

# Bilan/perspectives magnétisme et activité stellaire

L. Jouve, J. Morin, E. Alecian, N. Grosso,  
A. Lèbre + tous ceux qui m'ont envoyé  
des transparents

# Magnétisme stellaire: thème prioritaire du PNPS

- ✓ Influence à **tous les stades de l'évolution de l'étoile** (des T-Tauri aux étoiles à neutrons) et pour toute masse
- ✓ Influence non seulement sur la dynamique interne mais sur l'**environnement** (vents stellaires, disques, exoplanètes)
- ✓ Liens avec **PCMI** (formation stellaire), **PNST** (connexions Soleil/Etoiles), **PNP** (exoplanètes)
- ✓ Au cœur de **projets instrumentaux/numériques d'envergure** (SPIRou, NeoNarval/SPIP, dizaines de millions d'heures de calcul sur centres nationaux, plusieurs ANR/ERC en cours)
- ✓ Au cœur de **nombreuses thèses récentes et en cours**

# Magnétisme stellaire: thème prioritaire du PNPS

✓ Financement PNPS de ces 4 dernières années pour cette thématique:

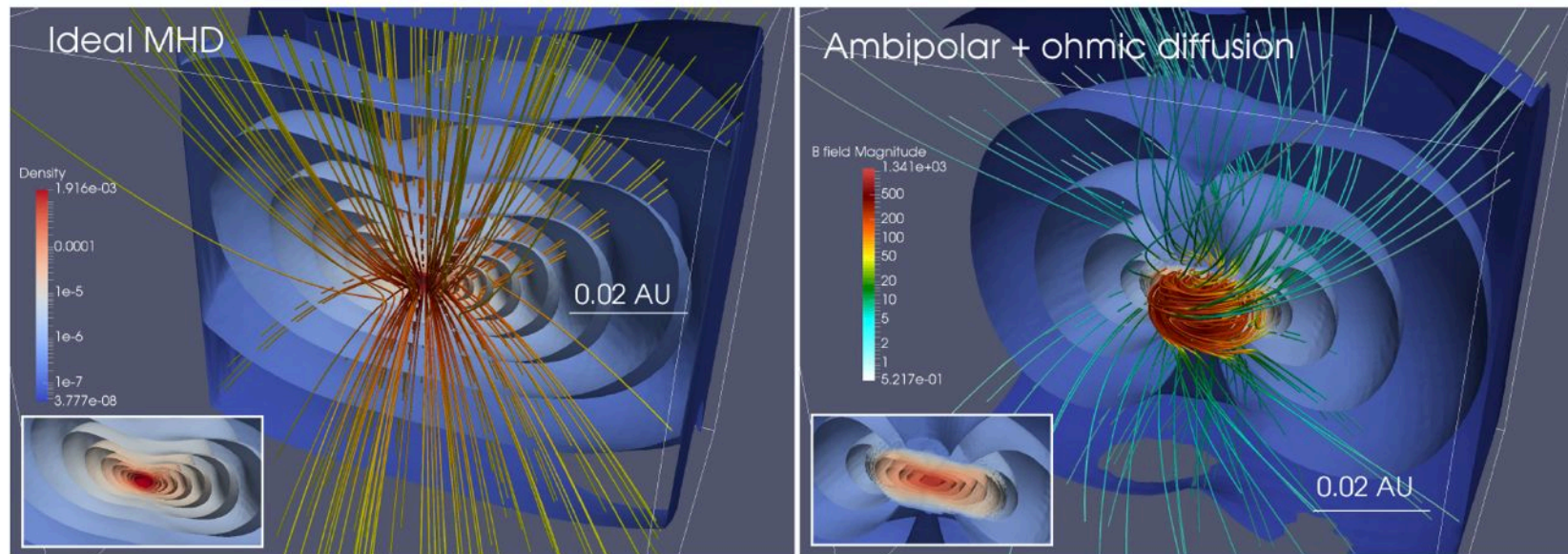
- **Phases précoces:** en moyenne 10k€ euros par an (environ 4 projets/an: Bouvier, Commerçon, Ibgui, Sauty, Alecian, Böhm, Grosso)
- **Phases séquence principale:** en moyenne 10k€ par an (2015-2017), 20k€ en 2018 (environ 4-5 projets/an: Petit, Petitedemange, Delfosse/Donati, Santerne, Bigot, Neiner, Alecian, Kretzschmar)
- **Phases évoluées:** en moyenne 10k€ (environ 2-3 projets/an: Lèbre, Deheuvelds, Mouchet/Bonnet-Bidaud)
- **+ 3 conf/écoles/ateliers** (MF in the Universe, ateliers Bcool/SPIDI, école SES)

=> En tout: environ 30k€ par an, soit entre 15% et 20% du budget total alloué

# Phases précoces

Formation stellaire (Commerçon et al., CRAL)  
Thèses Marchand, Masson, Lebreuilly, Mignon-Risse

Simulations 3D d'effondrement de coeur dense de 1 masse solaire, avec  
MHD et transfert de rayonnement



Résolution maximum :  $\Delta x \sim 8 \times 10^{-5}$  AU (21 niveaux AMR)  
Comparaison de simulations avec MHD idéale (80 000 hCPU) et MHD non-  
idéale (180 000 hCPU)

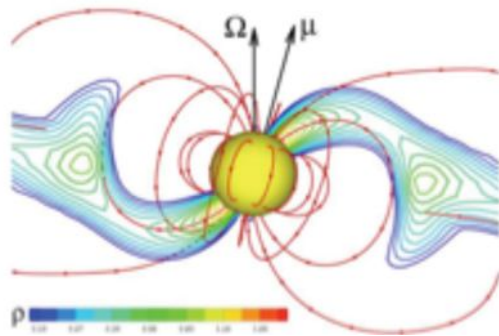
*Vaytet, Commerçon, Masson, González & Chabrier (2018)*

**Exposé de B. Commerçon**

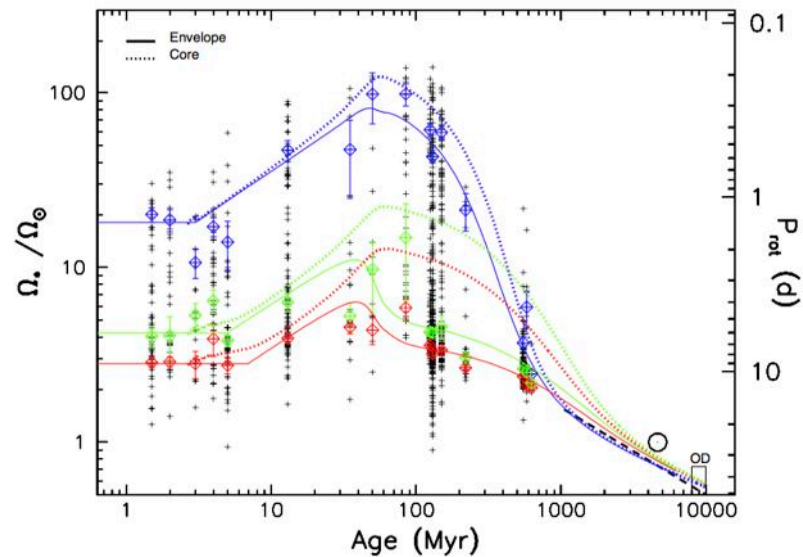
# Phases précoces

Intéractions étoile-disque (Bouvier et al., IPAG, Ibgui et al. Lerma)  
Thèses Venuti, Bethune, Colombo

- ✓ Disques protoplanétaires: effets MHD non idéale dans disque (Bethune et al. 2017)
- ✓ Relation rotation/accretion: disk-locking (Venuti et al. 2017) => Projet SPIDI ERC (PI Bouvier)

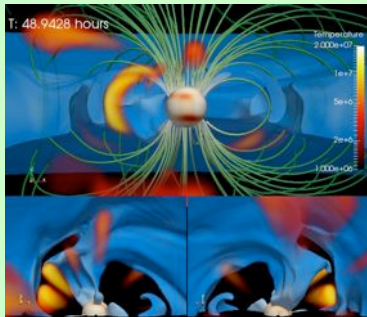


Romanova & Owocki 2016

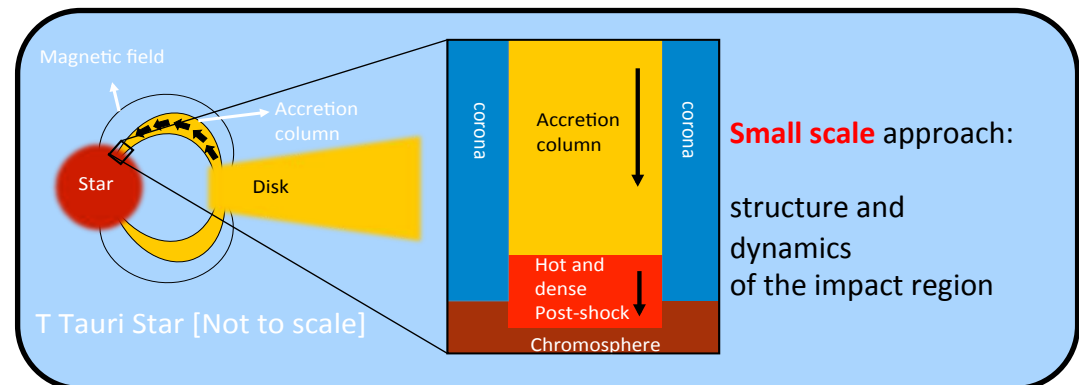


Gallet & Bouvier 2015

- ✓ Accrétion sur surfaces stellaires



**Large scale** approach:  
processes that may trigger accretion  
- **Flaring** activity (PLUTO 3D MHD)  
(Colombo et al. 2018, to be submitted)

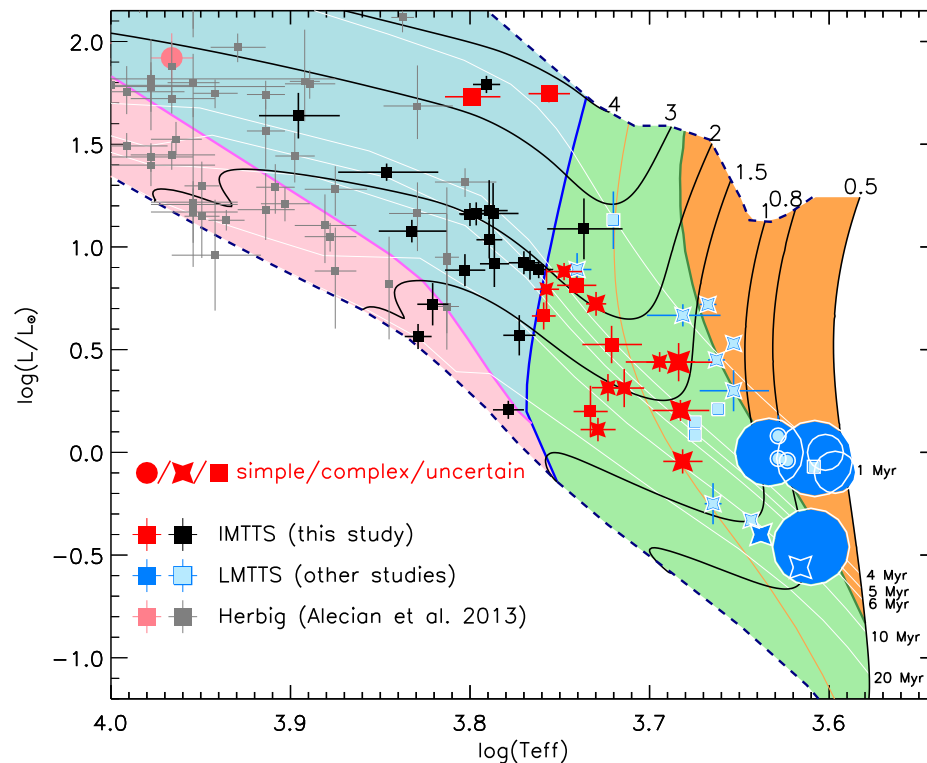


**Small scale** approach:  
structure and dynamics of the impact region

# Phases précoces

Etoiles de masse intermédiaire (Alecian et al., IPAG)

Thèse Villebrun



- ESPadOnS + HARPSpol of 38 IMTTS
- B detected in  $\sim 50\%$
- All of those, but 2, in the convective part of the HRD

Villebrun, Alecian et al., submitted

+ Emeriau et al., submitted  
(relaxation champs fossiles avec rotation)

- Radiative part: 10% detections as in the Herbig and A/B/O stars  
=> fossil fields may already be present very early during the PMS phase
- A clear cut between the magnetic and non-magnetic stars around  
 $M_{\text{con.env.}}/M_{\text{star}} \sim 2\%$  => Very fast B relaxation : a few 0.1 Myr

# De la pré-séquence principale à la séquence principale

Spectropolarimétrie des TTS aux étoiles de SP  
(Morin, Donati, Bouvier et al., LUPM, IRAP, IPAG)

## ✓ TOUPIES/HMS project

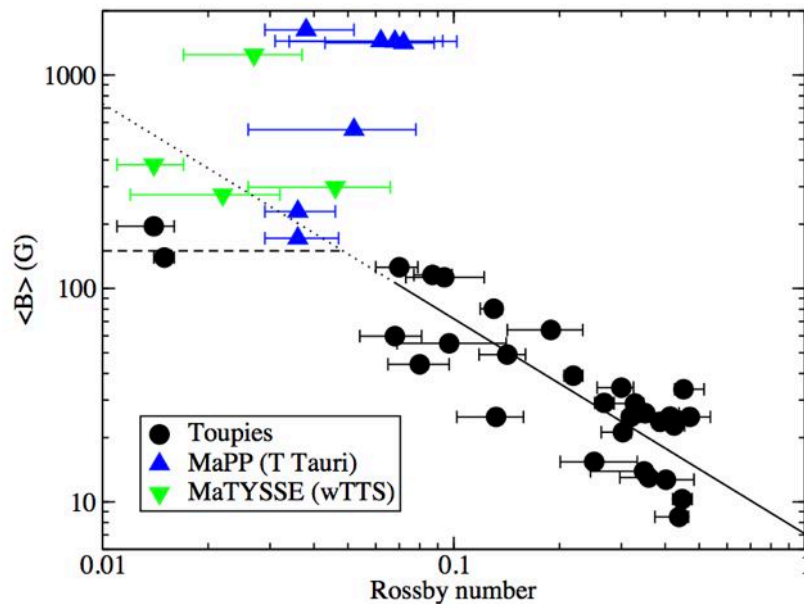
CFHT/ESPaDOnS+TBL/NARVAL+ESO3.6m/HARPSpol

→ bridges the gap between MaPP/MaTYSSE for TTS and Bcool for mature MS

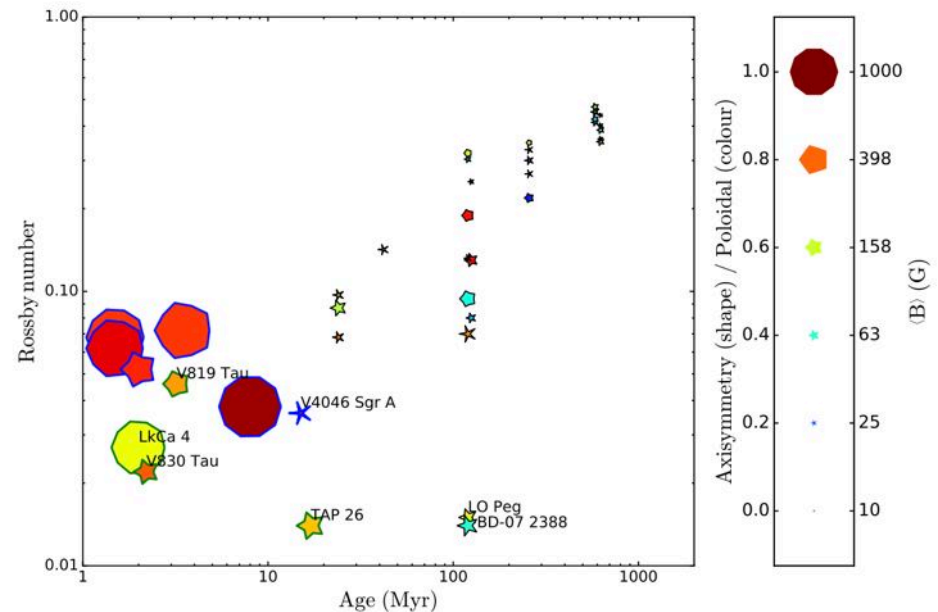
-First 250 Myr : ZDI of 15 stars (Folsom et al. 2016)

-250-650 Myr : ZDI of 15 stars (Folsom et al. 2018)

Folsom et al. 2017



Hill et al. 2017



Influence of rotation and internal structure on topology/amplitude

# Séquence principale: étoiles froides

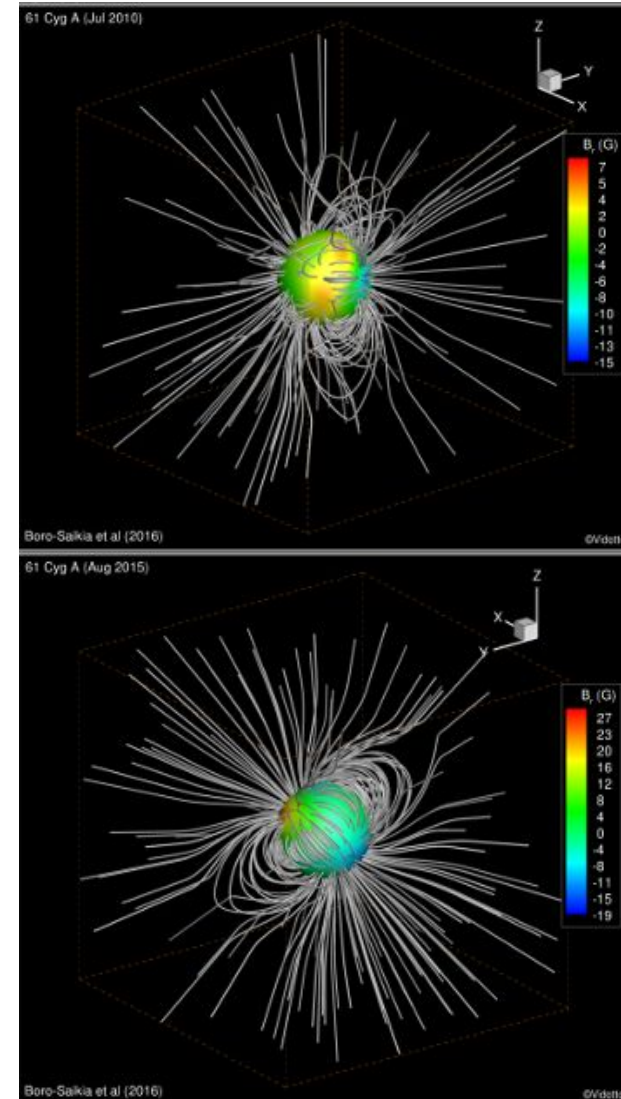
Spectropolarimétrie des étoiles de type solaire de la SP  
(Petit, Morin et al., IRAP, LUPM)

- ✓ **Bcool project** : TBL/NARVAL LP
  - Snapshot survey of 170 solar-type stars (Marsden et al. 2014)
  - ZDI study of 24 solar-type stars (Petit et al. in prep)

## Example of result:

1st detection of a magnetic cycle analogue to the solar cycle on the K5 mature dwarf 61 Cyg A  
(Boro Saika et al. 2016)

*Exposé de J. Morin*





# Séquence principale: étoiles froides

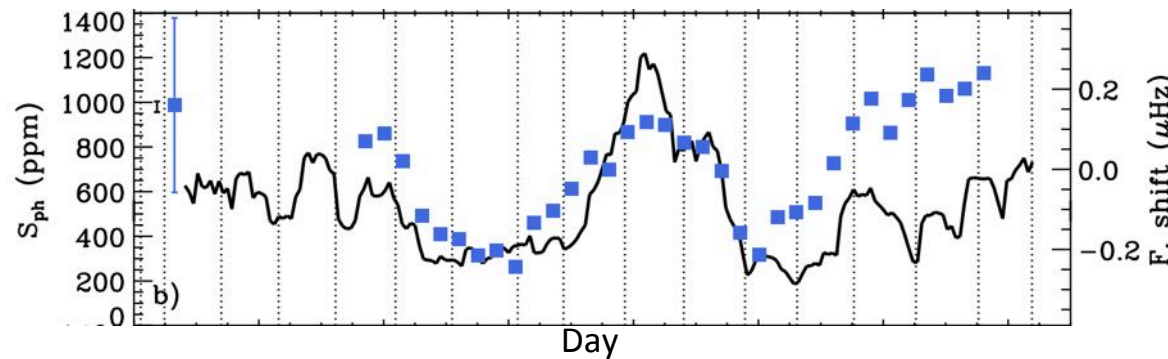
Champ magnétique et sismologie/activité chromosphérique (**liens PNST**)

(Salabert, Garcia, Ballot, Bigot et al., CEA, IRAP, OCA)

(Kretzschmar, Meunier, Delfosse et al., LPC2E, IPAG)

Thèse Gravet

- ✓ Cycles d'activité magnétique détectées par astérosismologie (étoiles Kepler type solaire)

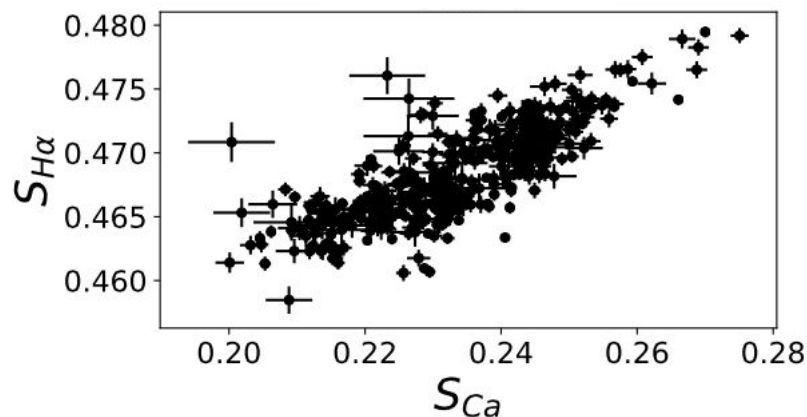


Salabert et al. 2016

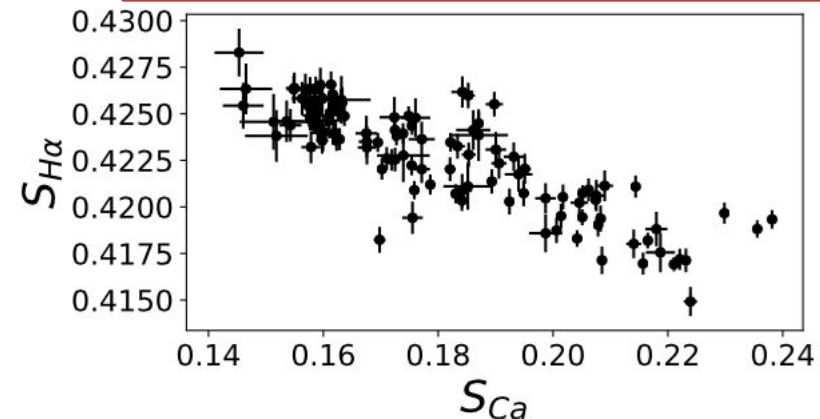
*Exposé L. Bigot*

- ✓ Activité chromosphérique: lien avec le Soleil (Harps obs. of 465 stars)

Solar like correlation



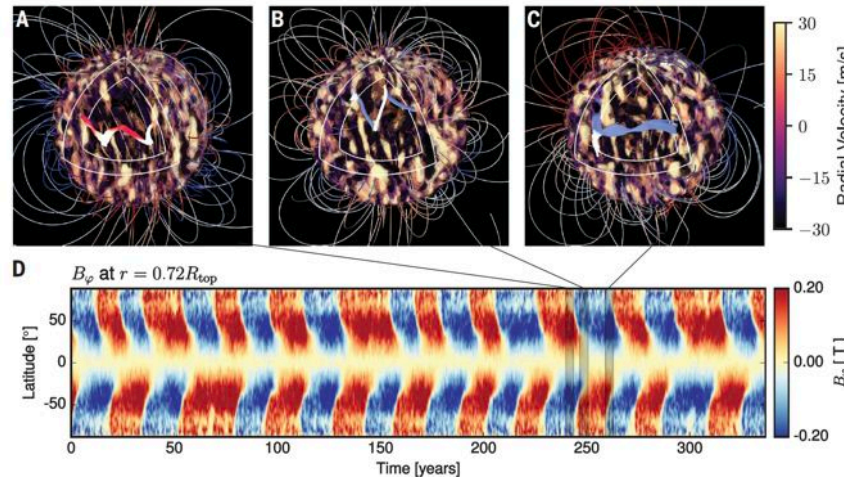
Anti correlation: filaments ? (hyp)



# Séquence principale: étoiles froides

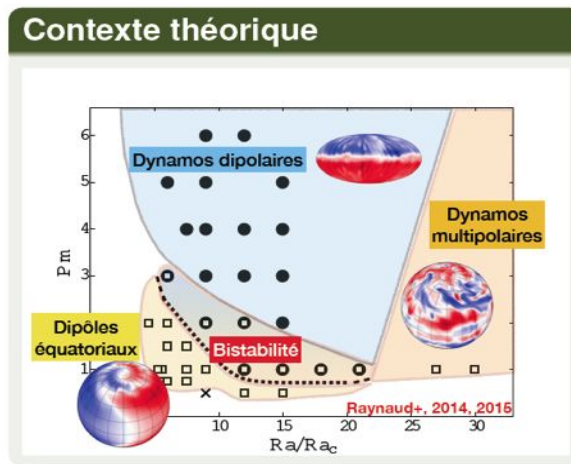
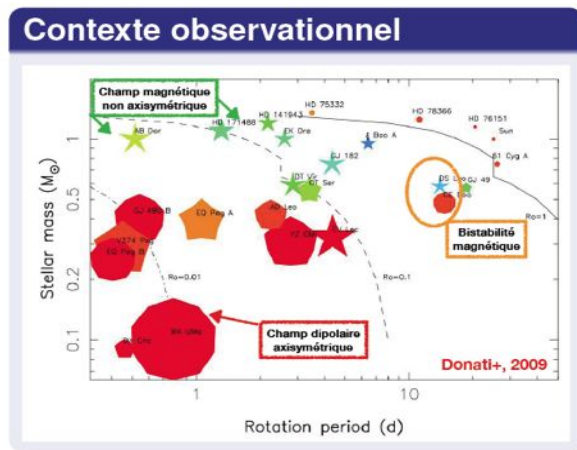
Simulations numériques des dynamos stellaires  
(Brun et al., CEA, Pettdemange et al., Lerma)

- ✓ Cycles magnétiques et période de rotation (période du cycle inversement prop. à  $Ro$ ?)



Strugarek  
et al. 2017

- ✓ Topologie magnétique et rotation (dipole pour faible  $Ro$ , multipole pour fort  $Ro$ )



Gastine et al. 2012  
Raynaud et al. 2015  
Pettdemange 2018

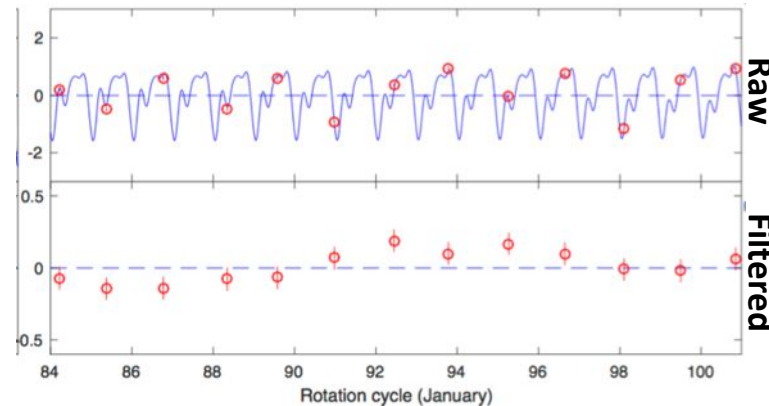
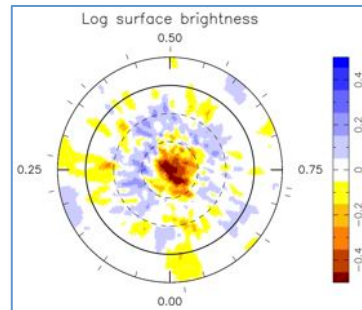
Exposé de L. Pettdemange

# Activité stellaire et exoplanètes

La chasse aux exoplanètes (liens PNP) (Donati, Petit, Delfosse et al., IRAP, IPAG)  
Thèses Hébrard, Yu, Klein, Astudillo-Defru

✓ In young stars:

Example: Tap 26



Donati et al.  
2016

Yu et al. 2017

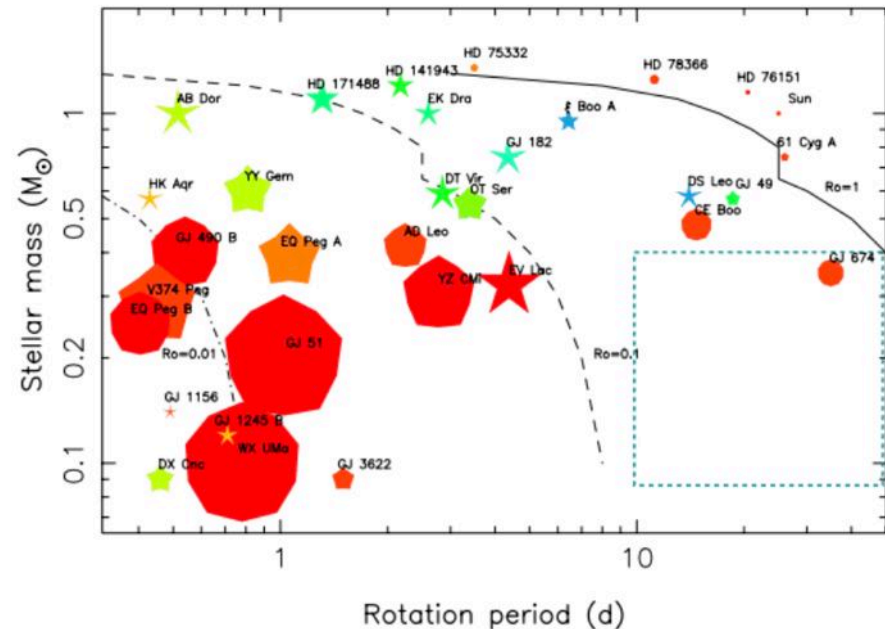
✓ In moderately active M dwarfs:

- SPIRou preparation and «avant-goût»  
ESPaDOnS+NARVAL+SOPHIE+HARPSpol  
→ First exploration of longer period M dwarfs  
+ activity jitter filtering

(Hébrard et al. 2014, 2016)

- SPIRou Legacy Survey input catalogue  
and target selection (Moutou et al. 2017)

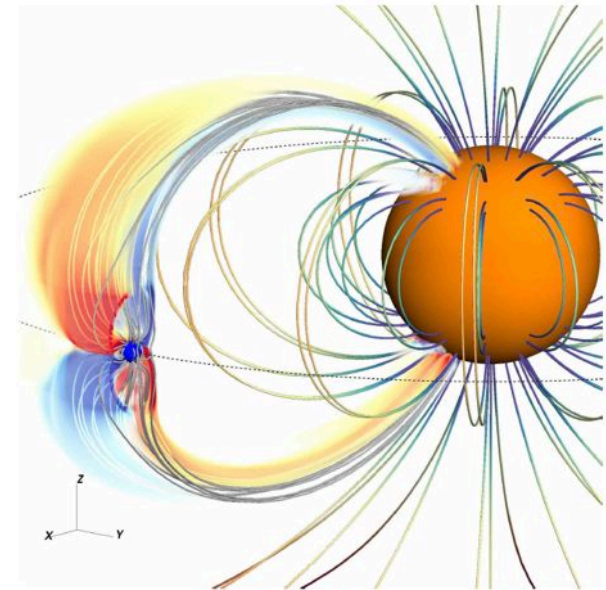
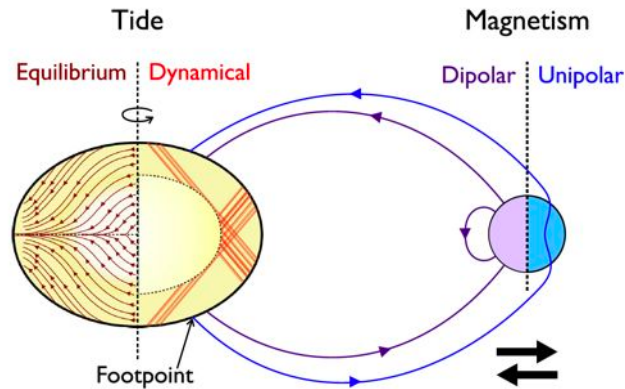
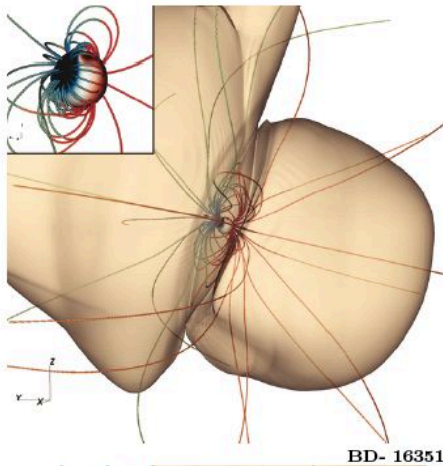
- Need for calibrated relation  
Calcium H & K/rotation period  
(Astudillo-Defru, Delfosse et al. 2017)



# Activité stellaire et exoplanètes

Effets de marée, vents stellaires et interactions magnétiques (Brun, Mathis, Baruteau, Jouve, Alecian, Cébron et al., CEA, IRAP, IPAG, ISTERre)  
Thèses Reville, Perri, Astoul, Vidal

- ✓ In solar-like stars: stellar winds, magnetic interactions



Reville thèse, Strugarek 2016, Strugarek et al. 2017, Pinto & Rouillard 2017, Kumar et al. 2018

- ✓ In intermediate-mass and/or massive stars: tidal interactions and dynamo?

**Exposé de D. Cébron**

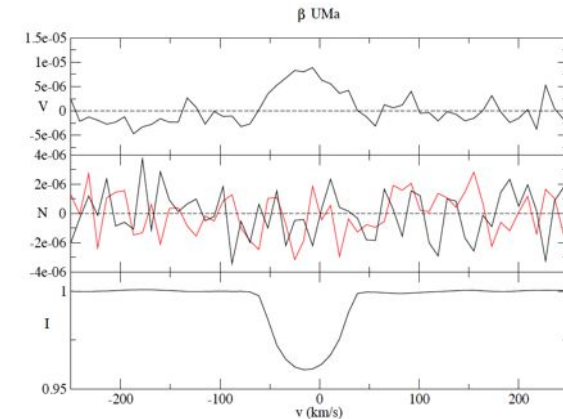
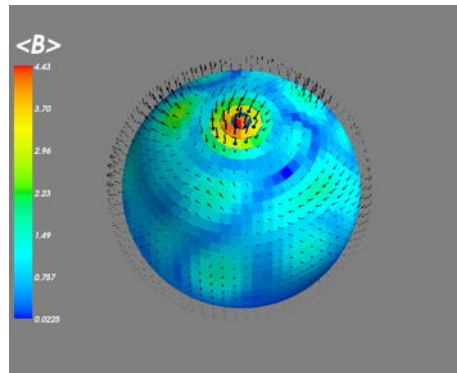
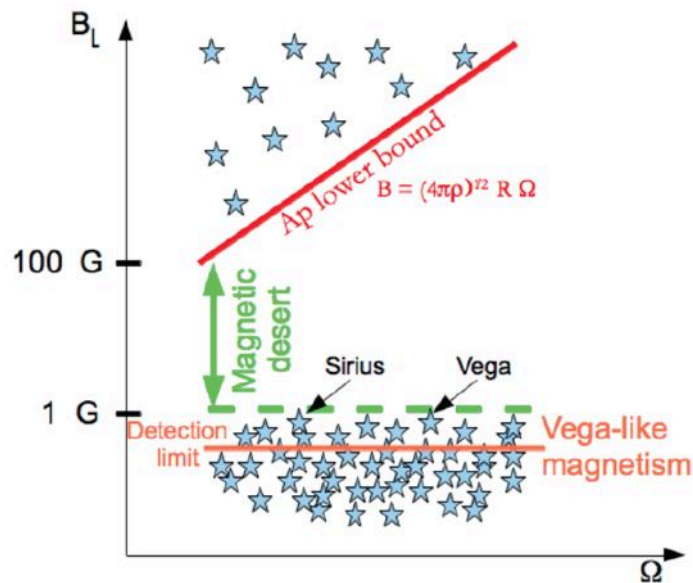
# Séquence principale: masse intermédiaire

Le magnétisme Ap et « Vega-like »

(Aurière, Lignières, Petit, Böhm, Jouve et al., IRAP, Neiner et al. Lesia, Gastine IPGP)

Thèses Blazère, Gaurat

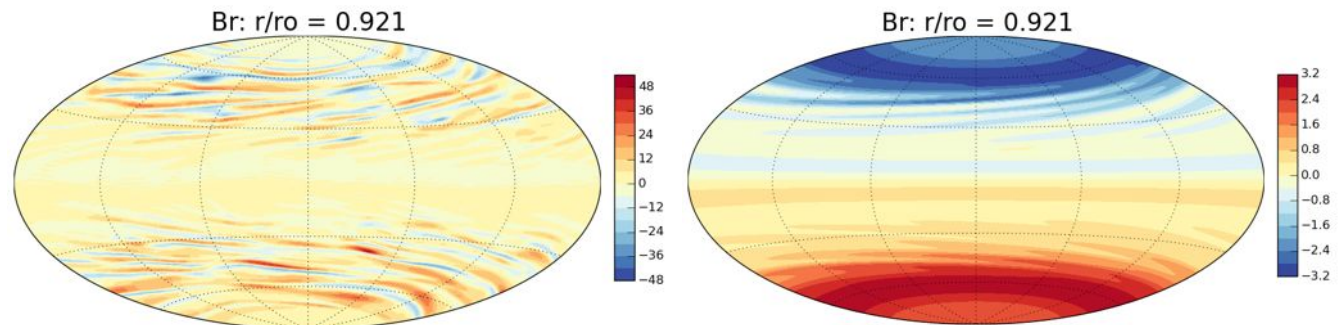
- ✓ Dichotomie champ fort Ap, champ faible Vega-like [Aurière et al. 2007](#), [Lignières et al. 2010](#)



[Lignières et al. 2009](#), [Petit et al. 2010](#), [Böhm et al. 2015](#)  
[Petit et al. 2011](#), [Blazère et al. 2016a](#), [2016b](#)

- ✓ Modélisation: instabilités magnétiques dans zones radiatives

[Gaurat et al. 2015](#)  
[Jouve et al. 2015](#)



# Séquence principale: étoiles massives

Spectropolarimétrie étoiles massives (Neiner et al., Lesia, Alecian et al. IPAG)

Thèse Buyschaert

- ✓ **BRITEPol**: 3 programmes d'observations : Narval/Neiner/246h [Neiner & Lèbre et al. 2014](#)  
HarpsPol/Neiner/196h [Neiner, Buyschaert et al. 2015](#)  
ESPaDOnS/Wade/62h [Neiner, Oksala et al. 2017](#)

→ relevé complet (~600 étoiles  $V \leq 4$ ) + étude détaillée des étoiles magnétiques

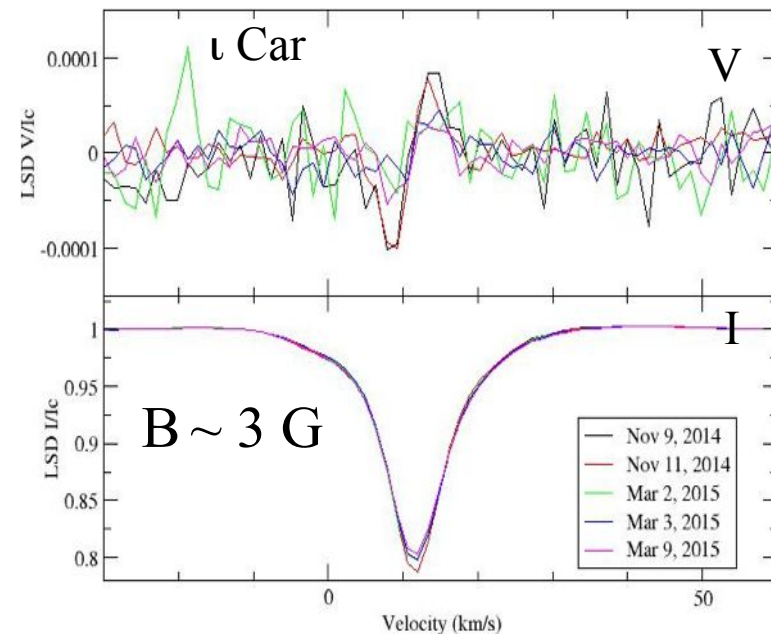
## Résultats :

- 41 étoiles magnétiques découvertes
- 1  $\delta$  Scuti magnétique
- 2 étoiles B magnétiques dans des amas
- 1 Am avec une signature normale
- premières supergéantes BA magnétiques

- ✓ **LIFE**: impact magnétisme sur évolution  
ESPaDOnS, HarpsPol + LP ESPaDOnS  
→ relevé statistique (~100 étoiles OBA évoluées)

- ✓ **BINAMICS**: champ magnétique dans binaires  
Seulement 2% de détection

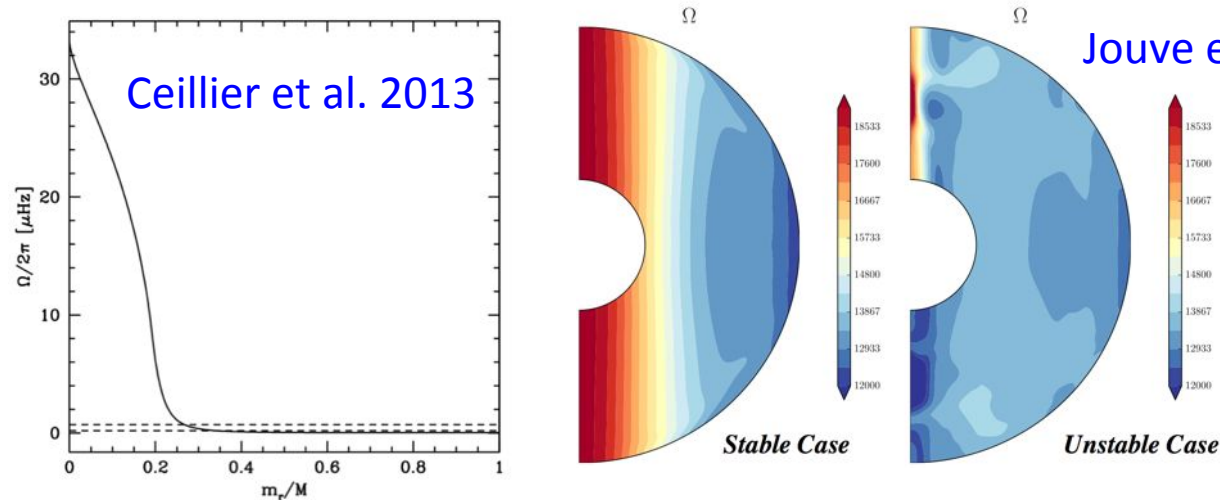
*Exposé de E. Alecian*



# Etoiles évoluées

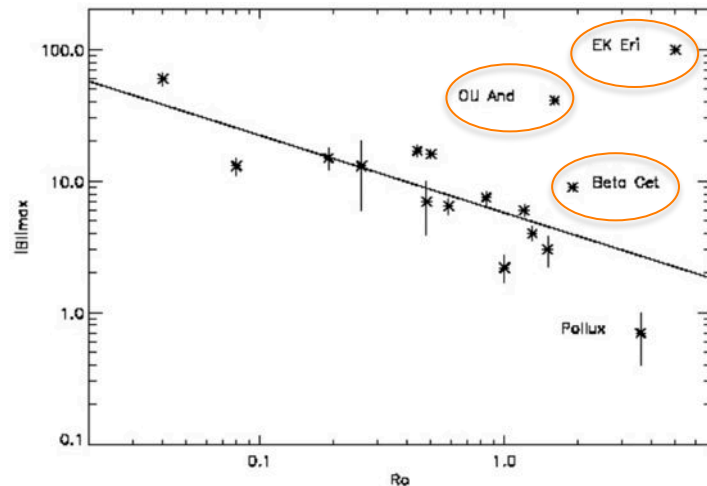
Champ magnétique dans les géantes rouges  
(Deheuvels et al., IRAP, Aurière et al. IRAP)

- ✓ Transport de moment cinétique dans les sous-géantes/géantes: instabilités magnétiques?



*Exposé de S. Deheuvels*

- ✓ Spectropolarimétrie géantes rouges

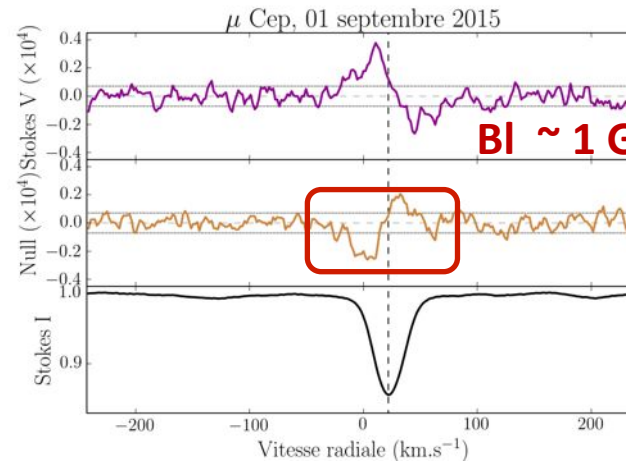
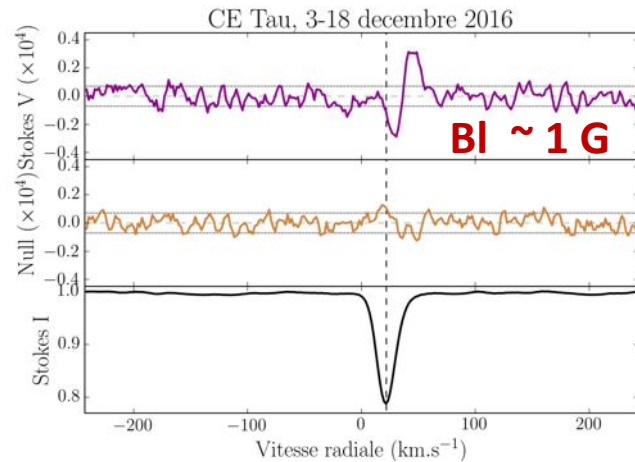


- Champ dynamo (géantes en rotation, Aurière et al. 2015, Borisova et al. 2016, Tsvetkova et al. 2017)
- Descendantes d'étoiles Ap (déviantes en excès d'activité, Borisova et al. 2016)

# Etoiles évoluées

Magnétisme des étoiles froides évoluées (Lèbre et al., LUPM), étoiles à neutrons (Guilet et al., CEA)  
Thèse Tessore

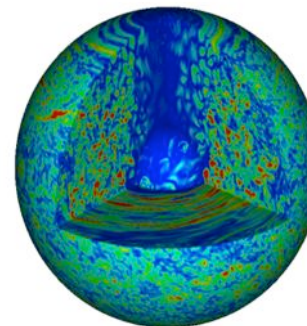
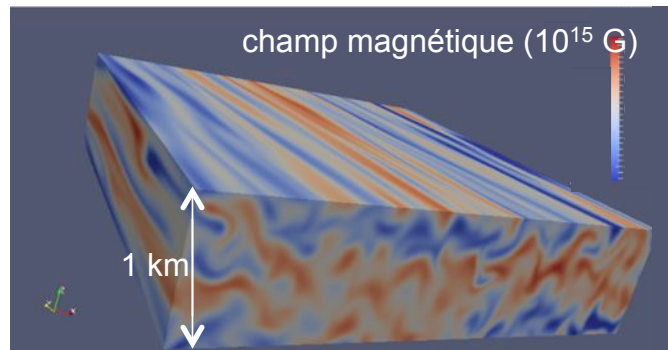
- ✓ Détection champ magnétique dans supergéantes rouges



*Exposé de A. Lèbre*

(Tessore et al., 2017 et Tessore, thèse, 2017)

- ✓ Origine du champ magnétique dans étoiles à neutrons: instabilité magnétorotationnelle?



Guilet & Müller 2015  
Rembiasz, Guilet et al. 2016



# Perspectives

## ✓ Perspectives instrumentales (à court terme):

- **SPIRou au CFHT (PI Donati):** installation terminée, tests sur place
- SPIRou Legacy Survey (naines M et étoiles PMS):  
400 nuits observation pour 3 programmes:
  - planet-search: 200 nuits pour 100 naines M
  - transit follow-up: 100 nuits pour 80 naines M
  - magnetized star/planet formation: 100 nuits pour 120 PMS (60 cTTs/60wTTs)

Travail associé: importance de bien modéliser l'activité magnétique stellaire,  
importance d'avoir des bons modèles d'atmosphère pour objets froids

- **NeoNARVAL (PI Böhm) / SPIP (PI Donati) au TBL Pic du Midi**  
NeoNarval: 2018, visible, magnétisme et exoplanètes (précision RV < 3m/s)  
SPIP: 2020, InfraRouge: copie de SPIRou  
Observations simultanées? Etudes R&T.

*Exposé de R. Cabanac*

# Perspectives

## ✓ Perspectives instrumentales (à plus long terme):

- **UVMAG** (PI Neiner): consortium pour développer la spectropolarimétrie UV spatiale: R&T CNES, mission Arago proposée à l'ESA (**thèse M. Pertenais, prix MERAC**), POLLUX (pour le Large UV-Optical/IR Surveyor de la NASA)
- Liens avec la sismologie **BRITE, Kepler 2, Tess, Plato**: impact de B sur les oscillations stellaires?

## ✓ Questions scientifiques associées au magnétisme stellaire:

- Comprendre et caractériser les **interactions étoiles/disques/ planètes** (ERC NewWorlds Donati, SPIDI Bouvier): couplage de codes numériques?
- **Impact de B sur évolution stellaire**: transport de moment cinétique, interactions champs forts étoiles de masse intermédiaire/convection
- Processus **dynamo** (topologie vs structure interne, vs Rossby, cycles magnétiques): comparaison de codes globaux (ASH, Eulag, Pencil, MagIC, Parody)?
- Origine **magnétisme « Vega-like »**: est-il commun? évolution temporelle? dynamo en zone radiative? Communautés géophysique et astrophysique à rapprocher?