Magnétisme et activité stellaire

2011-2014 Bilan et perspective du PNPS

C. Dougados

Magnétisme et activité stellaire

- Thématique transversale PNPS:
  - B crucial: structure interne des étoiles (moment angulaire, chimique), processus accrétion/éjection dans les étoiles jeunes, origine de la perte de masse
  - Au travers du diagramme HR: étoiles jeunes, chaudes, froides, Géantes Rouges …

- Thématique trans-disciplinaire
  - Influence de B sur formation stellaire et planétaire (PCMI, PNP): interaction disque-étoile, étoile-planète.
  - Lien activité magnétique et activité stellaire, détection exoplanètes (PNPS, PNP, PNST)

- Communauté structurée en équipes/projets centrés sur exploitation ESPADONS/ NARVAL. Projets souvent intégrés dans une ANR. Larges collaborations, souvent internationales (observateurs et théoriciens).

- Thèmes de recherche démarrés lors du précédent quadriennal (2007-2010) maintenant en pleine maturité.

Modélisation dynamos (B. Dintrans),

Impact sur la formation stellaire (E. Moraux et J. Bouvier)

Bilan soutien PNPS

Projet	PI	Dates	NARVAL/TBL	Soutien PNPS
MaPP	J.F. Donati	2008-2012	LP 2010-2012 480 H	ANR MaPP
MatYsse	J.F. Donati	2013-	LP 2013-2014 256 H	
HMS	J. Bouvier	2011-2014	PI 101 H	5 kEuros ANR Toupies
Bcool	P. Petit	2011-2014	PI 2011-2013 584 H LP 2013-2014 224 H	2.5 kEuros ANR Bcool
Activite stellaire/ magnetisme (PNP/PNPS)	J. Morin/E. Hébrard I. Boisse	2011-2014 2014	PI 2011-2013 152 H PI 2014 32 H	5 kEuros + 5 KEuros Ecole 2011
Etoiles A	F. Lignières		PI 84 H LP 2013-2014 128 H	7 KEuros ANR (> 2013)
MiMes	C. Neiner/E. Alecian	2010-2013	LP 2010-2012 520 H	30 kEuros
Binamics	C. Neiner/E. Alecian	2013-2014	LP 2013-2014 128 H	2 KEuros
Red Giants	M. Aurière		PI 2011-2014 240 H	2 kEuros ?
Miras	A. Lèbre	2012-2014	PI 2012-2014 140 H	9 KEuros

Soutien financier modéré 3-30 kEuros sur 4 ans … TOTAL : 67.5 kEuros

Etoiles Jeunes de faibles masses

J.F. Donati (PI) +collaboration nationale et internationale

MaPP Origine et évolution champ magnétique dans les étoiles T Tauri

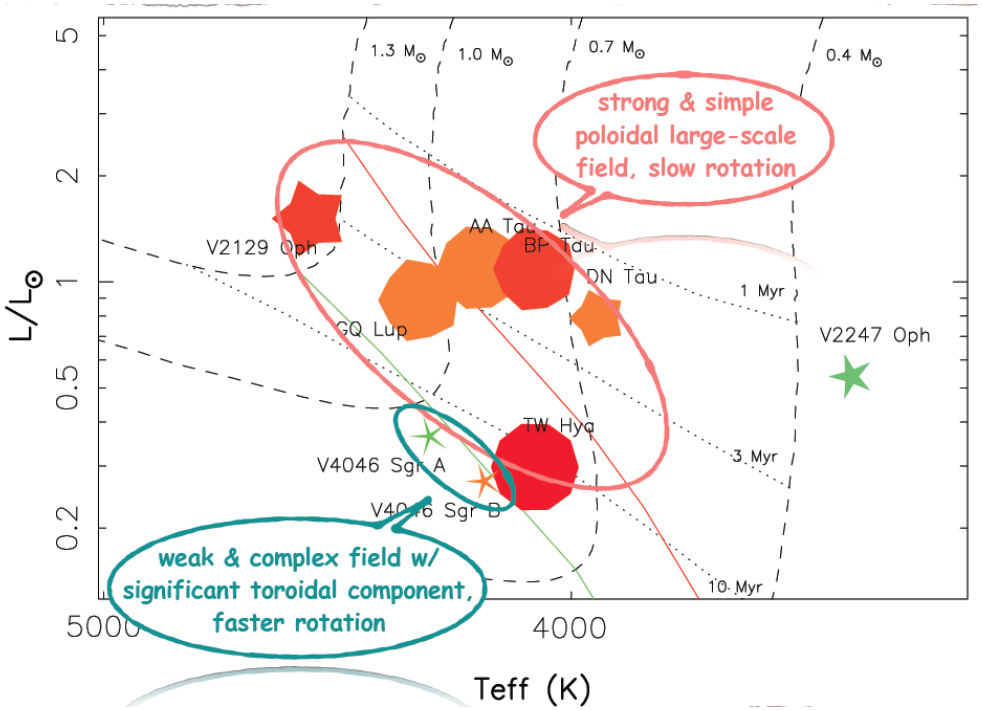
✧ impact sur accrétion, éjection, moment angulaire.

ANR (2008-2011)
LP ESPADONS/CFHT (2008-2012)
LP NARVAL 580H (2010-2012)
30 étoiles T Tauri, Fu Ori

- B fort (qqs 100 G)
- Topologie et rotation corrélées
- Variable sur des échelles de quelques années

Origine dynamo, régulation Ω_*

~40 publications référées (~30 depuis 2009)



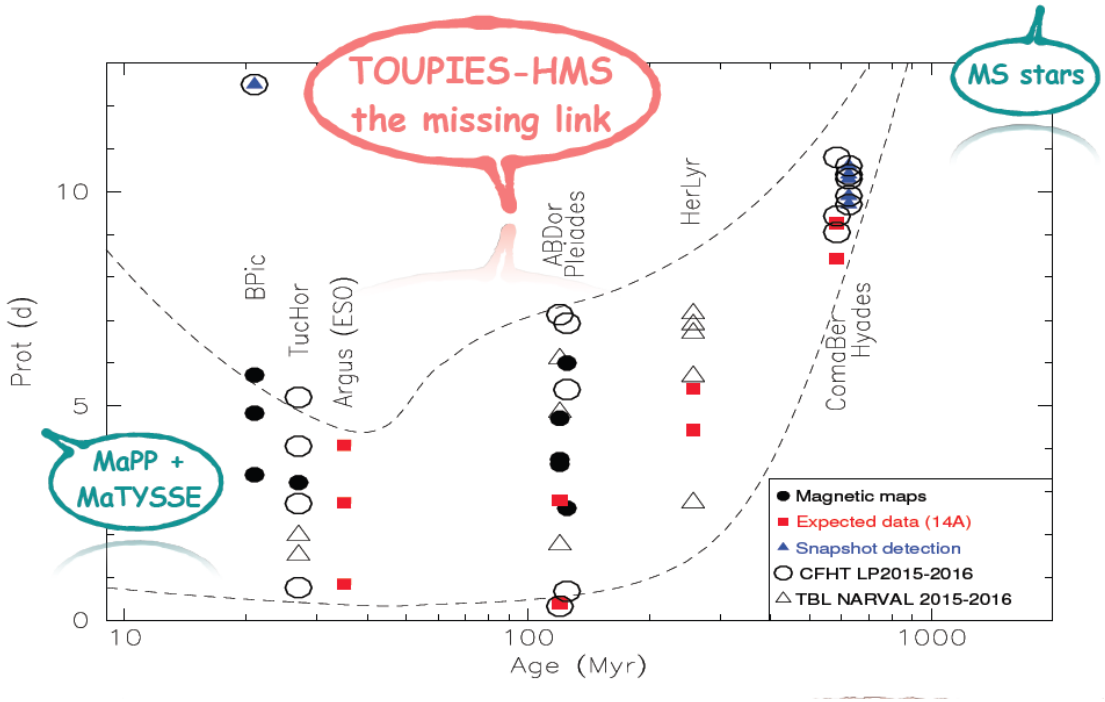
Voir contribution de J.F. Donati

Etoiles Jeunes de faibles masses

J.F. Donati, J. Bouvier + collaboration nationale et internationale

- Etoiles jeunes non accrétantes (wTTS) MaTYSSE (PI J.F. Donati)
  - LP ESPADONS, LP NARVAL (2013-2014),
- Etoiles amas jeunes (post-TTS) ANR TOUPIES - projet HMS (PI J. Bouvier)
  - LP ESPADONS, NARVAL (2012-2014)

  cf contributions de J.F. Donati et J. Bouvier



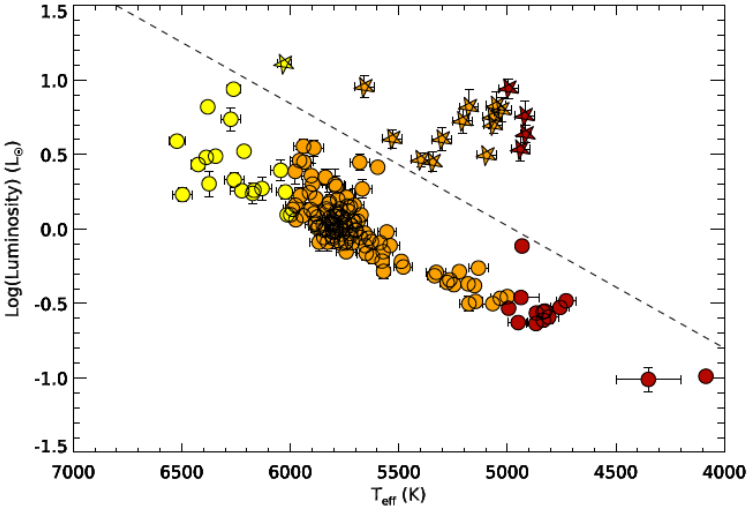
Bcool: le magnétisme des jumeaux solaires

P. Petit, J. Morin et collaboration nationale et internationale

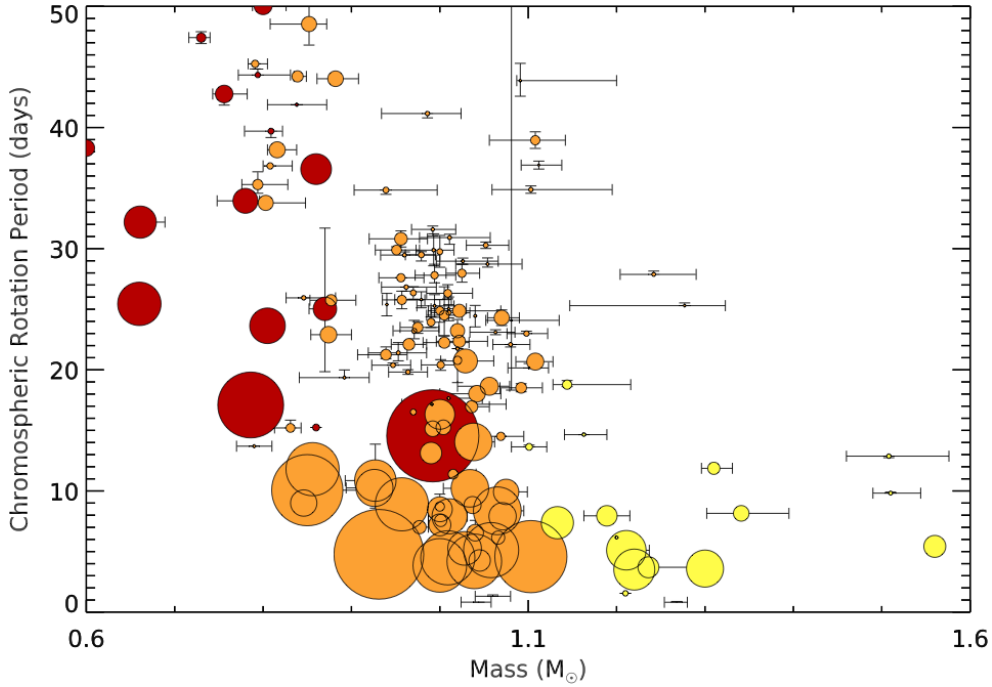
LP NARVAL (2012-2014) 28 nuits + programmes PI

170 étoiles froides (SP, 10% sous-géantes), cartographie de 10 étoiles, suivi à long terme de 20 étoiles

40 % détection SP, 10 % SG



Exploration du plan masses-rotation



Marsden, Petit et al. 2014

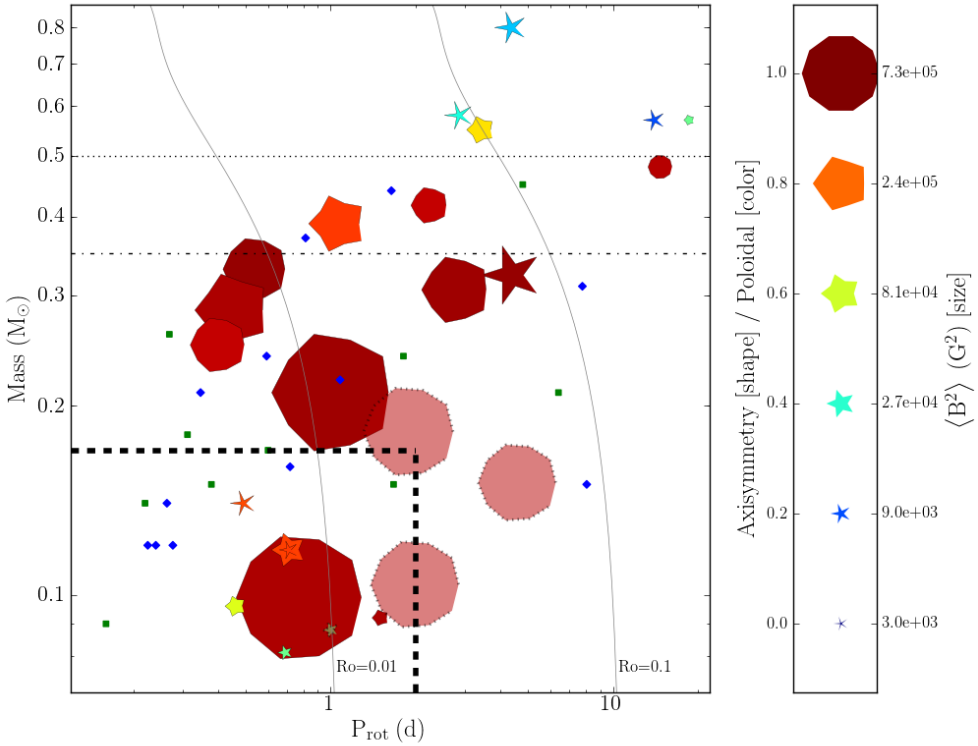
Magnétisme des étoiles de très faibles masses

J. Morin et collaboration

ESPADONS PI: 70 H (2013)

Bi-stabilité dynamo pour étoiles de très faibles masses en rotation rapide ?

cf présentation de Julien Morin



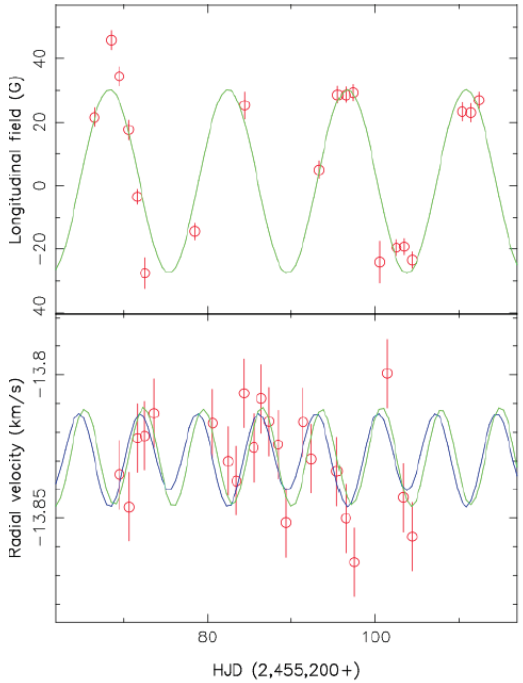
Adapté de Morin et al. (2010)

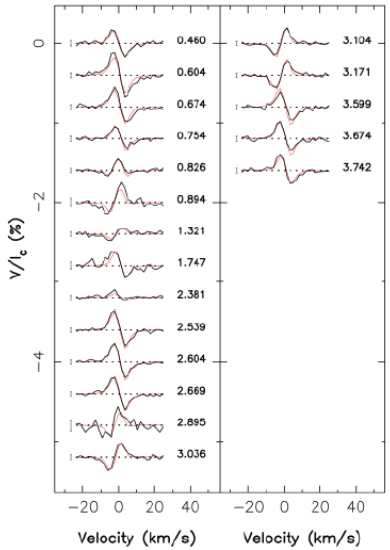
Magnétisme-activité stellaire & exoplanètes

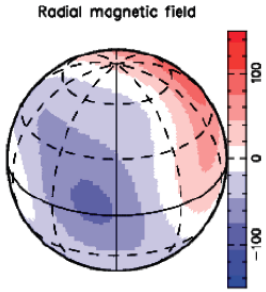
C. Moutou, J. Morin, J.F. Donati, X. Delfosse, I. Boisse, E. Hébrard (PhD) and co-Is

Projets PNP/PNPS, Atelier PNPS / PNP « Magnétisme stellaire & exoplanètes » 2011

- ✧ Interaction étoile-planète: impact jupiter chaud sur magnétisme étoile hôte
  (PI C. Moutou) NARVAL/ESPADONS 10 étoiles, 2 thèses
- ✧ Impact de l'activité stellaire sur la détectabilité de planètes par RV. études préparatoires à SPIROU (E. Hebrard, I. Boisse, J. Morin, J.F. Donati)
  spectro-polarimétrie/vélocimétrie simultanées HarpsPol, NARVAL/SOPHIE







cf présentation de J. F. Donati

MiMeS : Magnetism in Massive Stars

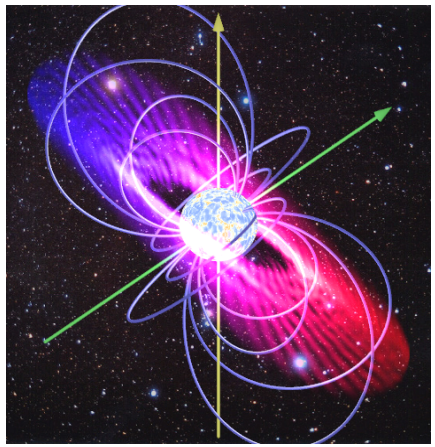
C. Neiner, E. Alecian, S. Mathis and large international collaboration

3 large programs of spectropolarimetric observations (2009-2013):
- with Narval at TBL: PI Neiner, 565 h
- with Espadons at CFHT: PI Wade, 594 h
- with HarpsPol at ESO: PI Alecian, 250 h

Objectives: **Origin of B field in massive stars, their influence on stellar structure and interplay with the wind.**

- The field of massive stars are simple (oblique dipole) and stable, as predicted by theory → fossil origin
- 7% of massive (O or B, pulsating or not) stars are magnetic with two exceptions:

100% of Of?p stars are magnetic → f?p nature from field ?
<1 % of Be stars are magnetic → related to rapid rotation ?



29 refereed papers (including 10 with a French first author)
→ cf contribution by Coralie Neiner

The BinaMIcS project

E. Alecian, C. Neiner, J. Morin, S. Mathis, G. Wade et al.

- Large international collaboration: observers, modellers and theoreticians
- Will address the interplay between **magnetism** and **binarity** on star formation, star-star interaction, and magnetospheres interactions

- Two Large Programmes
  - ESPaDOnS (CFHT, PI: E. Alecian): 604 h (2013 -2016)
  - Narval (TBL, PI: C. Neiner)): 128 h for 2013-2014 (extension of 2 years will be requested)
- Supporting observations (in 2013B and 2014A)
  - Interferometry PIONIER/VLTI (PI: J.-B. Le Bouquin)
  - HARPSpol monitoring of Southern targets (PI: R. Fares)
  - UBVRI Photometry (Kottomia Observatory, col.: A.-E. Essayed)

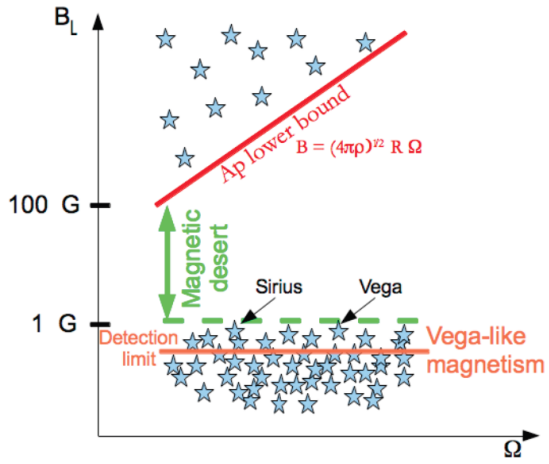
- **Preliminary result: Magnetic frequency in ABO close binary systems much lower than in ABO single stars (Alecian et al. in prep.)**
- 3 magnetic stars monitoring (Alecian et al., Neiner et al., Morin et al.)

- PNPS support: ~2000 € (in 2013 only)
  TBL observations (2013-2014)

MS intermediate-mass stars

F. Lignières, M. Auriere, L.Jouve, F. Rincon, G. Lesur, J. Ballot et al.

Vega-like magnetism : a new type of sub-Gauss stellar magnetism



- Vega, Sirius, θ Leo, β Uma *(Lignières et al. 2009, Petit et al., 2010, 2011)*
- the tip of the iceberg of a widespread magnetism ?
- Bifurcation between stable and unstable

Configurations ? (*Aurière et al. 2007)*

❖ Occurrence and properties of Vega-like magnetism:
Ongoing TBL/NARVAL large programme (10 A0-A2 targets)

❖ Detailed numerical simulations (L. Jouve, F. Rincon, G. Lesur):
- Stability of large-scale B configurations in differentially rotating stars
- dynamo processes in differentially rotating stratified atmospheres (Tayler-Spruit dynamo)

ANR Imagine (2013-2017) cf Presentation de Francois Lignieres, L. Jouve

Magnétisme des géantes rouges de masses intermédiaires

M. Aurière (PI) collaboration Franco-bulgare-canadienne

- 30 nuits NARVAL (PNPS + 3n OPTICON)

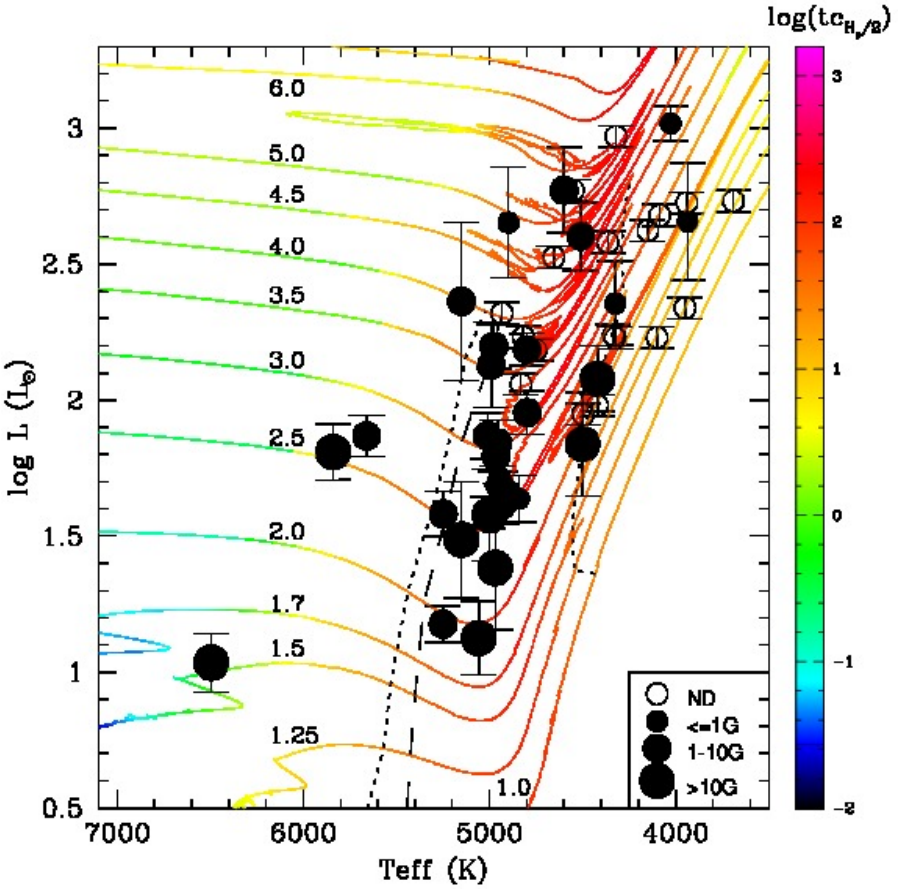
  8 publications de rang A
  - Détection B 1-10 G dans 30 géantes
  - Imagerie Zeeman Doppler pour 9 géantes

- Identification d'une bande magnétique:

1st dredge-up et core-He burning phases

- Origine de B ?

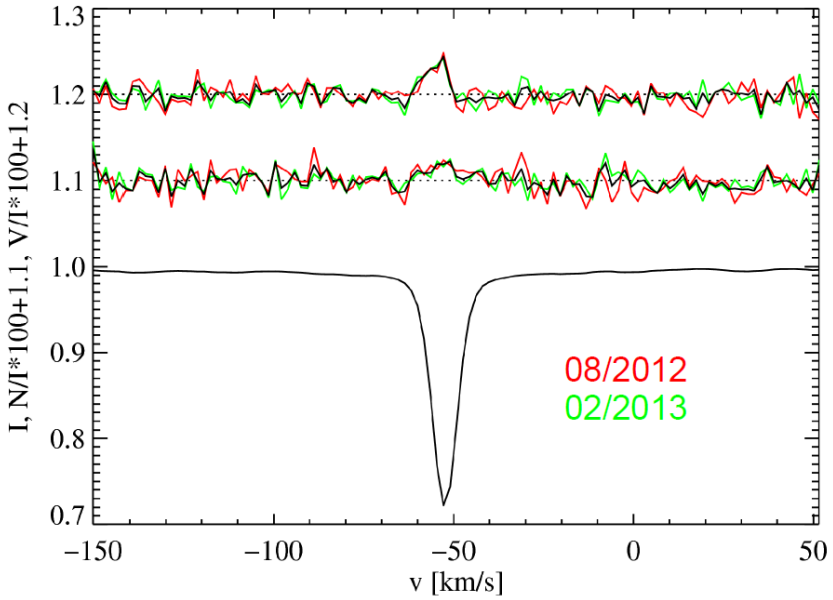
cf présentation de Michel Aurière



Recherche de champ magnétique dans les géantes de Kepler

J. Ballot et al.

- Géantes avec contraintes sismiques
- Étude de 2 groupes :
  - (1) Rotation interne mesurée
    - Contraintes sur la dynamo
  - (2) Géantes avec modes *l*=1 déprimés
    - Descendantes d'Ap ?
- Observations Espadons & Narval
  - (1) 2 géantes : « Otto » (E, 09/12) & HD182736 (N, 10/12)
    → pas de détection (B<1G)
  - (2) 4 géantes M=1,5 – 1,8M_s, log*g*=3,6 – 3,0
    Obs : N. 08/12, E. 02-06/13
    → B < 2G dans 3 / 4
    → une détection dans la moins évoluée



- Signature stable dans le temps
- B ~ 4 G mais signature asymétrique
- Kepler → P_{rot} ~ 45 ou 90 j
  → B compatible dynamo

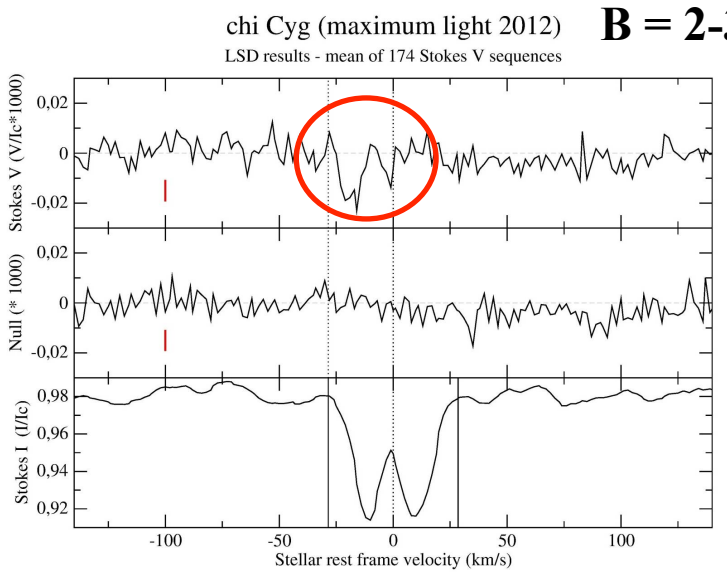
Magnétisme des étoiles variables pulsantes de type MIRA

Projet PNPS A. Lèbre, N. Fabas (PhD 2011), D. Gillet, M. Aurière, P. Petit, F. Herpin, A. Chiavassa, F. Millour

Observations Narval@TBL (programme PI du CS2M)

Détection d'un faible champ magnétique en surface de l'étoile Mira chi CYG

Lèbre et al., 2014, A&A, 561, 85



B = 2-3 G

Communiqué de presse INSU Janvier 2014

Signatures détectées en **polarisation lineaire** (Stokes U et Q) : raies d'H, variables avec la pulsation, dues à la présence du choc.

Fabas et al., 2011, A&A 535, 12

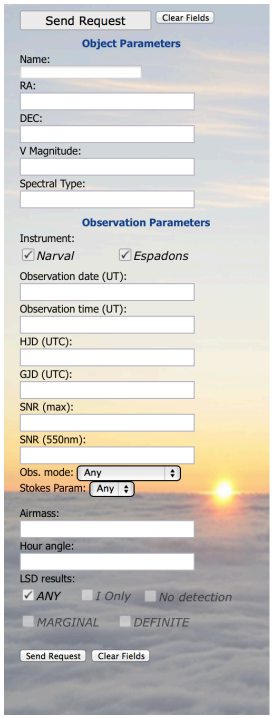
Interprétation/Modélisation :

Origine du magnétisme (non du à une dynamo classique) , Lien magnétisme – onde de choc atmosphérique: developpement

PolarBase

A data base of high resolution spectro-polarimetric stellar observations P. Petit et al. (J. Morin, F. Paletou)

- reduced spectra from ESPaDOnS@CFHT, NARVAL@TBL and cross-correlation pseudo-line profiles
- As of 2014: 2000 stars (160 000 spectra), 2020: 5000 stars (400 000 spectra)



http://polarbase.irap.omp.eu Petit et al. 2014

Bilan 2011-2014 et perspectives

- Un domaine très actif dans lequel la communauté française est en pointe:
  - exploitation toujours très active des spectro-polarimètres existants
  - élargissement des thématiques abordées

- Des résultats observationnels qui bouleversent notre vision de la dynamo stellaire:
  - Bistabilite dans les naines, champs magnetique dans les etoiles A, geantes rouges, Miras, interaction B/accretion dans les etoiles jeunes

  -> Développements théoriques importants suscités (cf présentations de Boris Dintrans, L. Jouve, S. Brun): dynamo, lien B/chocs, accrétion magnétosphérique et perte de masse.

- Perspective instrumentale: SPIROU va jouer un rôle crucial: objets très jeunes, froids (géantes), environnements circumstellaires, lien étoiles-planète.
  - Legacy survey SPIROU SPIRou Legacy Survey & LPs : ~200 cTTSs / wTTSs dans ~5 SFRs et de ~50 protoétoiles enfouies , 300 naines
  - *TBL rôle essentiel de support/préparation programmes CFHT (neo-NARVAL, SPIP)*
  - Travaux préparatoires à SPIROU ? développement en amont d'outils et data spécifiques (masques/listes de raies moléculaires et facteurs de Landé associés)
  - *A plus long terme amélioration de la sensibilité des spectro-polarimètres (étude des objets jeunes massifs) ?*

Bilan 2011-2014 et perspectives

- *Perspectives instrumentales (suite):*
  - *Etude des vents et magnétosphères avec UVMAG (étoiles chaudes et jeunes),*
  - *Lien avec la sismologie BRITE, Kepler 2, Plato:* impact de B sur la structure interne
  - *Lien avec les environnements circumstellaires:*

    MATISSE/VLT (MIRAS): Reconstruction d'images pour apprécier des structures de l'enveloppe circumstellaire, des surdensités (par ex. dues au choc), …+ le mode spectro pour la dynamique atmosphérique . Impact sur la perte de masse (dynamique de l'enveloppe et zone d'accélération du vent)

    ALMA-Pol (MIRAS, etoiles jeunes) Magnétisme dans les environnement circumstellaires (panorama complet depuis la photosphère).
- Questions ouvertes
  - Variable temporelle encore peu explorée ?
  - Approche multi-techniques: synergie avec domaine radio (ALMA, SKA?), rayons X

    vision multi-échelles du magnétisme (étoile-> enveloppe/disque, MIRAS, étoiles jeunes)
  - Du point de vue de la modélisation:
    - Lien B/Chocs: Transfert radiatif polarisé : *peu développé hors physique stellaire .* Chocs, Milieux compressibles et Champs transitoires : Peu d'outils numériques adaptés (PENCIL ? PLUTO ?) *à introduire/renforcer dans communauté PNPS*
  - *Autres ? (cf discussion demain)*