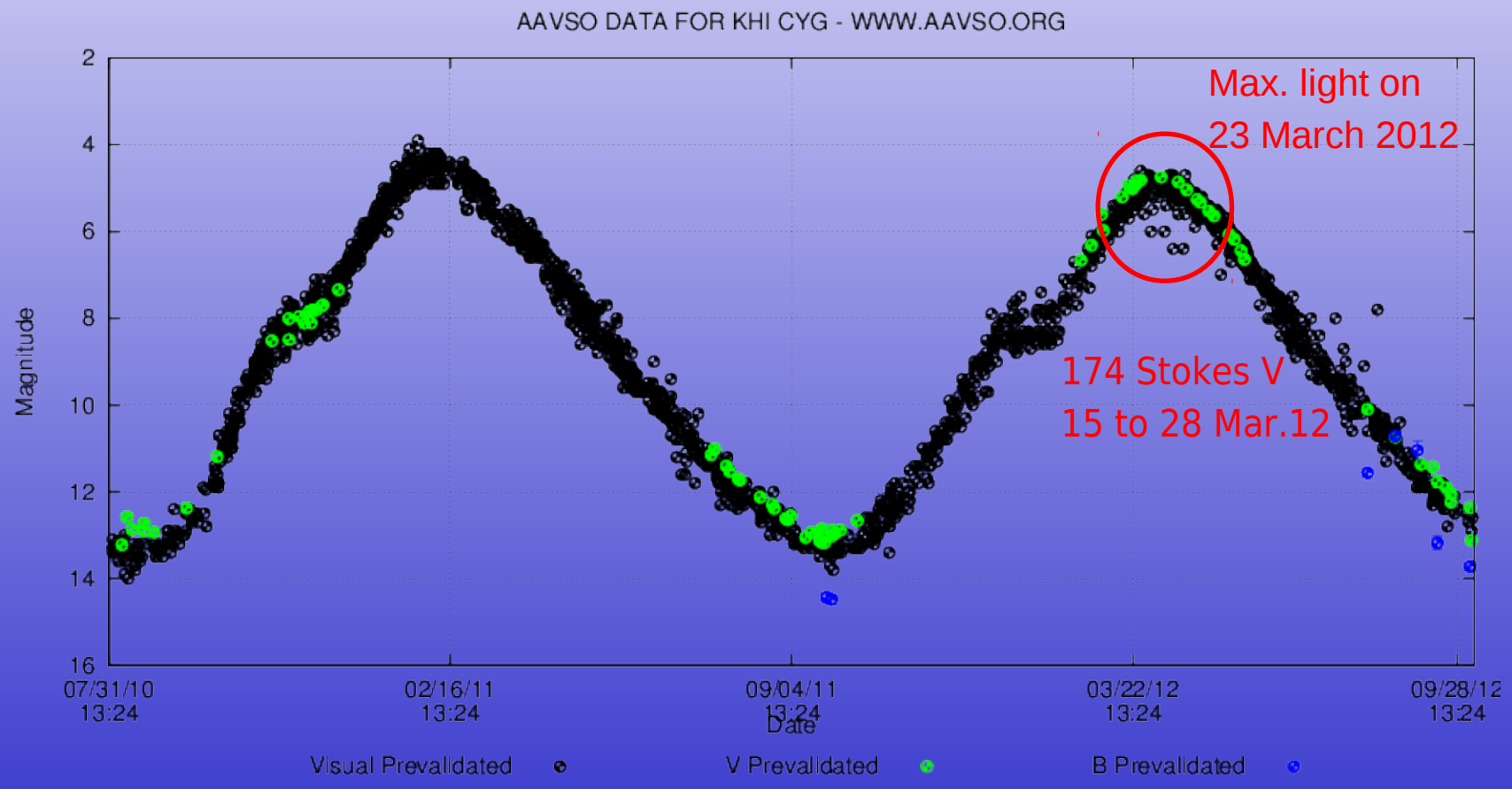
The Mira star χ CYG : Pulsating period ~ 400 days ; M = 2 M_sun

Spectral type : from S6 to S10 (presence of ZrO bands)

A magnetic field has already been detected in the inner part of its CSE :

Mean value of the magnetic field along the line of sight : **B// = 0 - 8.8 G at 5-10 a.u.**

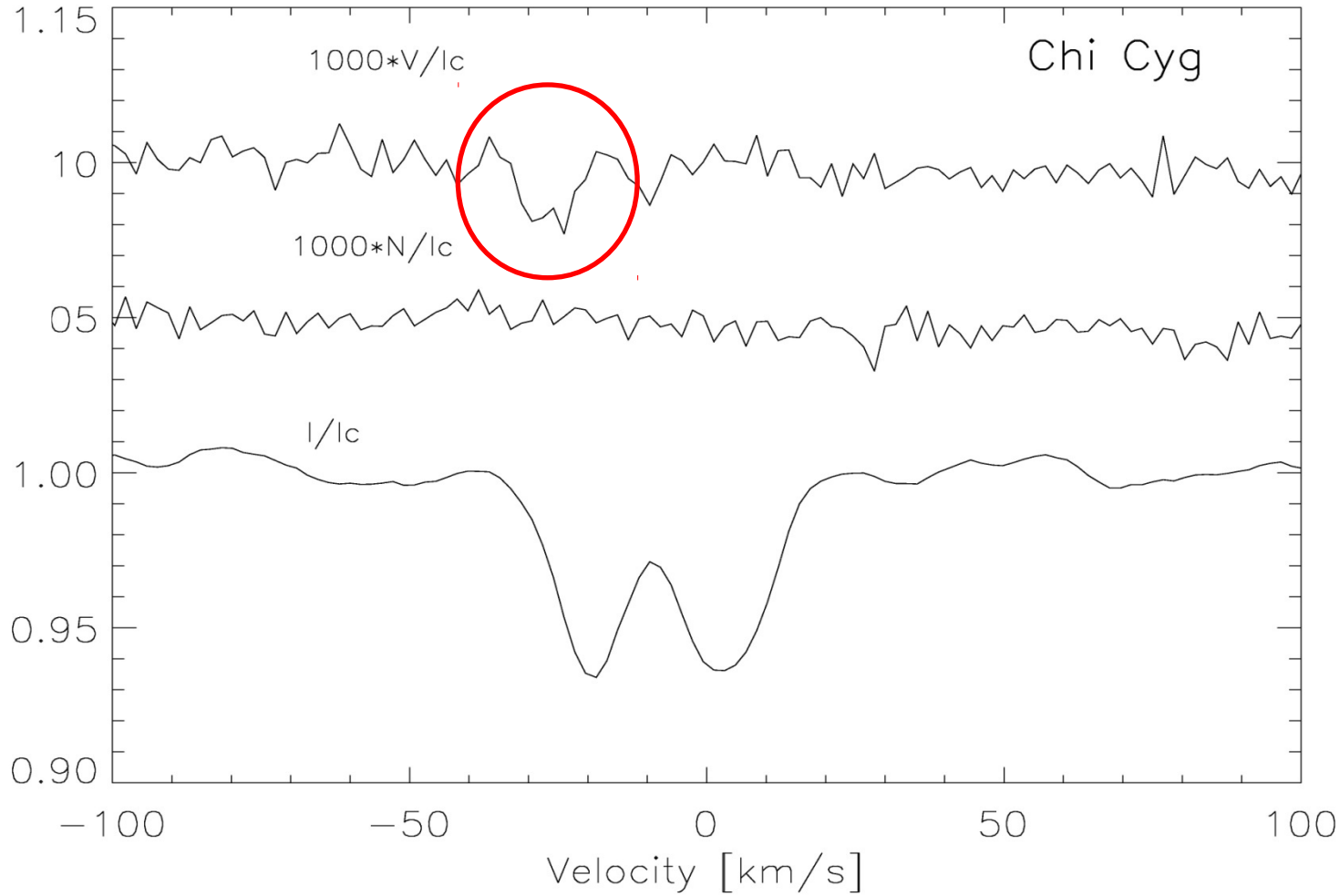
(from SiO maser and Elitzur's theory, Herpin+ 2006)



LSD analysis

174 V sequences

LSD Zeeman Signature



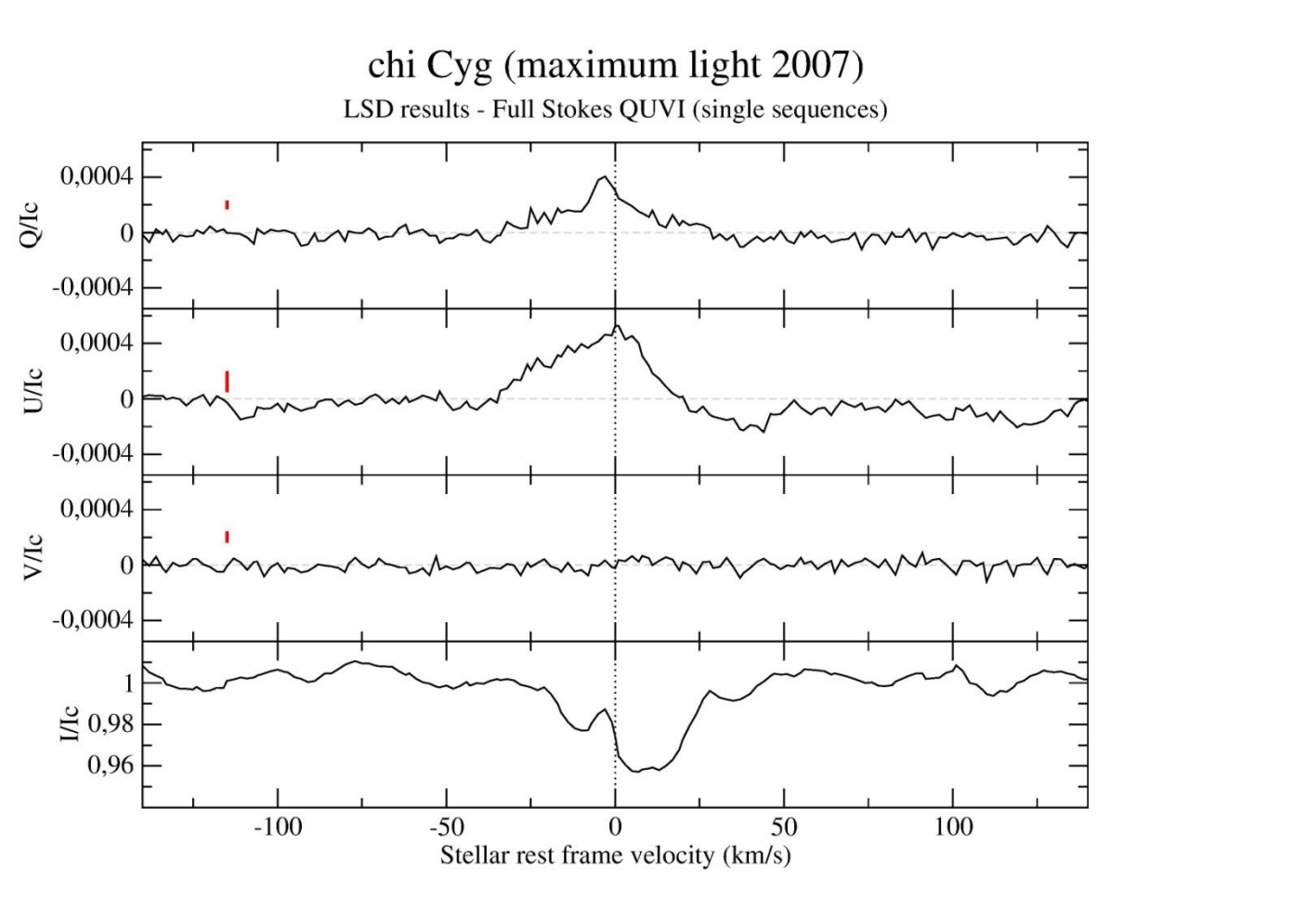
The result is (for the complete profile) :

Bl= -0.25 ± 0.40 G, ***Definite Detection*** (chi2=1.81 , fap=5.2 10-10)

Lèbre et al. 2014 (see also press release 2014 january 7)

X Cyg :

Linear polarization (Stokes U & Q) around the maximum light of 2007



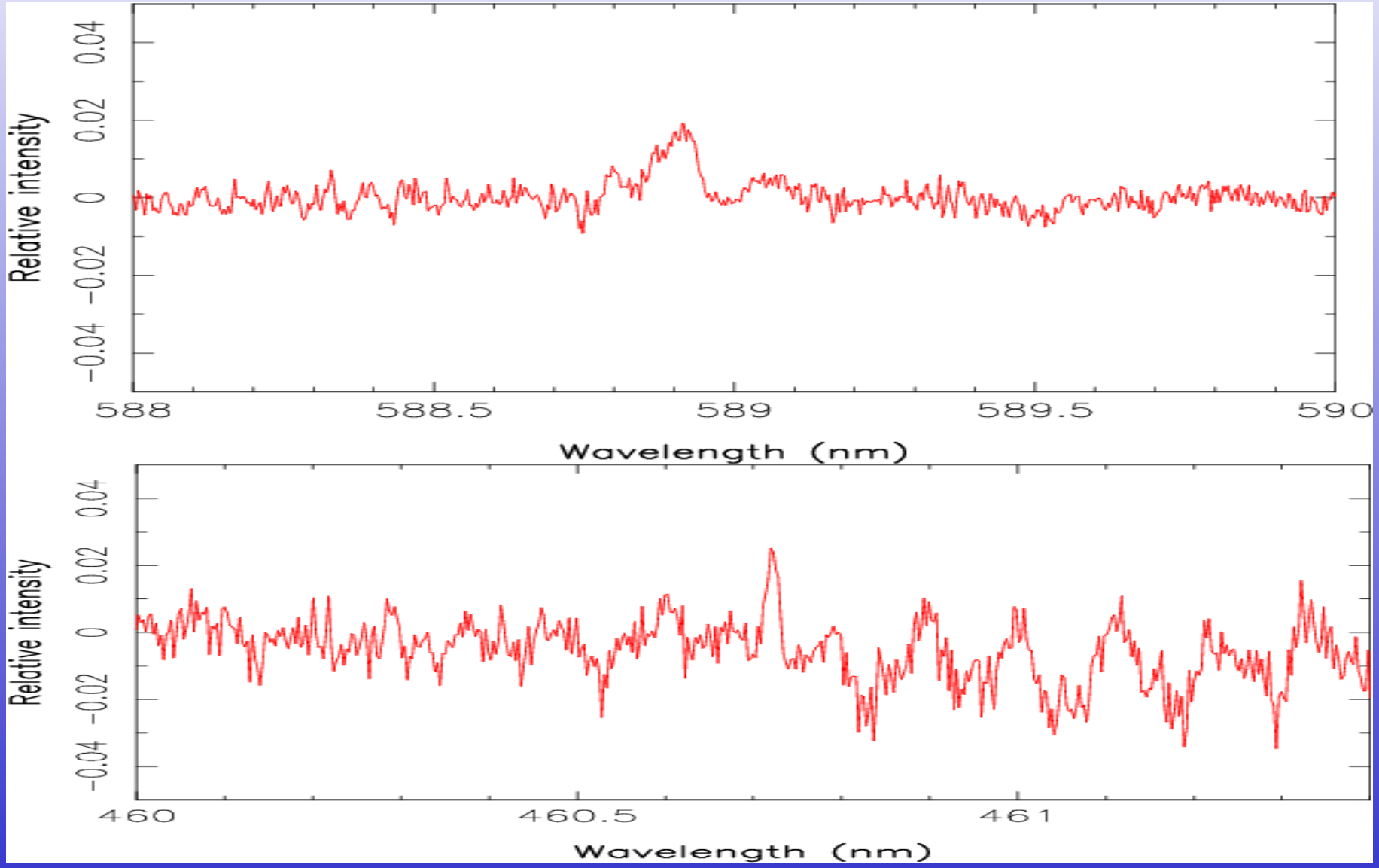
→ **The shock favours a direction, inducing a net linear polarization.**

In agreement with Fabas, Lèbre, Gillet 2011

→ **Departure from spherical symmetry at the photospheric level.**

also seen from interferometric data (Ragland et al. 2006)

RAIES DE RESONNANCE DE NaI (588.9 nm) et SrI (460.7 nm) OBSERVEES EN Stokes U DANS CHI CYG LE 04 SEPTEMBRE 2007 (Narval)



Betelgeuse : basic facts

Cool supergiant star

- Teff = 3600 K
- R = 600 - 800 R_{sun} , e.g. Perrin et al. 2004

  (first stellar diameter ever measured,
  Michelson & Pease 1921)

- M ~ 15 M_{sun}
- P_{rot} ~ 17 yr

(from space-resolved UV Doppler shifts)

Convection and magnetic field in Betelgeuse

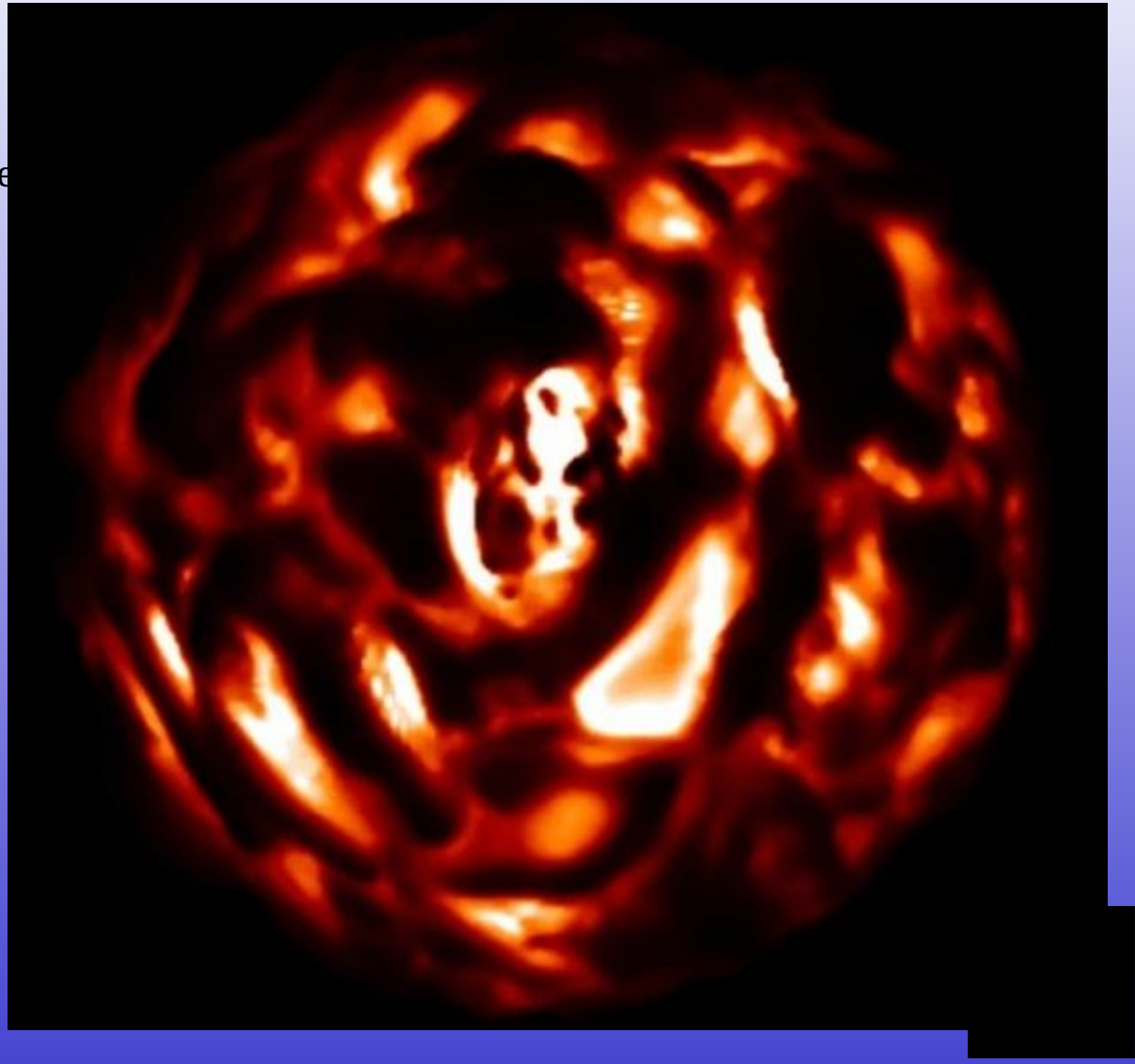
Giant convection cells

(a few tens of cells on visible hemisphe
vs ~ 10^6 cells on solar hemisphere)

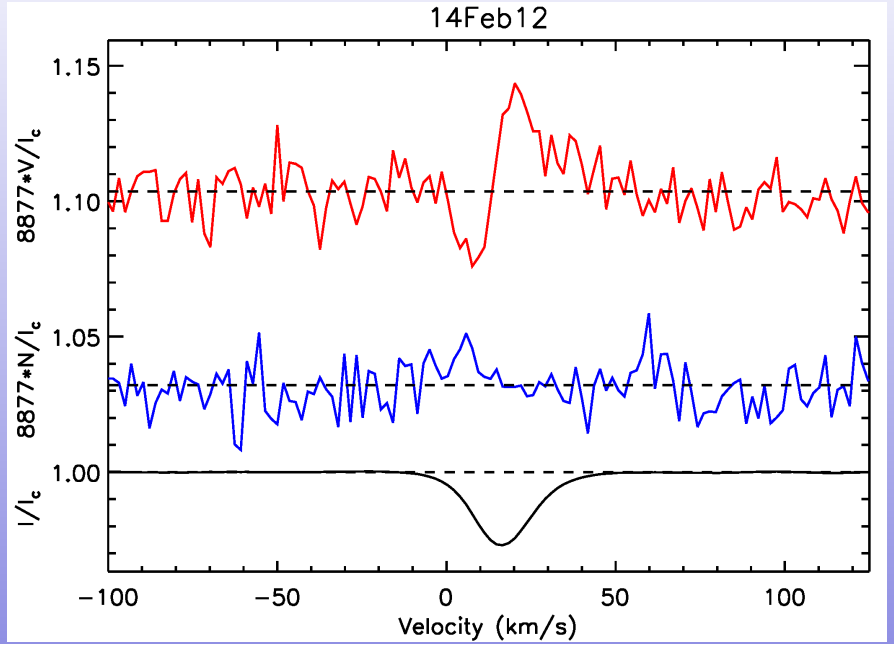
- largest cells seen in nIR, lifetime ~ years
- smaller cells in visible, lifetime ~ weeks
  (e.g. Schwarzshild 1975, Chiavassa et al. 2010, 2011)

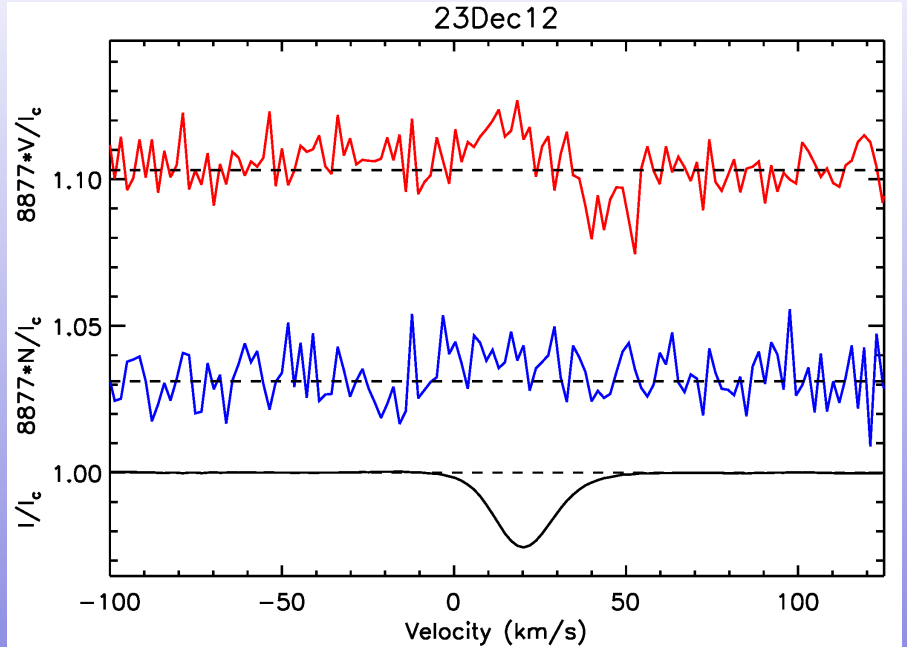
Detection of magnetic field (Aurière+ 2010) then follow up (Bedecarrax + 2013).

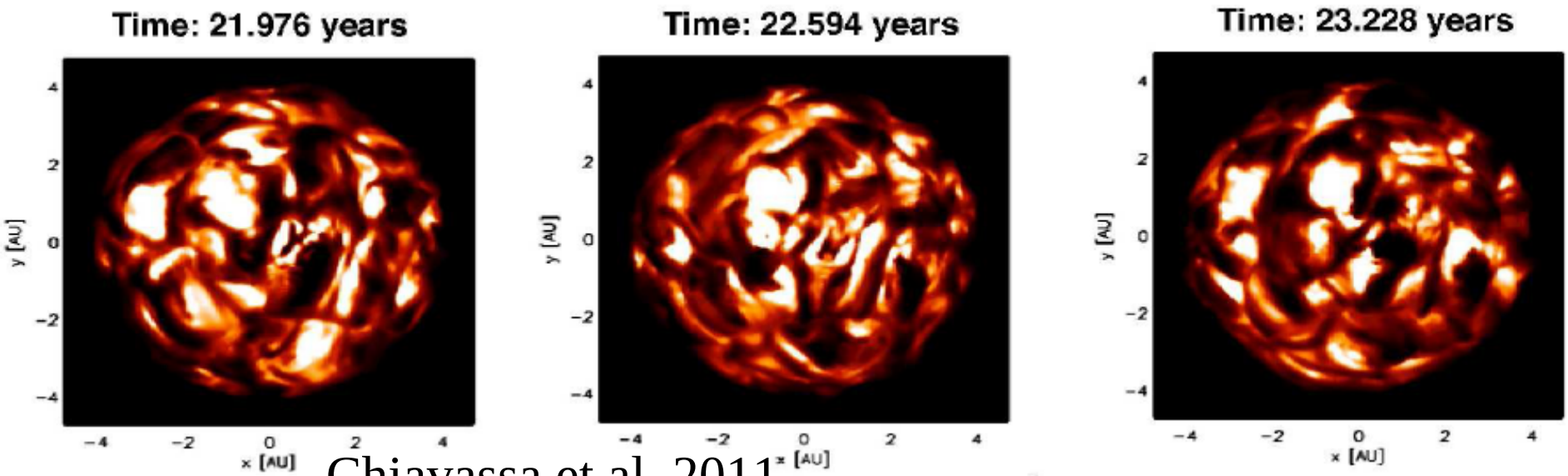
Obsevations with PIONNER (H band) P. Kervella, G. Perrin et al.)



Variations at the surface of Betelgeuse

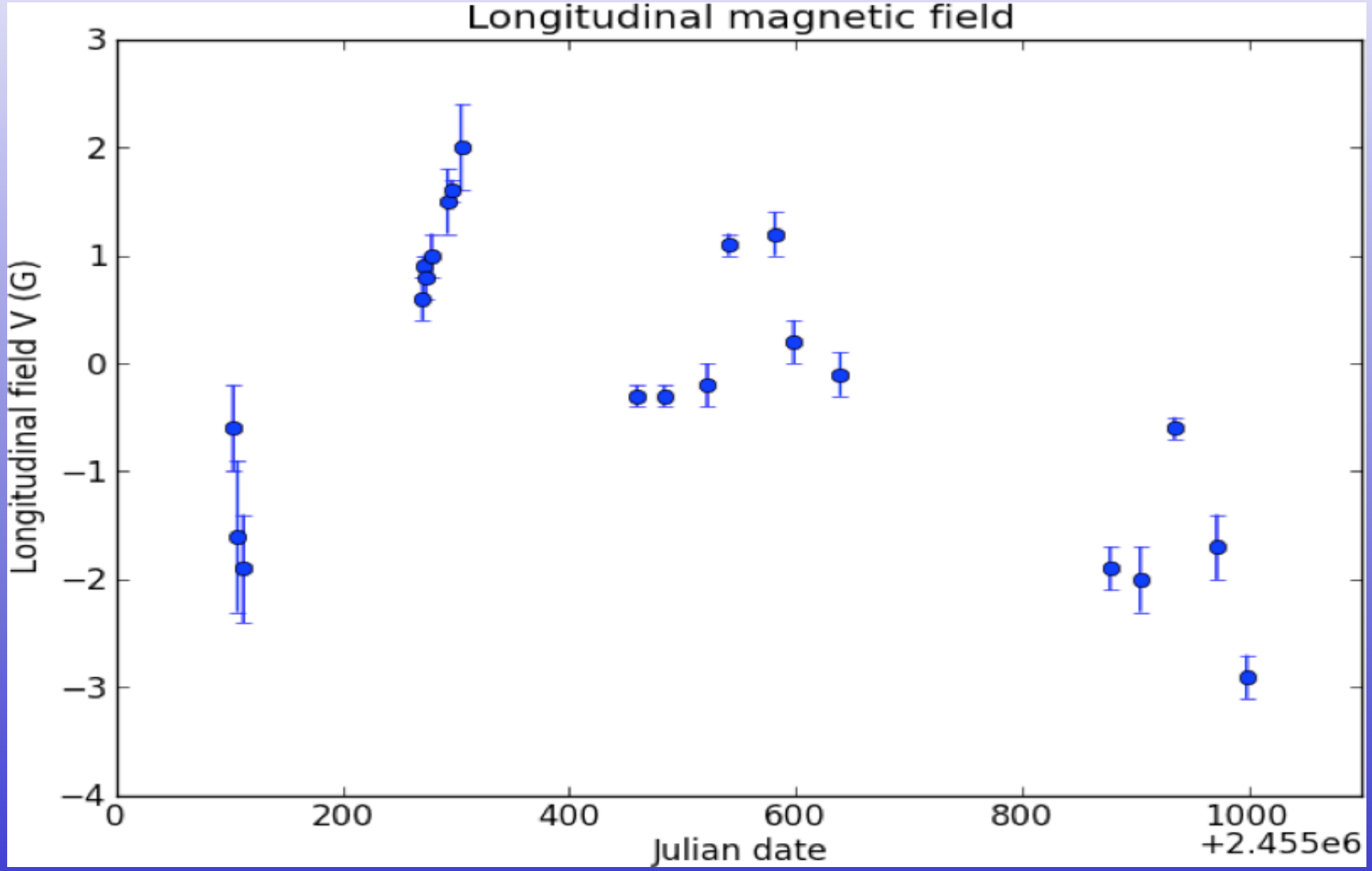






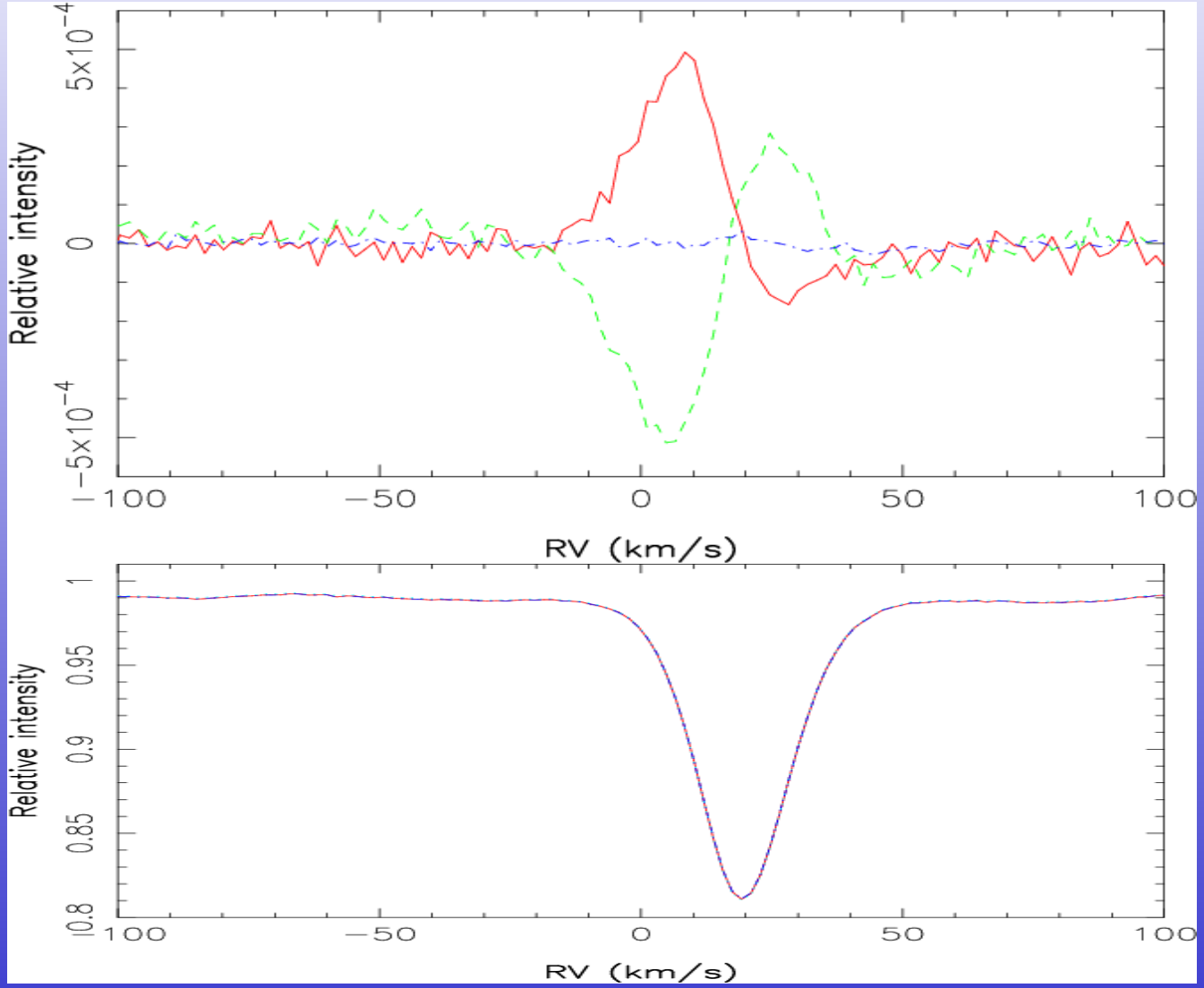
Chiavassa et al. 2011

VARIATIONS OF THE MAGNETIC FIELD OF BETELGEUSE in 2009-2012 (Bedecarrax et al. 2013)



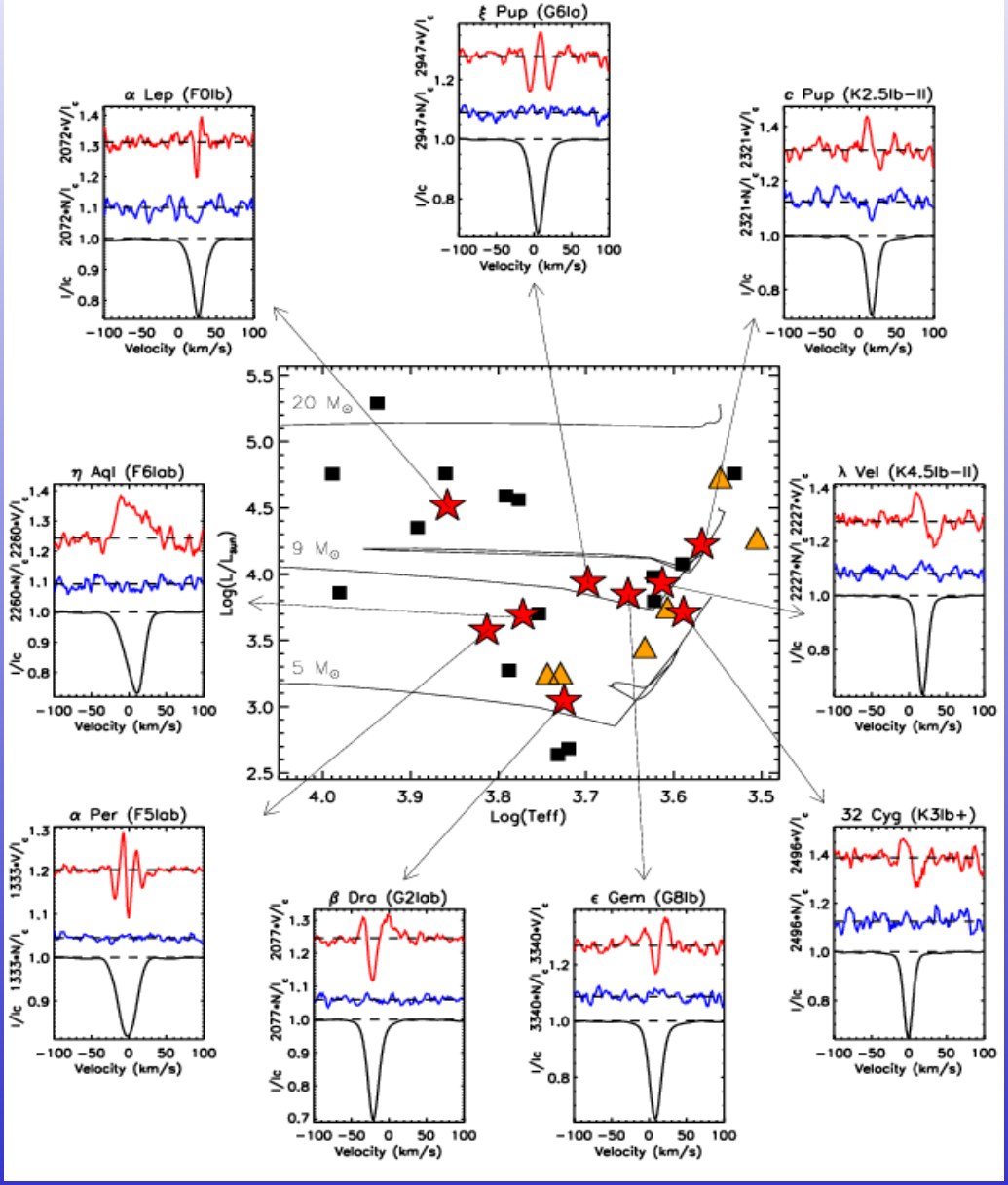
PROFILS LSD DE BETELGEUSE

En Stokes QUVI le 27 novembre 2013 (Narval)



SUPERGIANTS : ARE THEY ALL MAGNETIC?

(Grunhut et al. 2010)



PROSPECTIVE : Etoiles Miras et Supergéantes

SPIRou (CFHT):

Ouverture vers l'IR. Développement en amont d'outils et données spécifiques (masques/listes de raies moléculaires et facteurs de Landé associés)

ALMA – Mode polarisation :

Magnétisme dans l'enveloppe circomstellaire (panorama complet depuis la photosphère)

Evolution de la morphologie des enveloppes AGB, post-AGB/PPNe, PNe

Impact sur la perte de masse

Topologies magnétiques dans l'enveloppe circumstellaire

MATISSE/VLTI (midIR) :

Reconstruction d'images : pour apprécier des structures de l'enveloppe circumstellaire (structures bipolaires, surdensités...)

Mode spectro : pour dynamique atmosphérique

=> Pour perte de masse : dynamique de l'enveloppe et zone d'accélération du vent

Spectro-polaro-interférométrie (type VEGA/CHARA) : RSG et Miras, cibles privilégiées

Interprétation et Modélisation :

Polarisation linéaire pour explorer le magnétisme de surface

Effet Hanle stellaire (?) et le lien choc/convection-magnétisme de surface :

- Signatures U et Q détectées dans Mira et RSG - aussi dans post AGB ?
- Non détectées dans early-AGB, RGB
- Variables dans le temps (Miras , RSG)

Effet Hanle stellaire – cf Physique Solaire : A confirmer pour Mira/RSG

Transfert radiatif polarisé : peu développé hors physique stellaire

Chocs, Milieux compressibles et Champs transitoires :

Peu d'outils numériques adaptés disponibles (PENCIL ? PLUTO ?)

à introduire/renforcer dans notre groupe/communauté PNPS

Lien magnétisme – Perte de masse