

# DYNAMISME STELLAIRE : ROTATION ET MAGNÉTISME DANS LES ÉTOILES ISOLÉES ET SYSTÈMES MULTIPLES

Tugdual Ceillier

Directeur : Rafael A. García

CEA/IRFU/SAp - AIM



22/01/2014

Présentation des thèses de 2e année - IRFU

Tugdual Ceillier

Cursus :

École Polytechnique

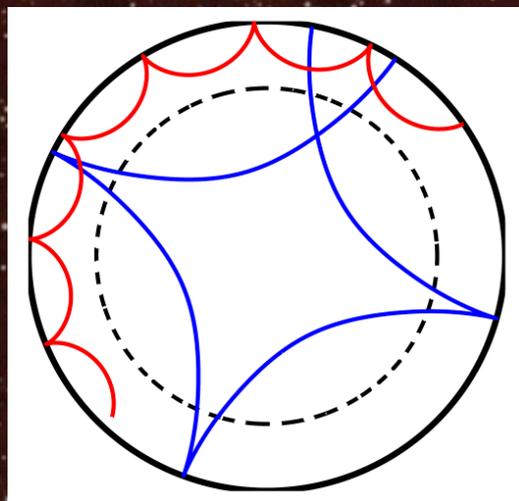
M2R Astronomie & Astrophysique

- Roland Lehoucq, professeur à l'É.P. m'a mis en contact avec Rafael García pour mon stage de M1.
- Passion de toujours pour l'Astrophysique.

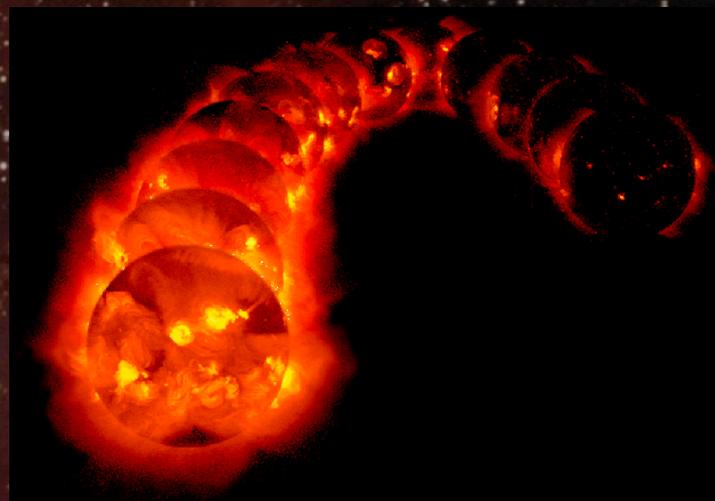
- Dynamisme Stellaire : Rotation et Magnétisme dans les étoiles isolées et systèmes multiples



Satellite Kepler  
et préparer PLATO



Oscillations stellaires



Rotation et activité stellaire

# PLAN

## I. Contexte de la thèse : l'Astérosismologie

## II. Travail réalisé ou en cours

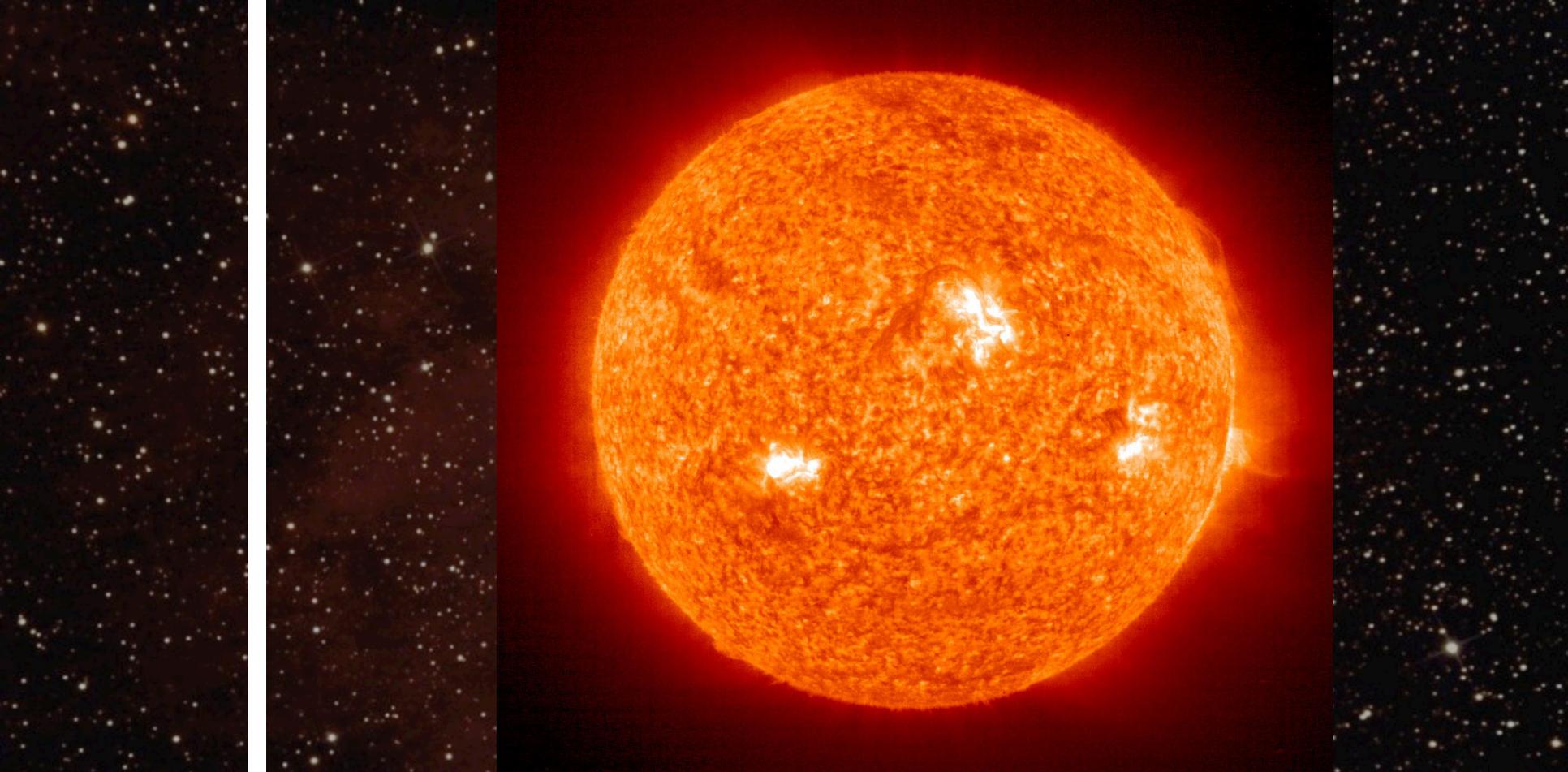
- a) Rotation interne
- b) Rotation de surface
- c) Activité magnétique

## III. Projets futurs

- a) Influence d'un champ magnétique fossile
- b) Étude de la rotation différentielle



# I. Contexte de la thèse



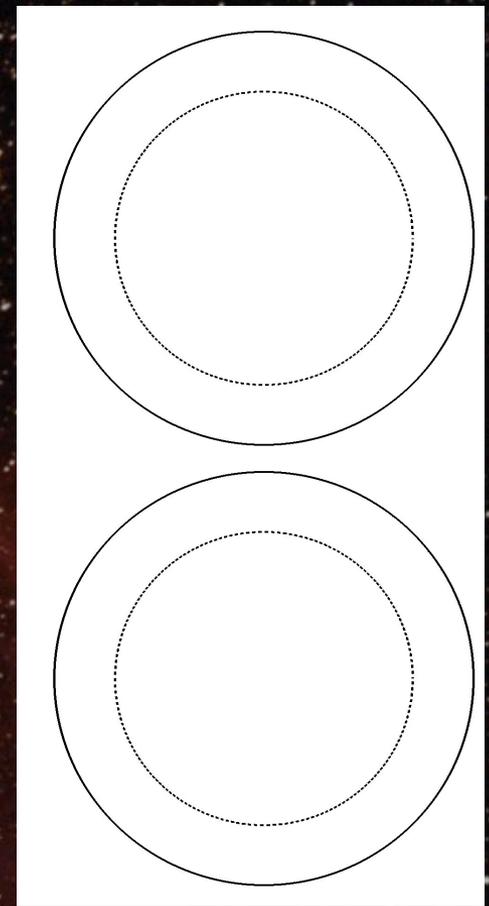
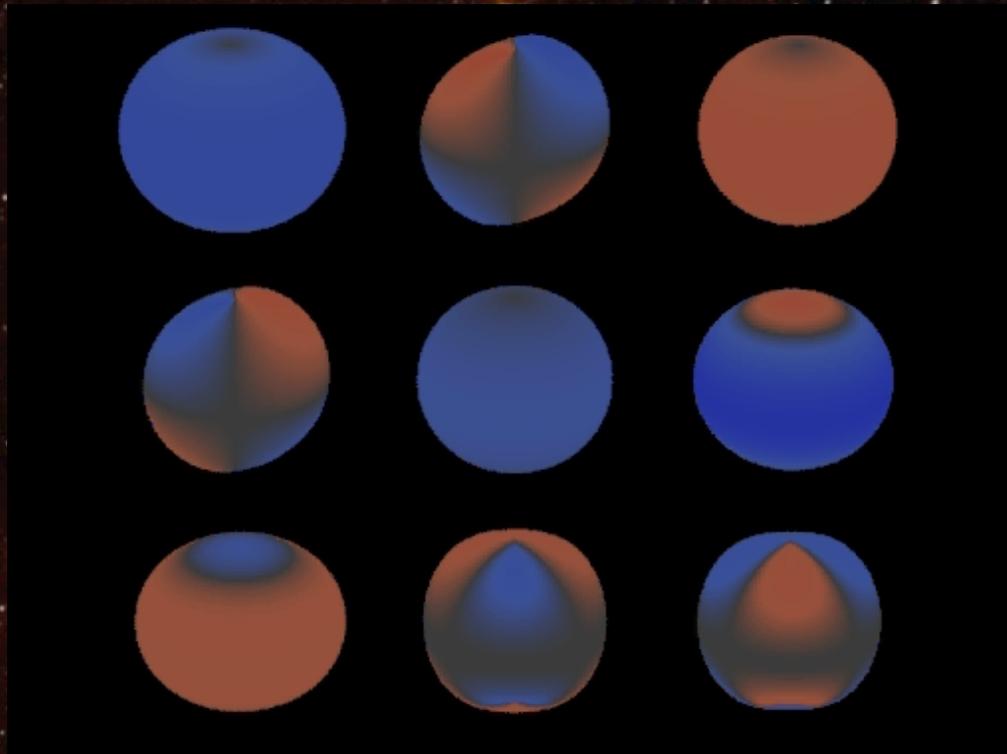
## Observer et étudier les étoiles

- Photons : informations sur la photosphère

Comment  
obtenir des  
informations sur  
l'intérieur des  
étoiles ?

Observer et étudier les étoiles

Il ne faut plus regarder les étoiles mais les écouter !

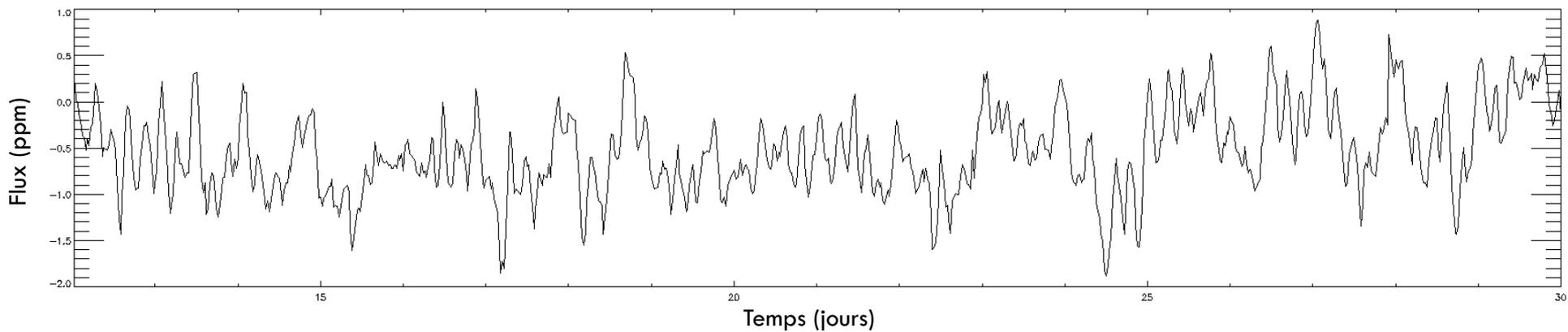


## I. Contexte : l'Astérosismologie

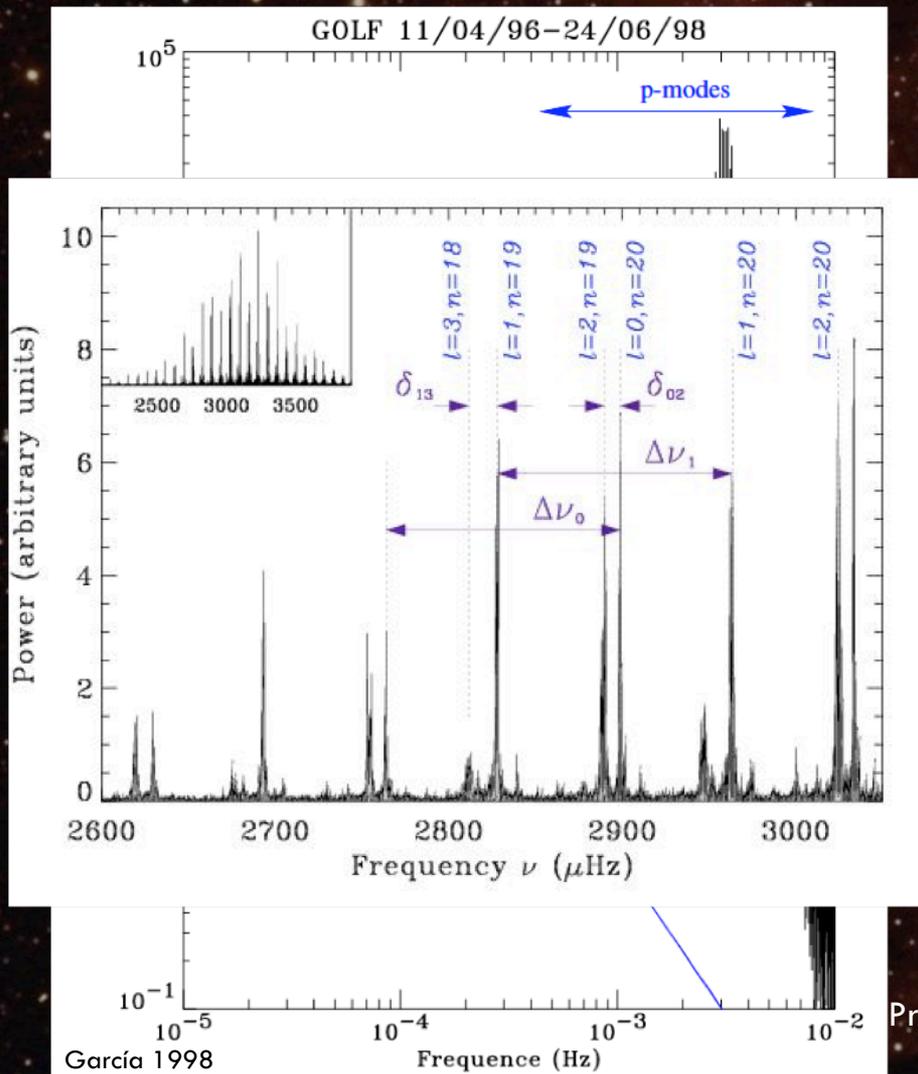
Les étoiles comme des cavités résonnantes : des modes propres se développent.

# I. Contexte de la thèse

- « Écouter » la luminosité des étoiles



# I. Contexte de la thèse



- Obtenir des informations : le spectre de puissance

# I. Contexte de la thèse

- Les avancées de l'Astérosimologie
  - Sondage des intérieurs de milliers d'étoiles (CoRoT, Kepler)
  - Estimations de paramètres stellaires
    - Structure : Masse, Rayon, BZC
      - Distinction de l'état évolutif des géantes rouges
    - Dynamique : Rotation interne, Convection

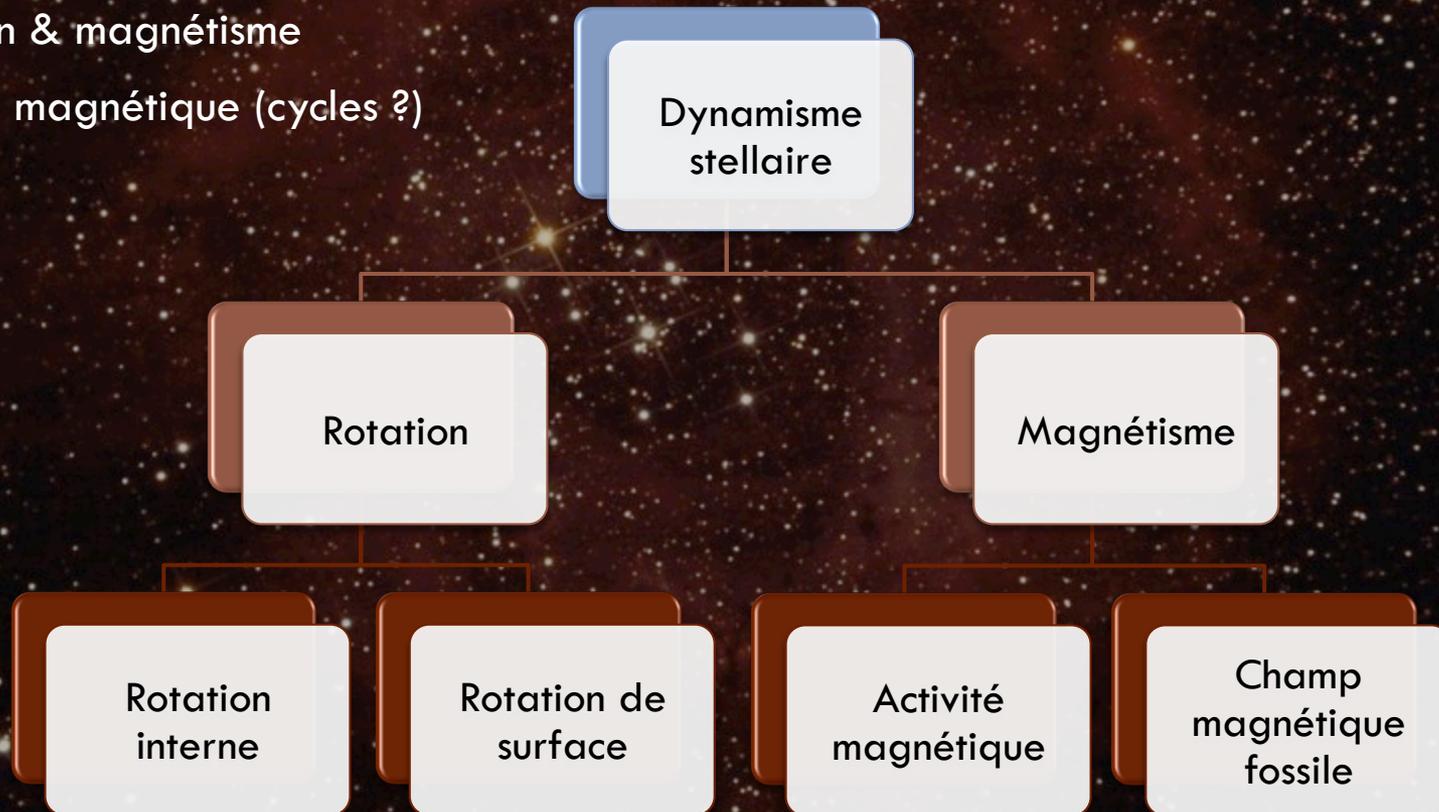
# I. Contexte de la thèse

- Objectifs de la thèse : Dynamisme stellaire
  - ▣ Étudier l'influence de la rotation et du magnétisme sur l'évolution stellaire
  - ▣ Comprendre l'activité magnétique (cycles ?) des étoiles

# I. Contexte de la thèse

## □ Objectifs de la thèse : Dynamisme stellaire

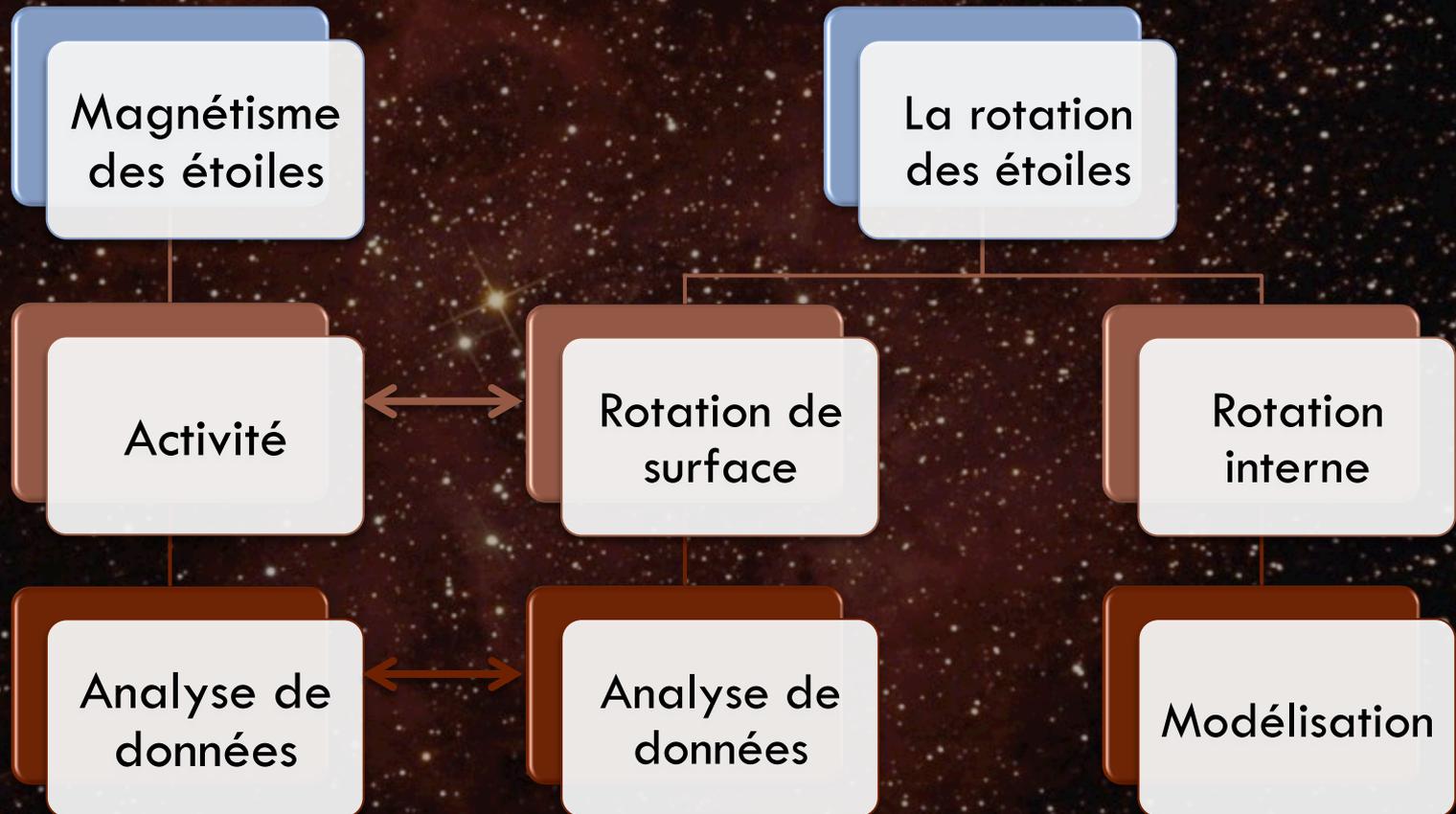
- Rotation & magnétisme
- Activité magnétique (cycles ?)



## II. Travail réalisé ou en cours

- Rotation interne
- Rotation de surface
- Activité magnétique

## II. Travail réalisé ou en cours



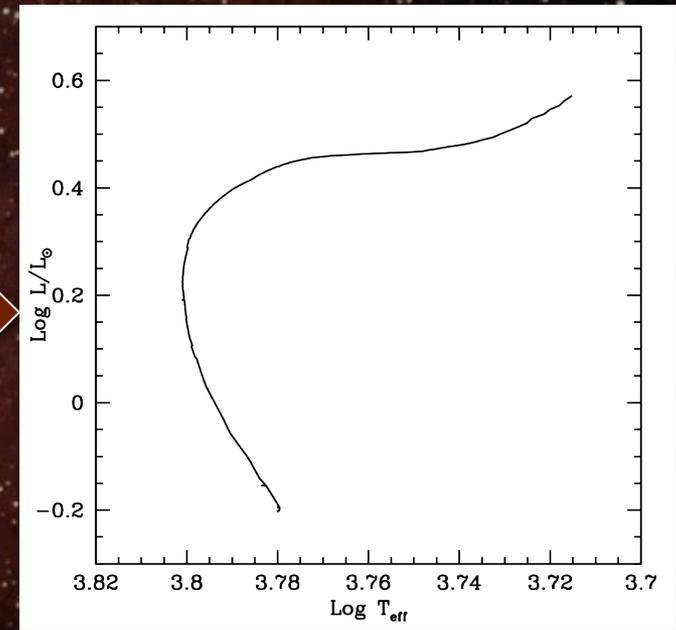
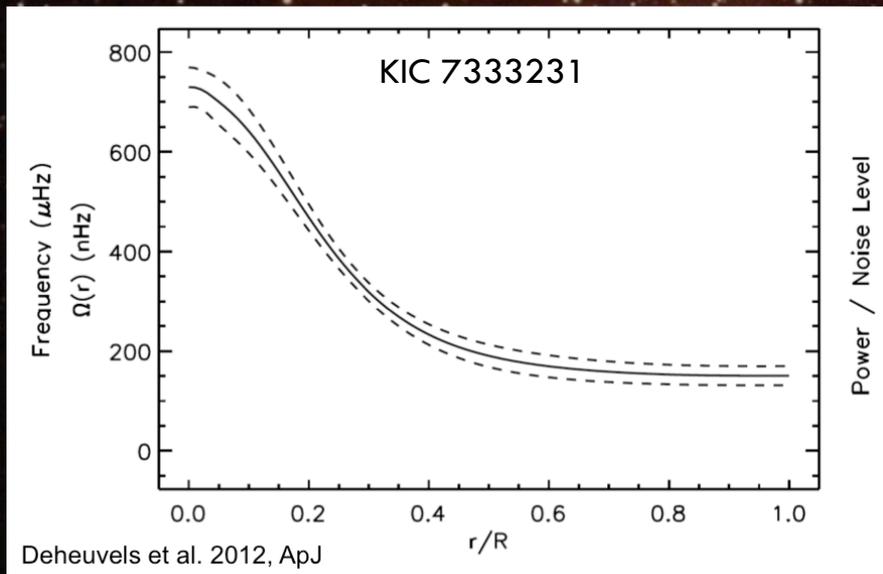
## II. Travail réalisé ou en cours

- Rotation interne
- Rotation de surface
- Activité magnétique

# II. Travail réalisé ou en cours

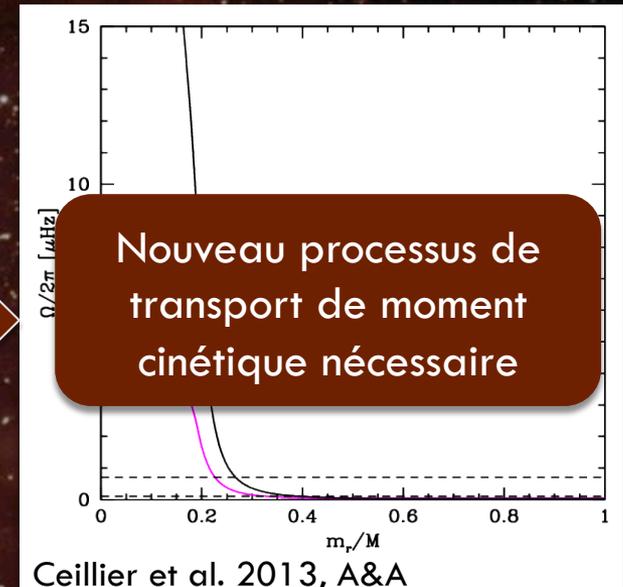
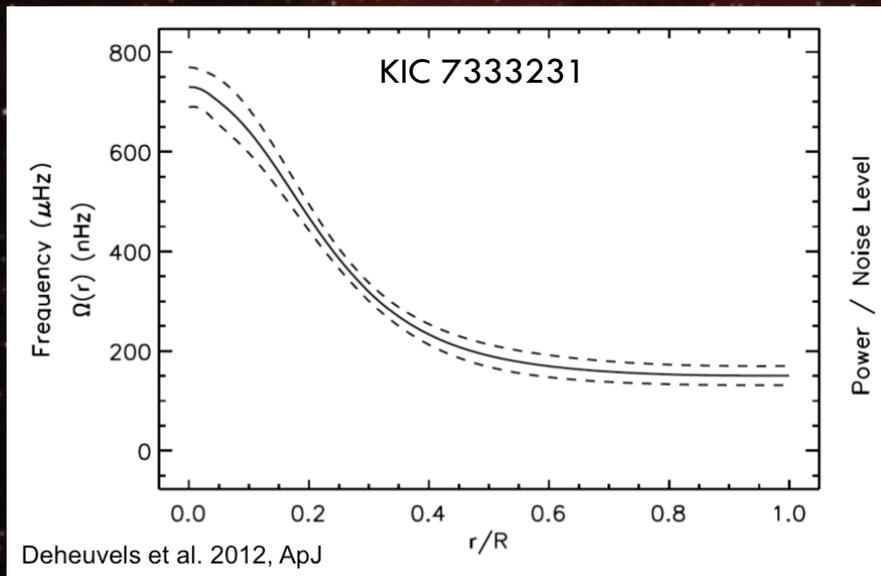
## □ Rotation interne : modélisation

Modélisation stellaire 1D avec rotation : Code de Genève



# II. Travail réalisé ou en cours

## □ Rotation interne : modélisation



→ Deheuvels, ..., Ceillier et al. 2014, A&A 564

Pinsonneault et al. 1989  
Turck-Chièze et al. 2010  
Marques et al. 2013

## II. Travail réalisé ou en cours

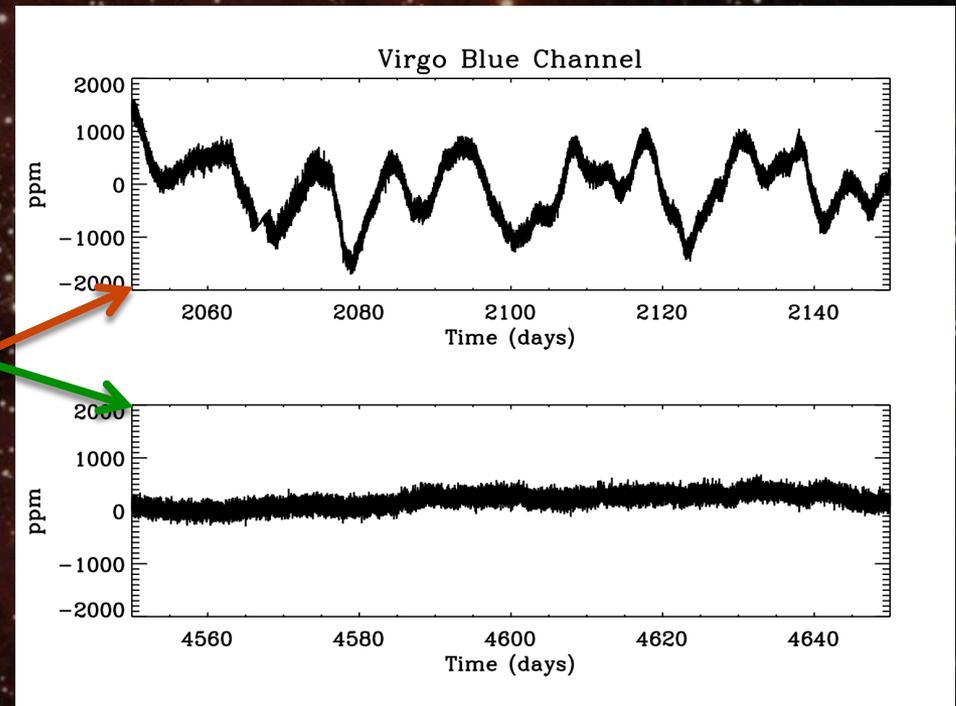
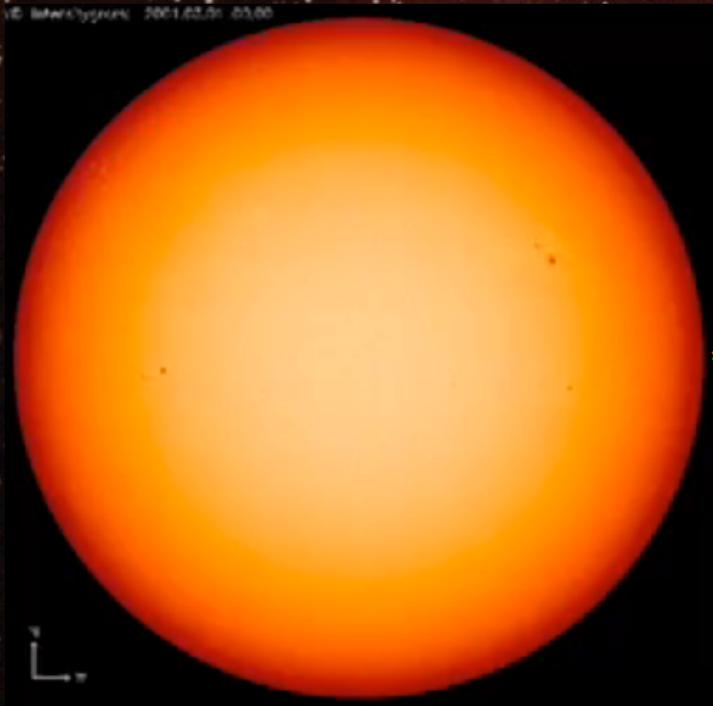
- Rotation interne
- Rotation de surface
- Cycles d'activité

## II. Travail réalisé ou en cours

- Extraire la rotation de surface des étoiles
  - Contraindre les profils de rotation interne
  - Estimer l'âge des étoiles (gyrochronologie)
  - Dérivée l'inclinaison de l'étoile (spectroscopie)
  - Étudier la rotation différentielle en latitude
  - Interactions étoile-planète :  
étoiles isolées / systèmes multiples

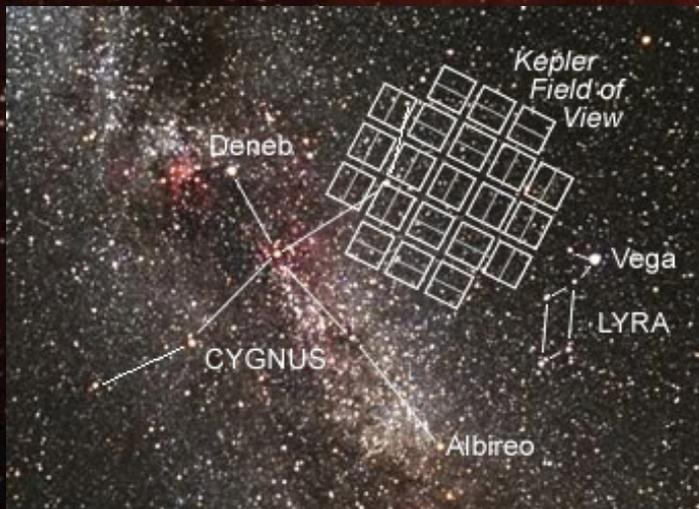
## II. Travail réalisé ou en cours

- Principe de détection de la rotation de surface



## II. Travail réalisé ou en cours

### □ L'instrument : le satellite *Kepler*

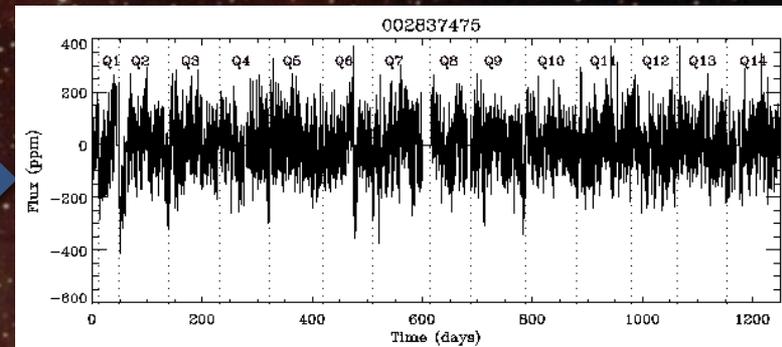
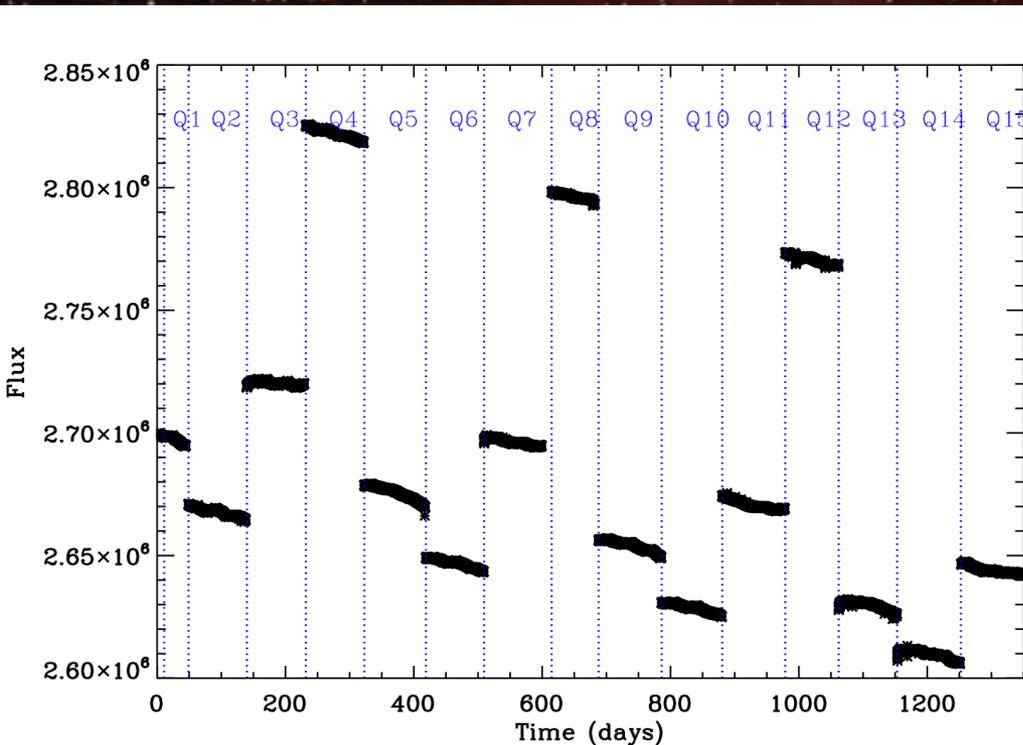


Borucki et al. 2010



# II. Travail réalisé ou en cours

## □ Méthodologie – Correction des données

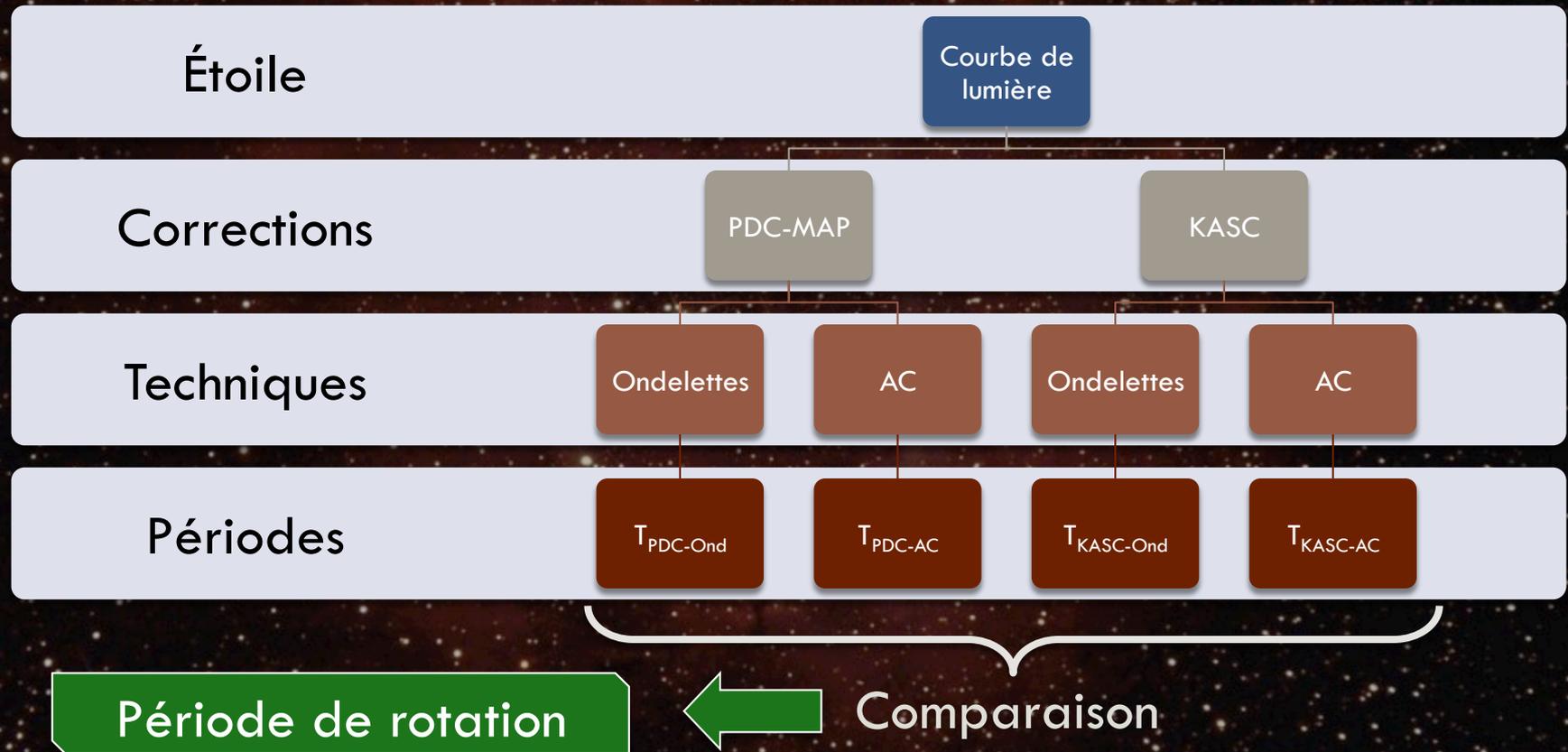


Présentation orale  
CoRoT Week 11, Mars 2013, Tenerife

Conserver le signal stellaire / Éliminer les effets instrumentaux

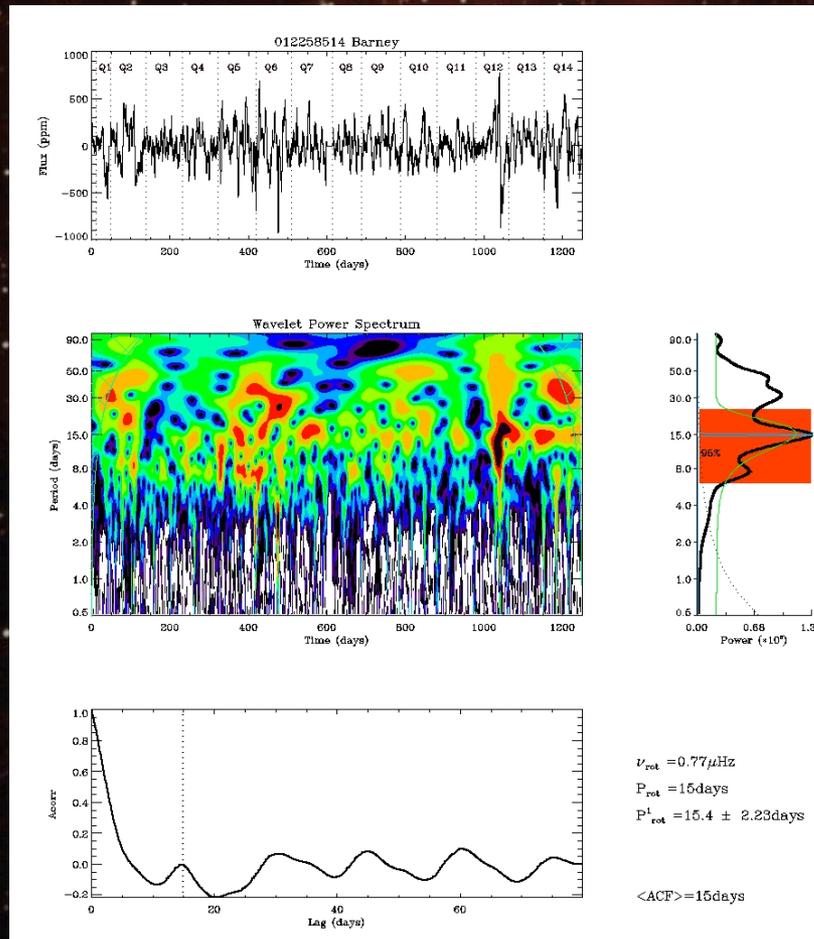
# II. Travail réalisé ou en cours

## □ Méthodologie – Principe global



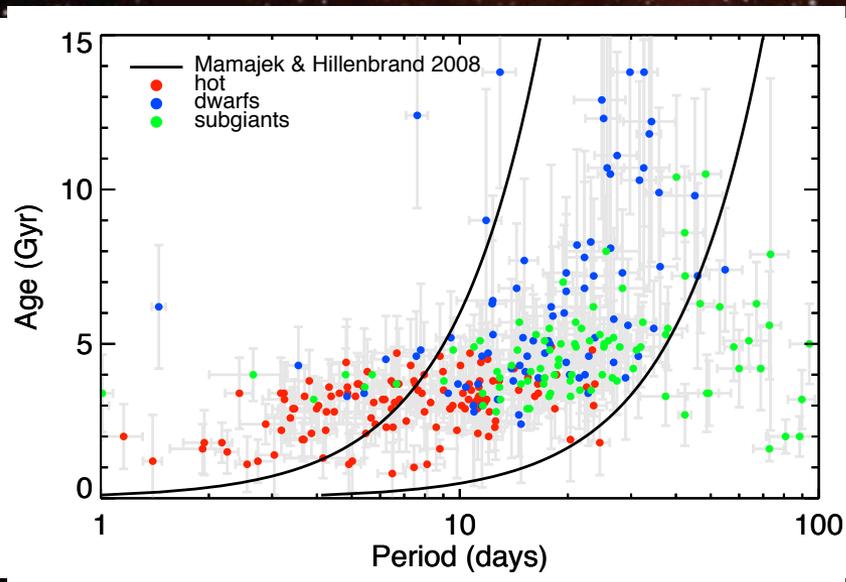
# II. Travail réalisé ou en cours

## □ Méthodologie – Principe global



## II. Travail réalisé ou en cours

- Applications – Étoiles pulsantes de type solaire (540)
  - ▣ Adaptation de la méthodologie à ce type d'étoile
  - ▣ Développement d'une comparaison robuste des  $P_{\text{rot}}$
  - ▣ Vérification visuelle des périodes
  - ▣ Extraction des signaux plats



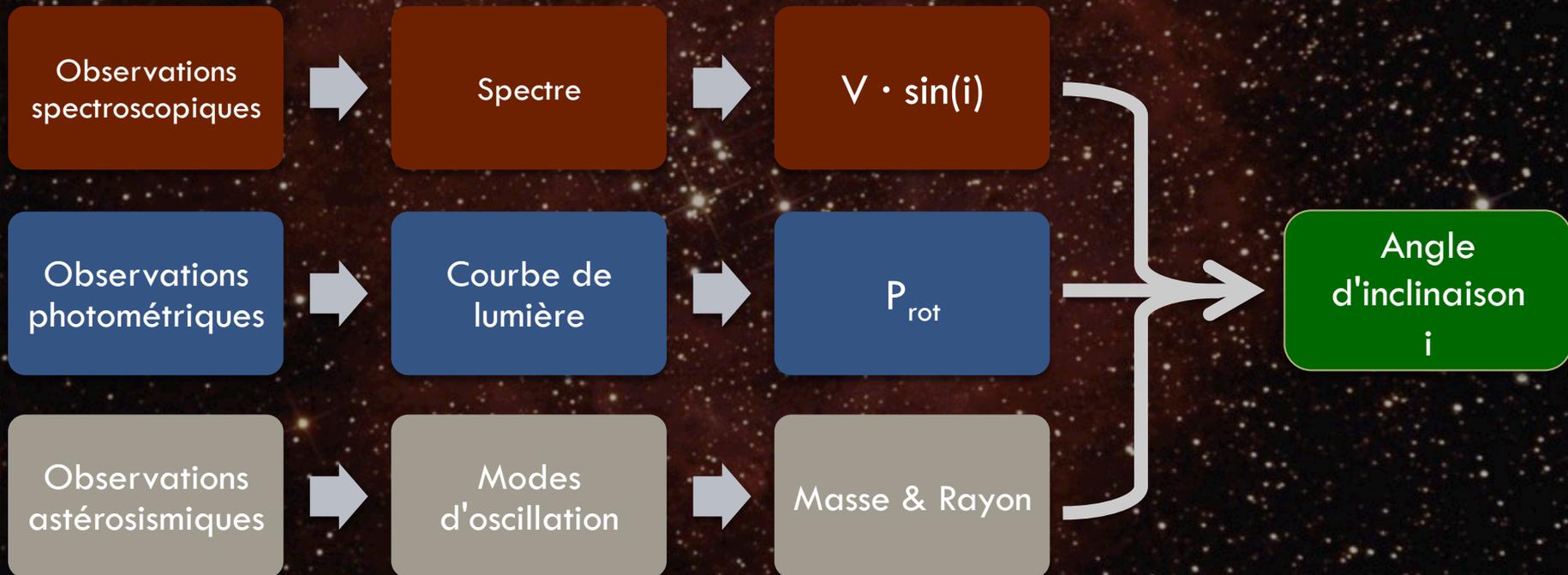
García, Ceillier et al., soumis

Analogues solaires : Do Nascimento, ..., Ceillier et al., accepté

## II. Travail réalisé ou en cours

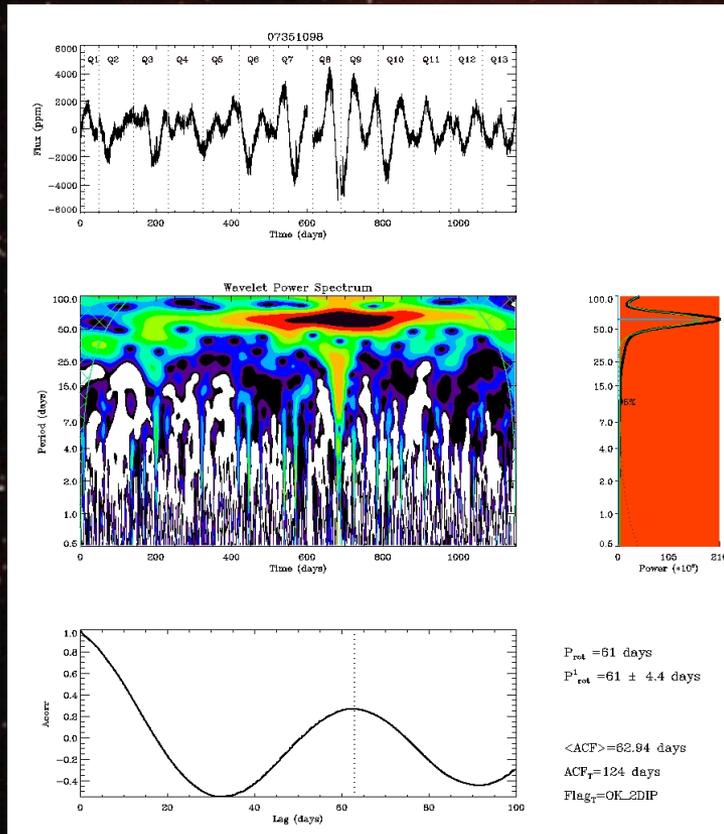
□ Applications – Type solaire & Géantes rouges (5200)

□ Collaboration avec APOGEE (SDSSIII)



# II. Travail réalisé ou en cours

- Applications – Géantes rouges (16 000)
  - ▣ Catalogue global



- Détecter les géantes rouges actives
- Suivre l'évolution de la rotation en phases sous-géante et géante

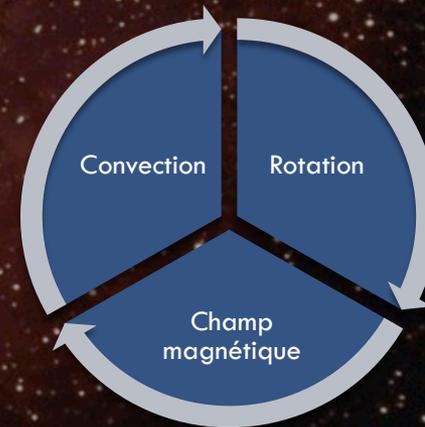
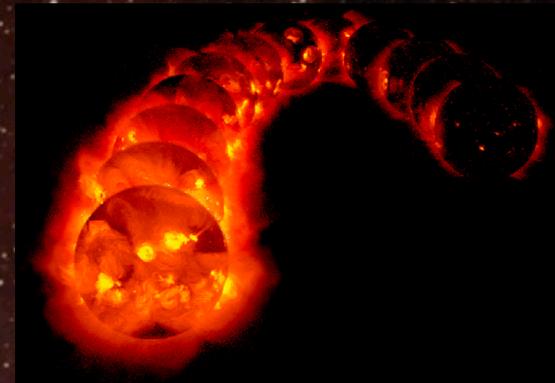
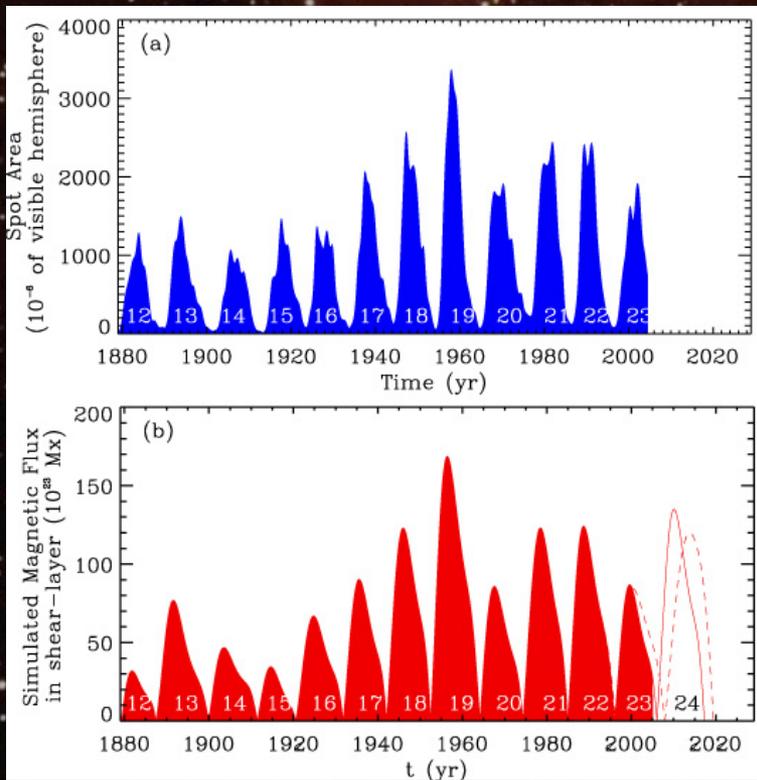
Ceillier et al. 2014b, en préparation

## II. Travail réalisé ou en cours

- Rotation interne
- Rotation de surface
- Activité magnétique

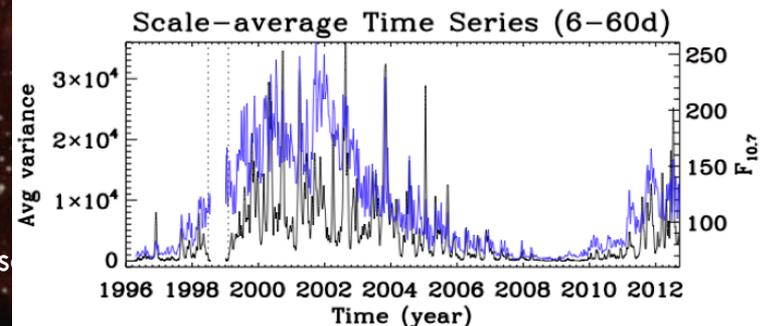
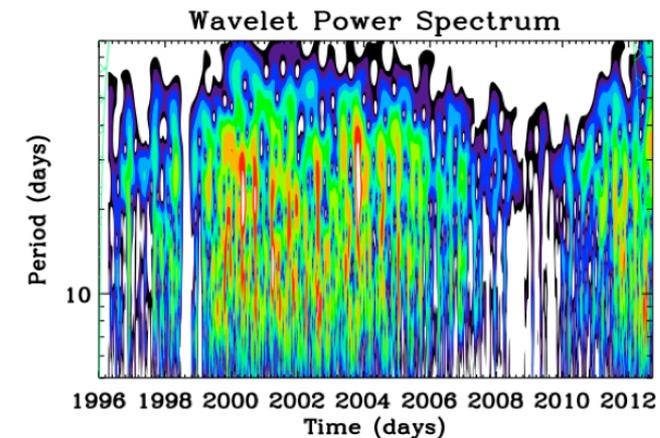
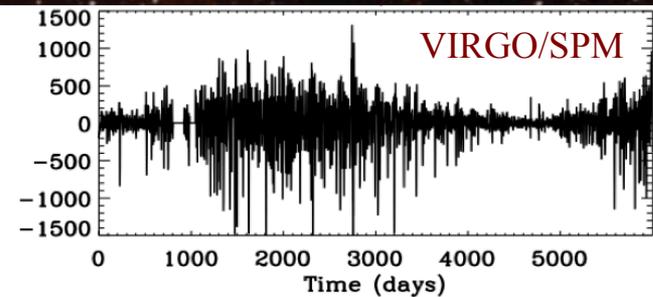
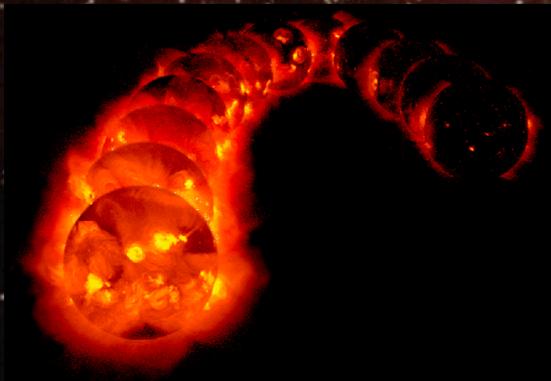
## II. Travail réalisé ou en cours

- Qu'est-ce qu'un cycle d'activité ?



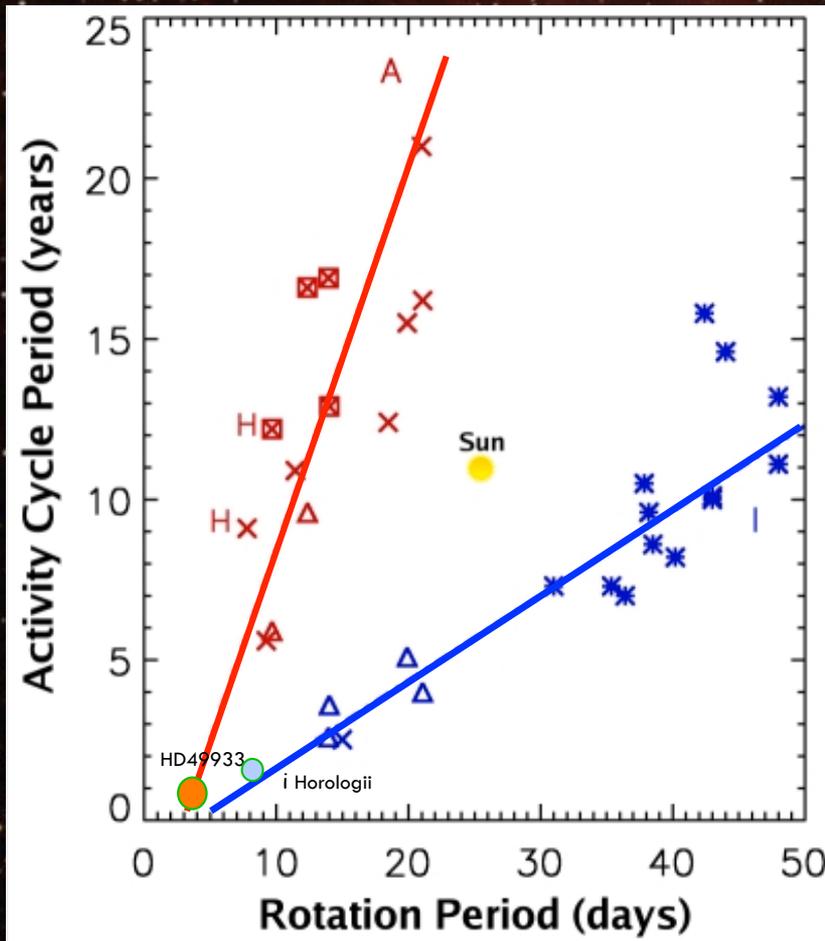
# II. Travail réalisé ou en cours

- Méthode de détection
  - ▣ Application au Soleil



## II. Travail réalisé ou en cours

### □ Exemples – Observations spectroscopiques



Lien fort entre rotation et cycle d'activité

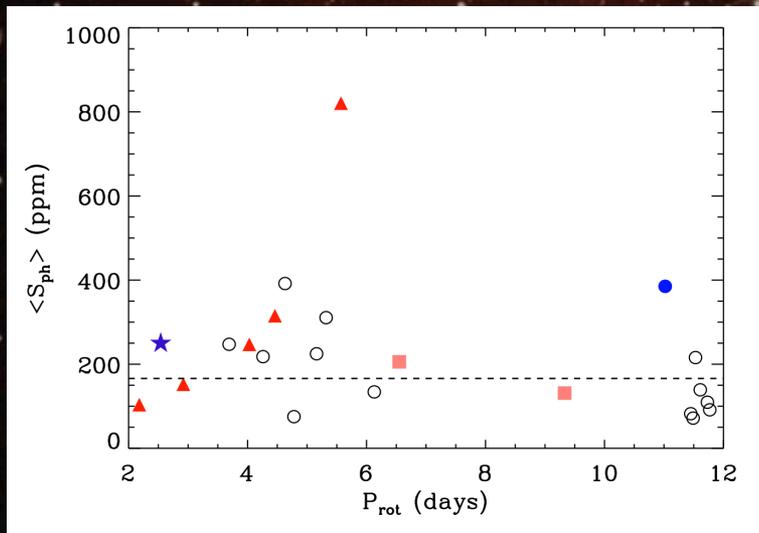
Saar & Brandenburg 2002  
Bohm-Vitense 2007  
Brun et al. 2011

# II. Travail réalisé ou en cours

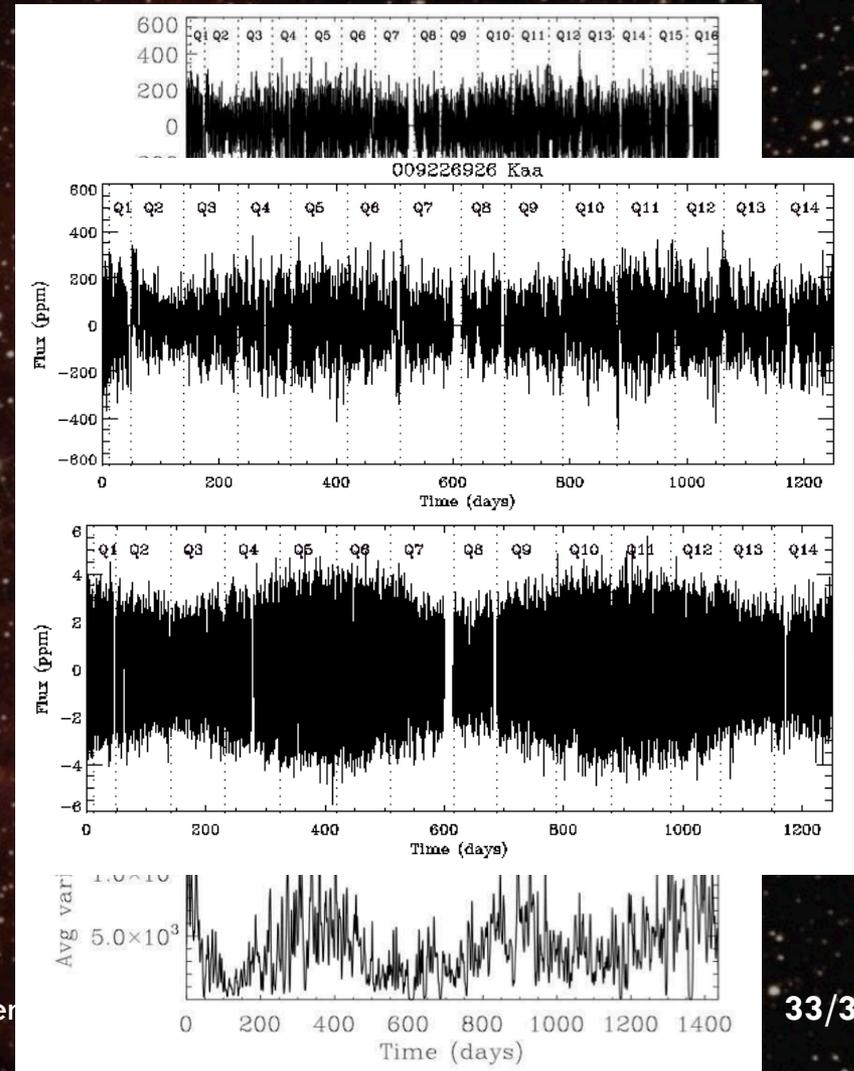
## □ Modulations de l'activité magnétique (22 étoiles)

KIC 9226926 (Kaa) :

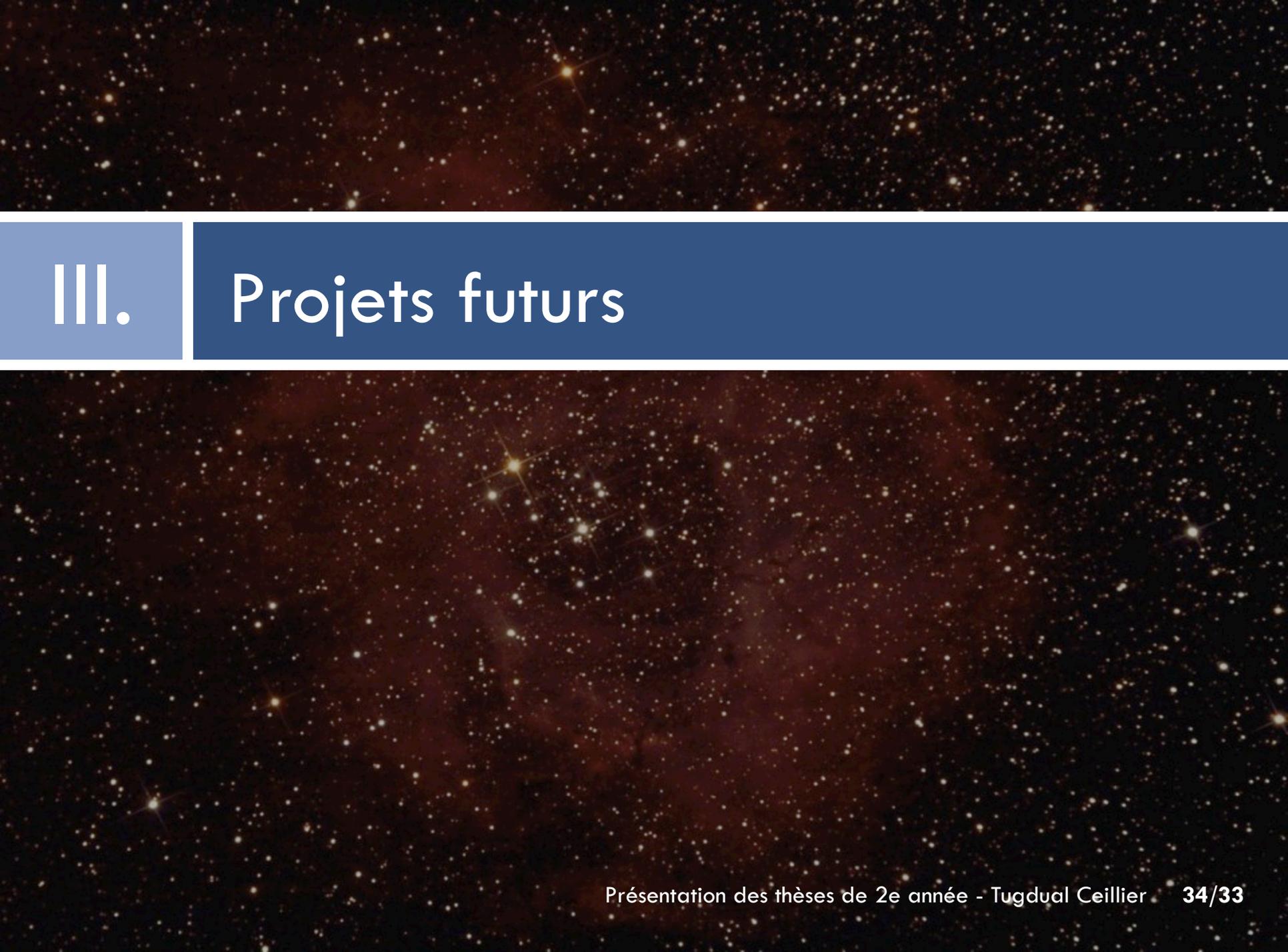
- étoile F
- $P_{\text{rot}} = 2,2$  jours
- Astérosismologie :  $M \sim 1,37 M_{\odot}$



Mathur, ..., Ceillier et al. 2014a, A&A 562



Présen



# III. Projets futurs

# III. Projets futurs

- Influence de la géométrie d'un champ magnétique fossile sur les modes d'oscillation
  - ▣ Collaboration avec M. Thompson (HAO, Boulder, USA) et S. Mathis (SAp, CEA)
- Suite du travail de modélisation stellaire
  - ▣ Participation à l'école d'été MESA 2014
- Rotation différentielle latitudinale (solaire et anti-solaire)
  - ▣ Collaboration avec A.S. Brun et R.A. García (SAp, CEA)

# Conclusion

- Travail réalisé, en cours et à venir
  - Approche globale de la rotation
  - Compréhension de l'activité stellaire
  - Prise en compte du dynamisme stellaire
- Collaborations
  - Observatoire de Paris / IAS
  - IRAP, Toulouse
  - Observatoire de Genève, Suisse
  - High Altitude Observatory, Boulder, USA
  - Université de Louvain, Belgique
- Articles soumis ou acceptés
  - 1 publié : Ceillier et al. 2013, A&A, 555, 54C
  - 3 en co-auteur : García et al. 2014a; Mathur et al. 2014; Deheuvels et al. 2014
  - 4 soumis : García et al. b&c; Mathur et al.; Do Nascimento et al.
  - 3 en préparation : García et al.; Ceillier et al. a & b

**Merci de votre attention**

