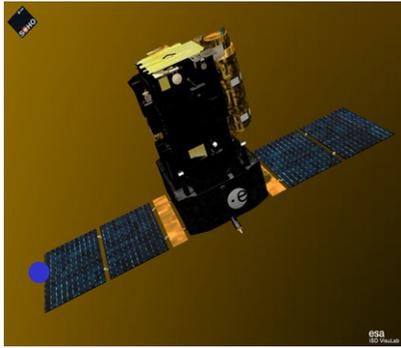


# **Les champs magnétiques internes des étoiles**

**Prédictions et mesures dans la raie  
du sodium**

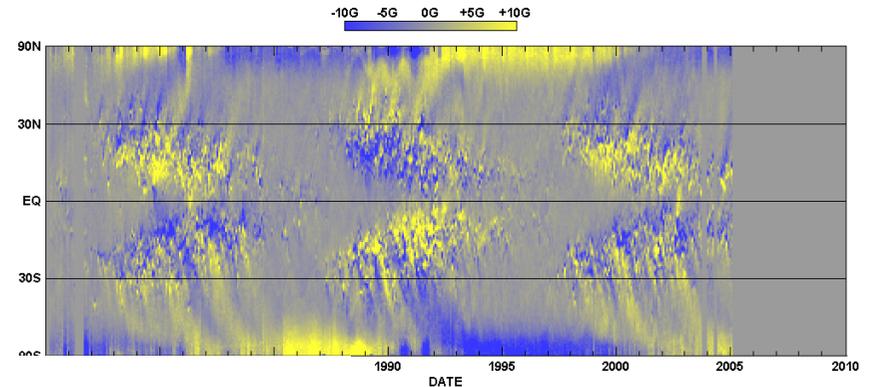


# Qu'avons-nous appris grâce aux 10 ans d'observations de SOHO?

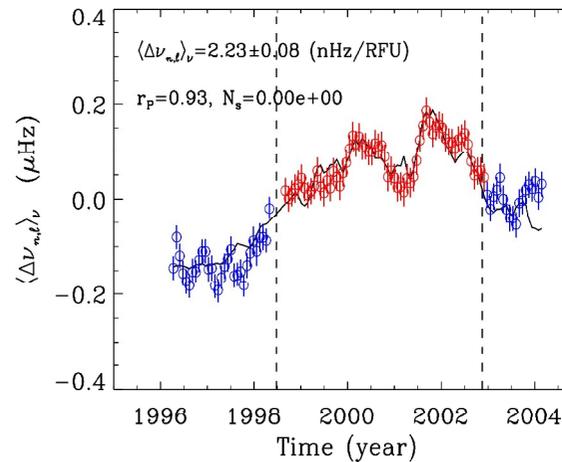
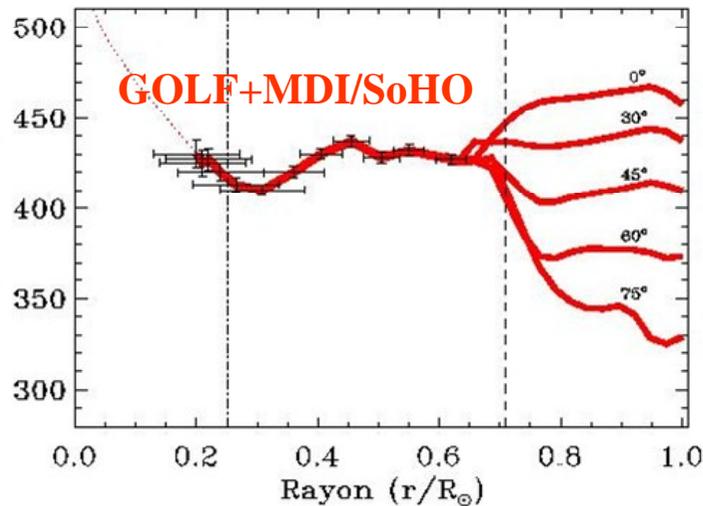
L'activité solaire lente et organisée n'est pas un phénomène purement superficiel

- Elle concerne au moins les 30% en rayon externes et le processus de dynamo
- dépend clairement du profil de rotation

LONGITUDINALLY AVERAGED MAGNETIC FIELD



Kosovichev et al. 1997



Garcia et al. 2003

ISANSSTC/Hathaway 2005/02

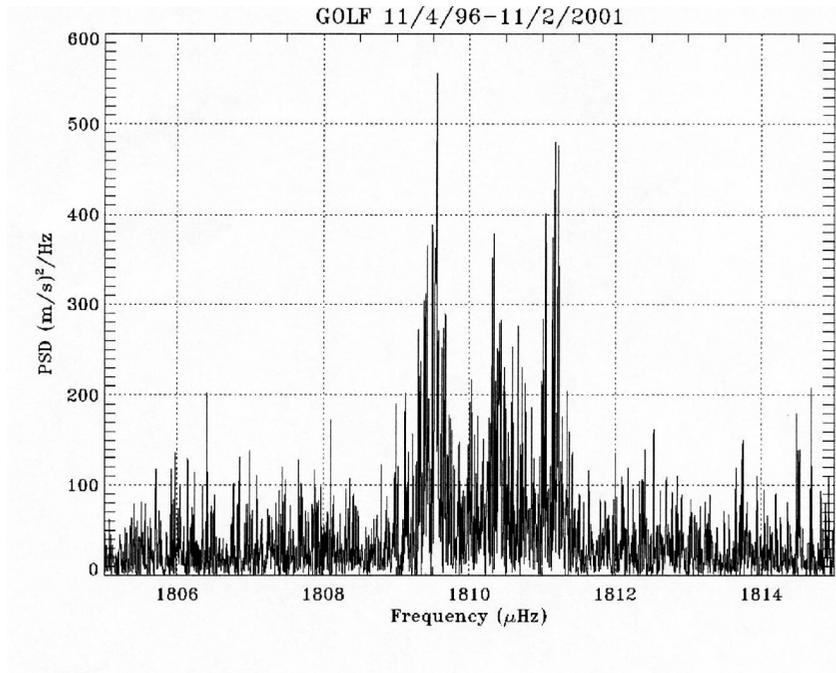
Radio Flux ( $10^{-8} \text{ J/s/m}^2/\text{Hz}$ )

**Tachocline  $B < 300 \text{ kG}$ ,  
Région radiative:  $B < 30 \text{ MG}$   
limite de 7 MG ?  
Venant de la déformation  
Du Soleil**

Couvidat et al. 2003

Couvidat et al., 2003

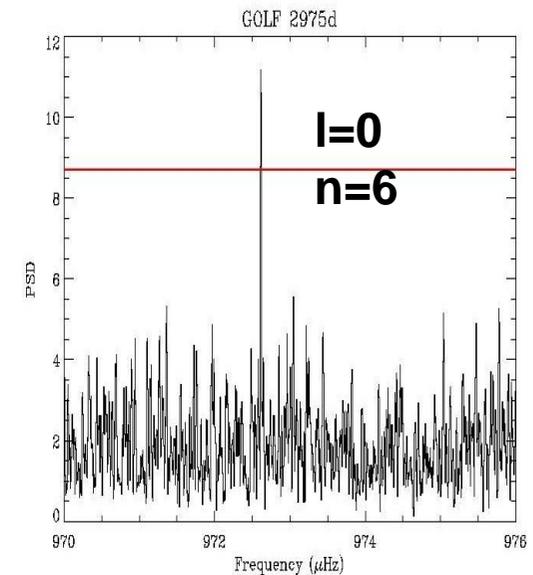
# Modes acoustiques



$\Delta c/c$   $10^{-5}$

$\Delta$  splitting 3% B??

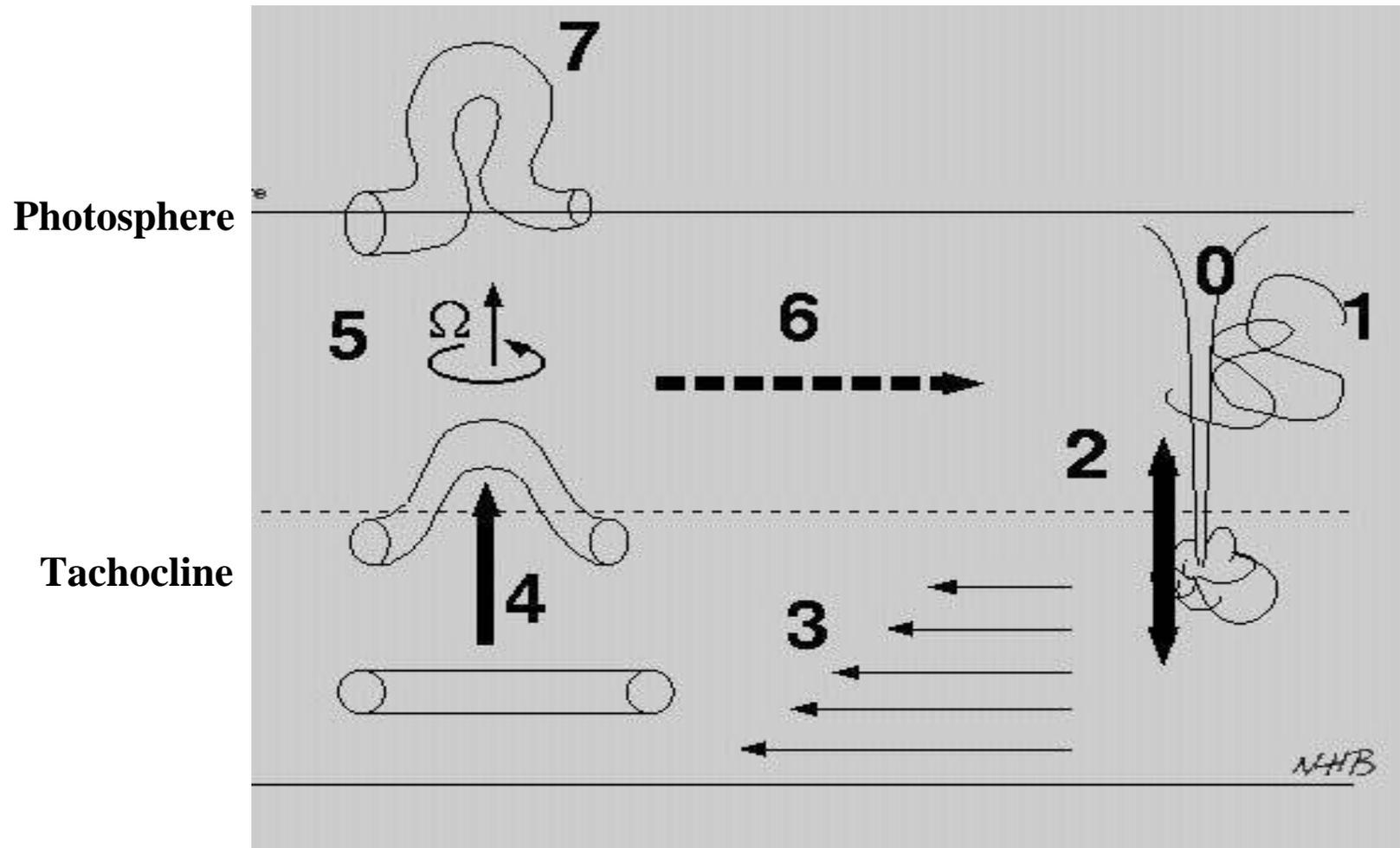
Pmag faible sauf à la surface



**Intérêt des basses fréquences** ->

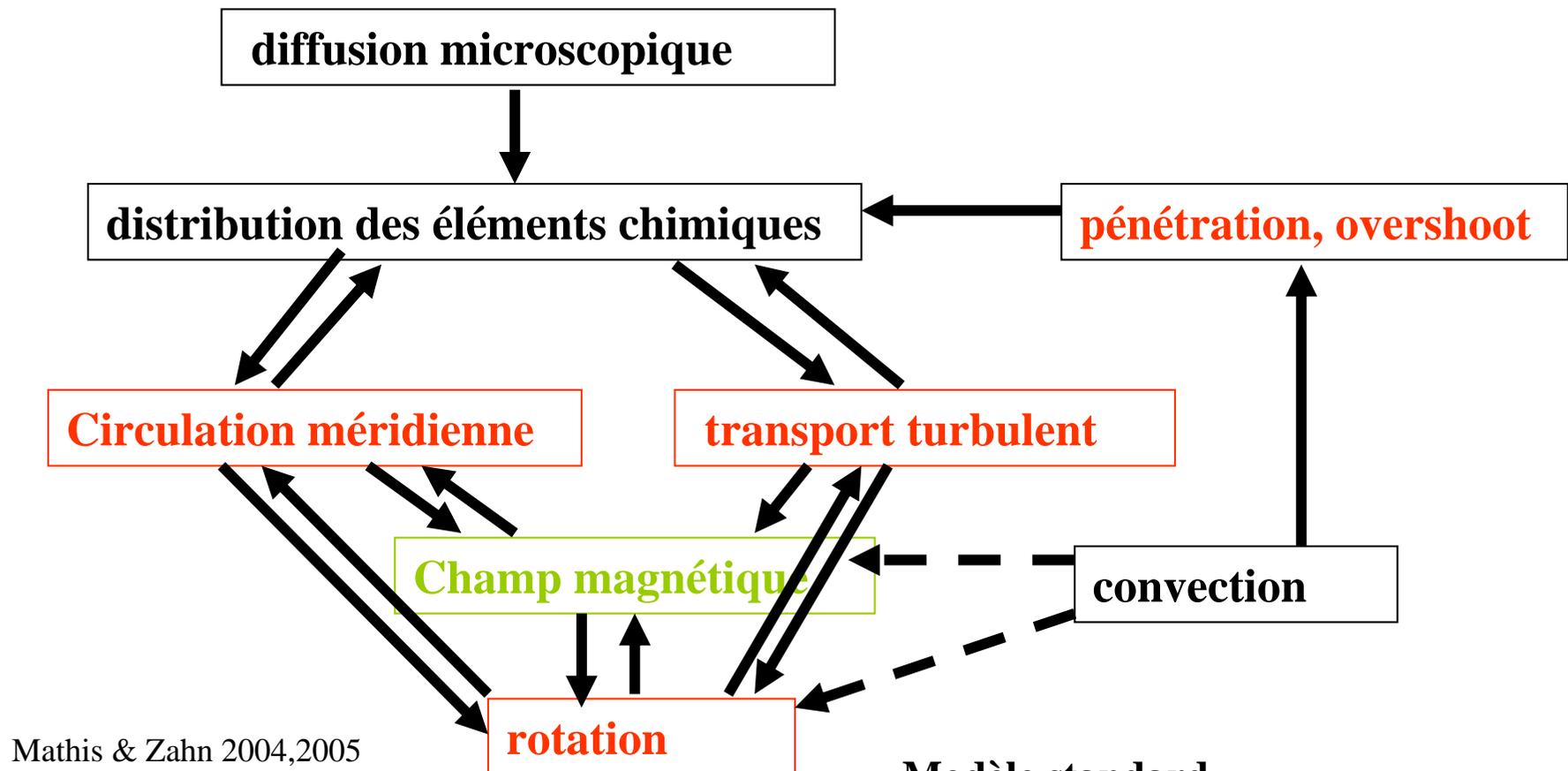
**Modes mixtes, modes de gravité:  
98% masse du Soleil**

# Rôle de la tachocline



Brummell

# Introduction des processus dynamiques dans les codes d'évolution stellaire



Mathis & Zahn 2004,2005

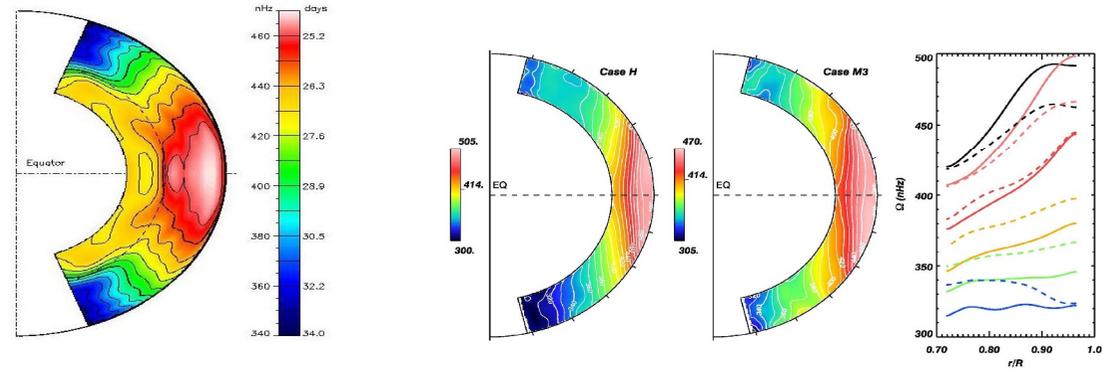
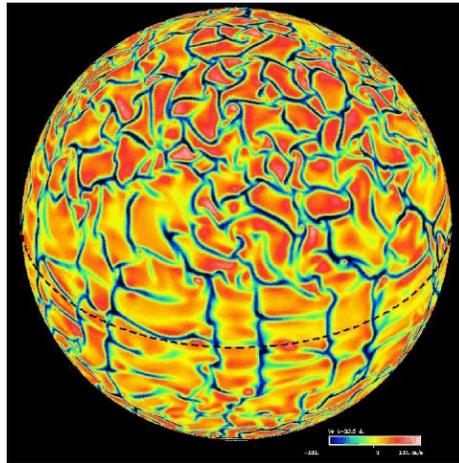
Modèle standard

Modèle sismique

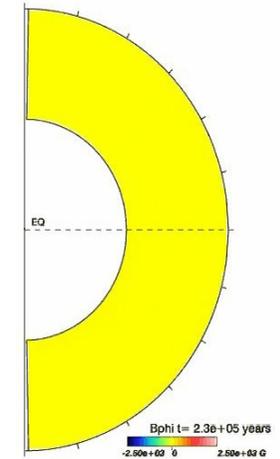
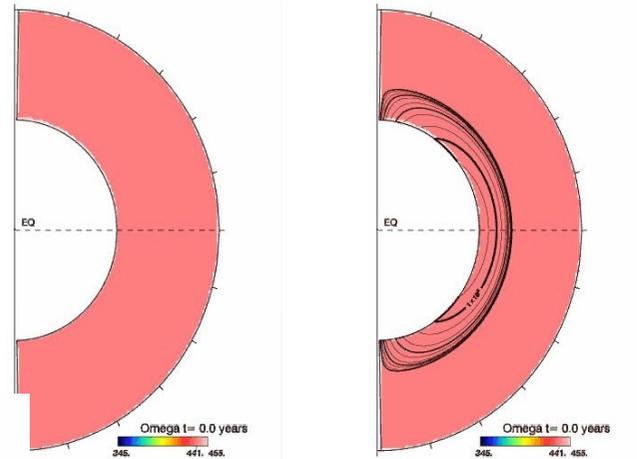
Modèle Magnétohydrodynamique

# Importance des simulations MHD 3D

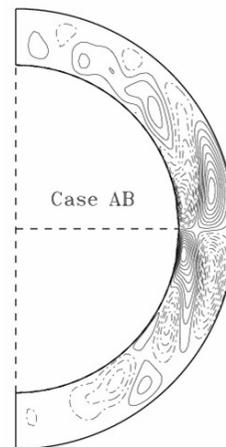
Nordlund & Stein, Brun & Toomre 2002



Rudiger & Kitchakinov;  
Brun & al. 2005



**Asymétrie entre pôle et équateur Convection => asymétrie, thermique circulation méridienne**

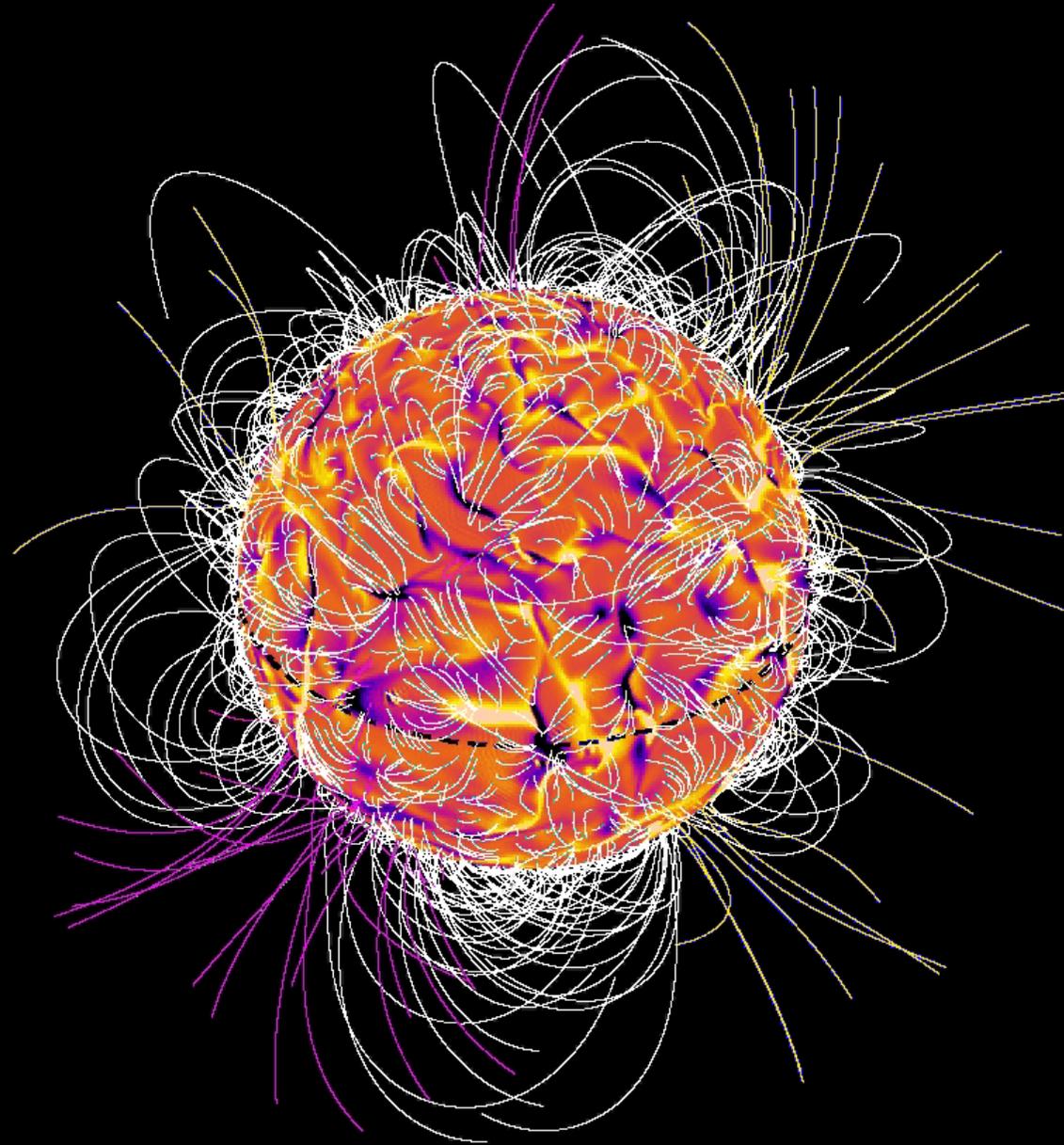


## Simulations de la région radiative

la tachocline pénètre la région radiative

Avec un champ magnétique fossile la tachocline est bloquée mais la configuration de champ n'est pas encore bien établi

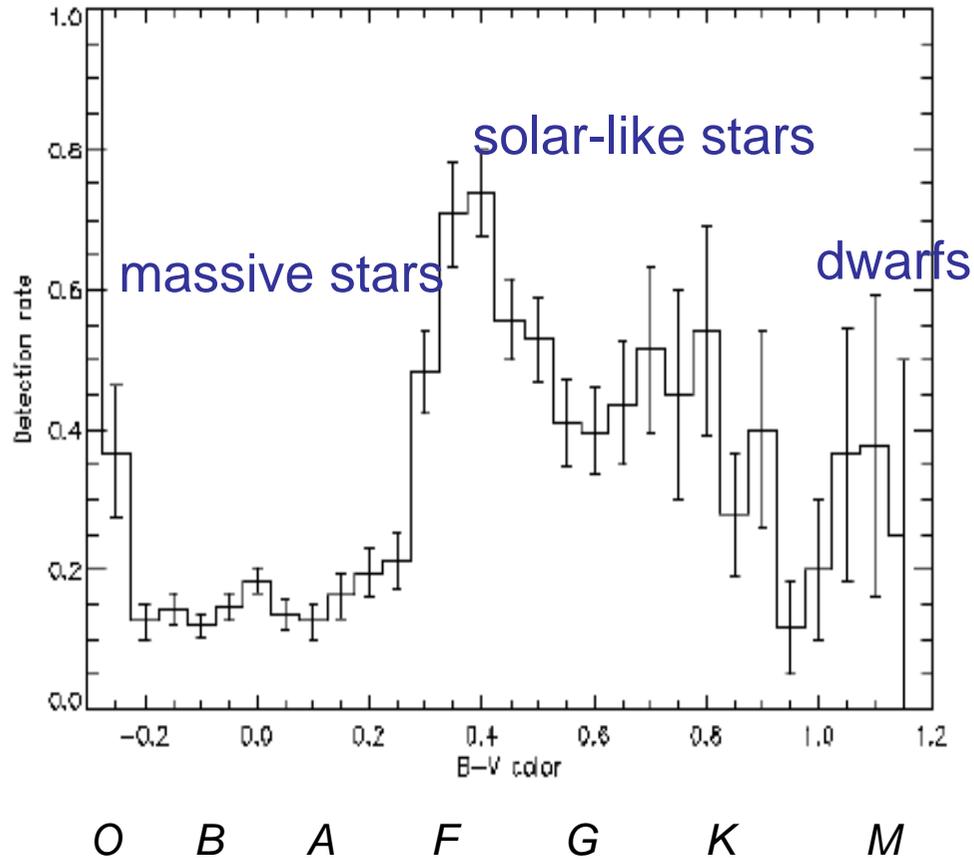
# *Reconstruction 3D du champ coronal*



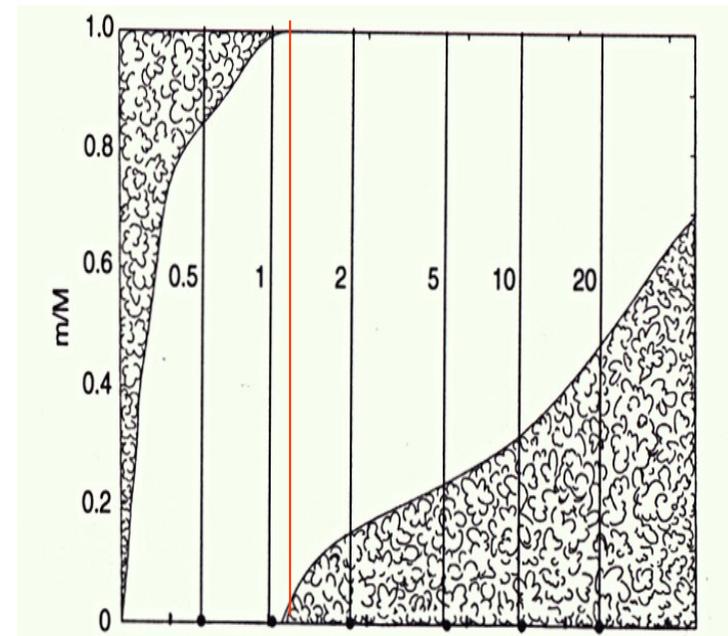
*Brun, Miesch & Toomre 2004, ApJ, 614, 1073*

**case M3**

# Luminosité X et Convection

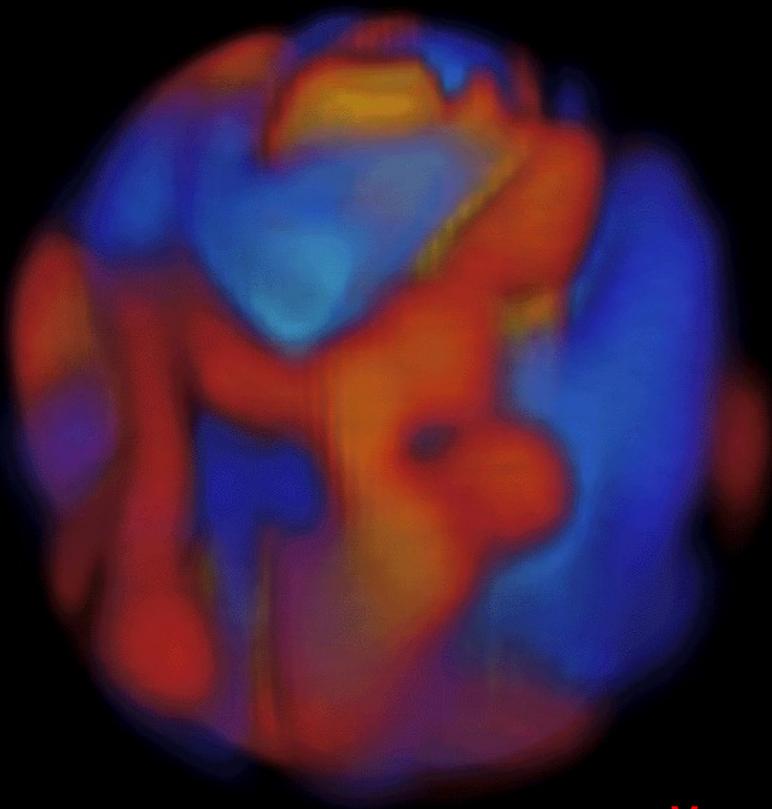


**M > 1.3 Msol**

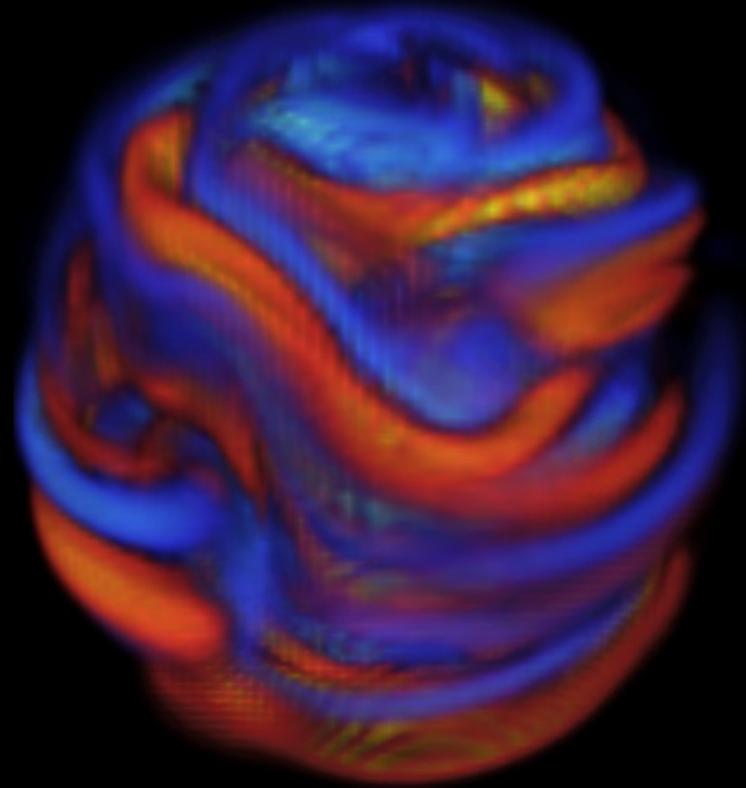


# *Dynamo du coeur des étoiles A*

*Brun, Browning, Toomre 2005, ApJ 629, 461*



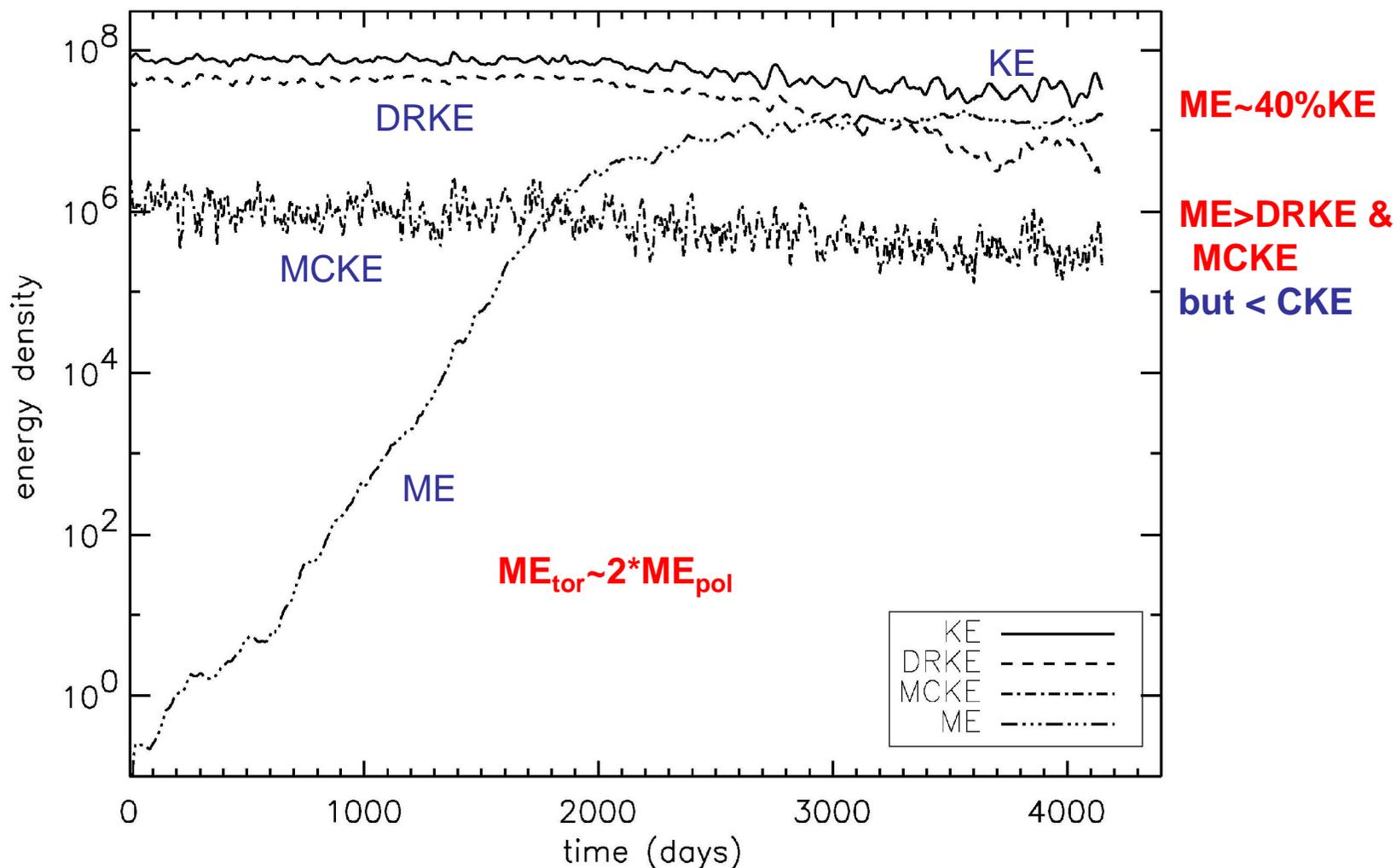
$V_r$



$B_{\phi}$

**Les mouvements du coeur amplifie le champ magnétique  $B$   
par des ordres de grandeur**

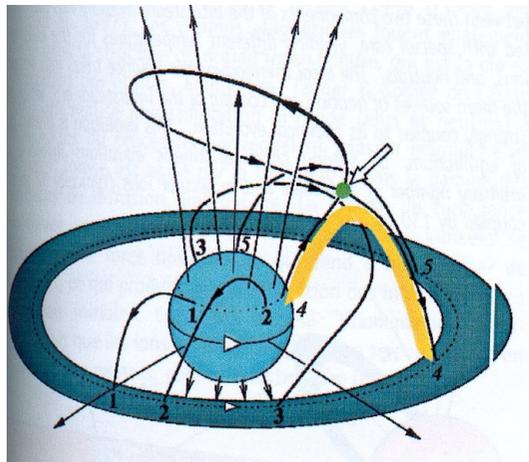
# Effet Dynamo sur l'Energie Magnétique



**La force de lorentz  $j \times B$  agit de façon non linéaire sur les mouvements et semble les ralentir**

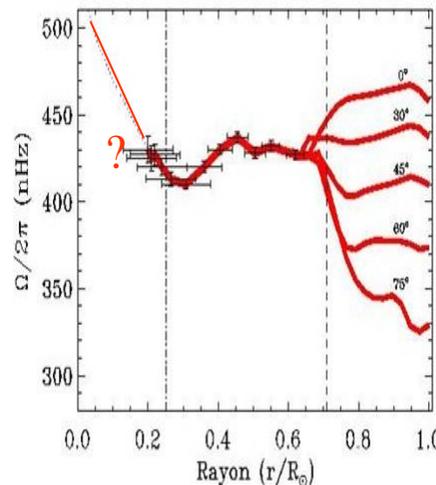
# Qu'est ce que nous devons connaître pour contraindre et valider les simulations?

- **La rotation en latitude du cœur radiatif solaire**
- **Une description dynamique du coeur**
- **Y a-t-il un vestige du champ magnétique initial, peut on le quantifier ?**
- **Quelles configurations magnétiques sont stables ?**

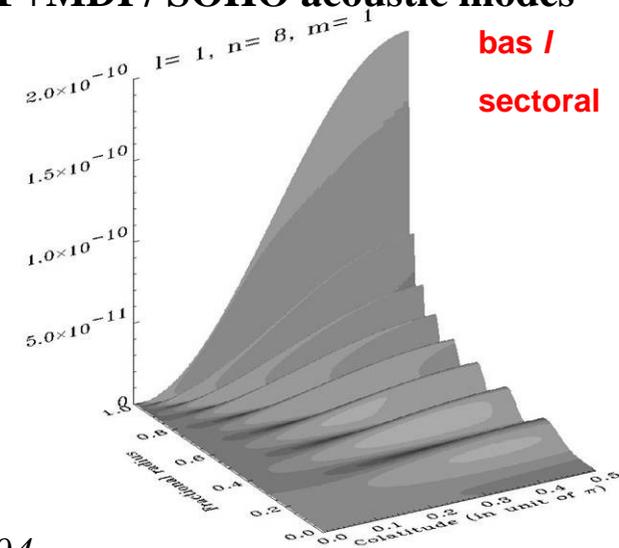


Montmerle 2000

Rotation profile from GOLF+MDI / SOHO acoustic modes



Couvidat, Garcia, T-C et al. ApJ 2004



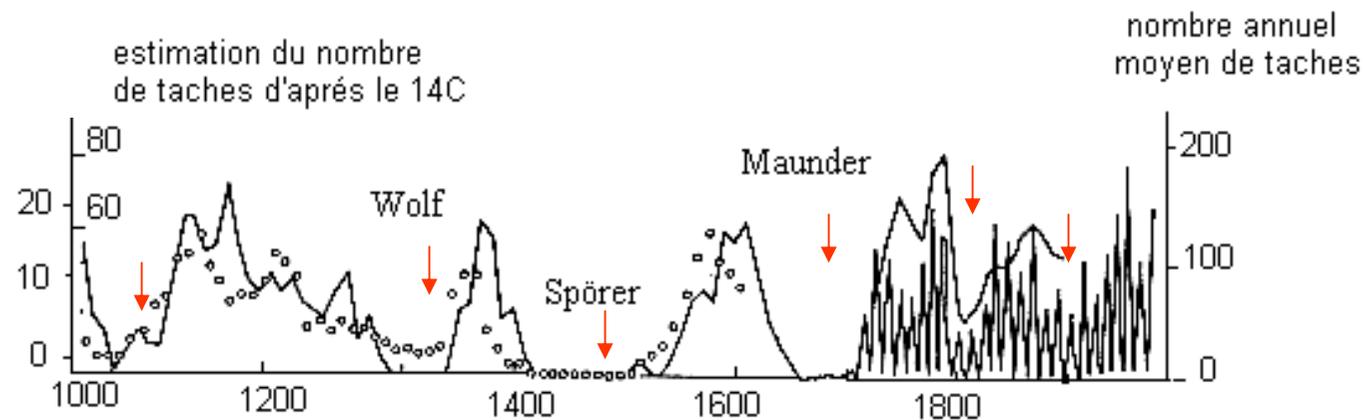
**$\Rightarrow$  Connaître les variations à moyen et long termes**

# Objectif: Comprendre le rôle du Soleil dans les variations climatiques

## Minimum de Maunder

See Solanki et al, 2004

nombre d'aurores

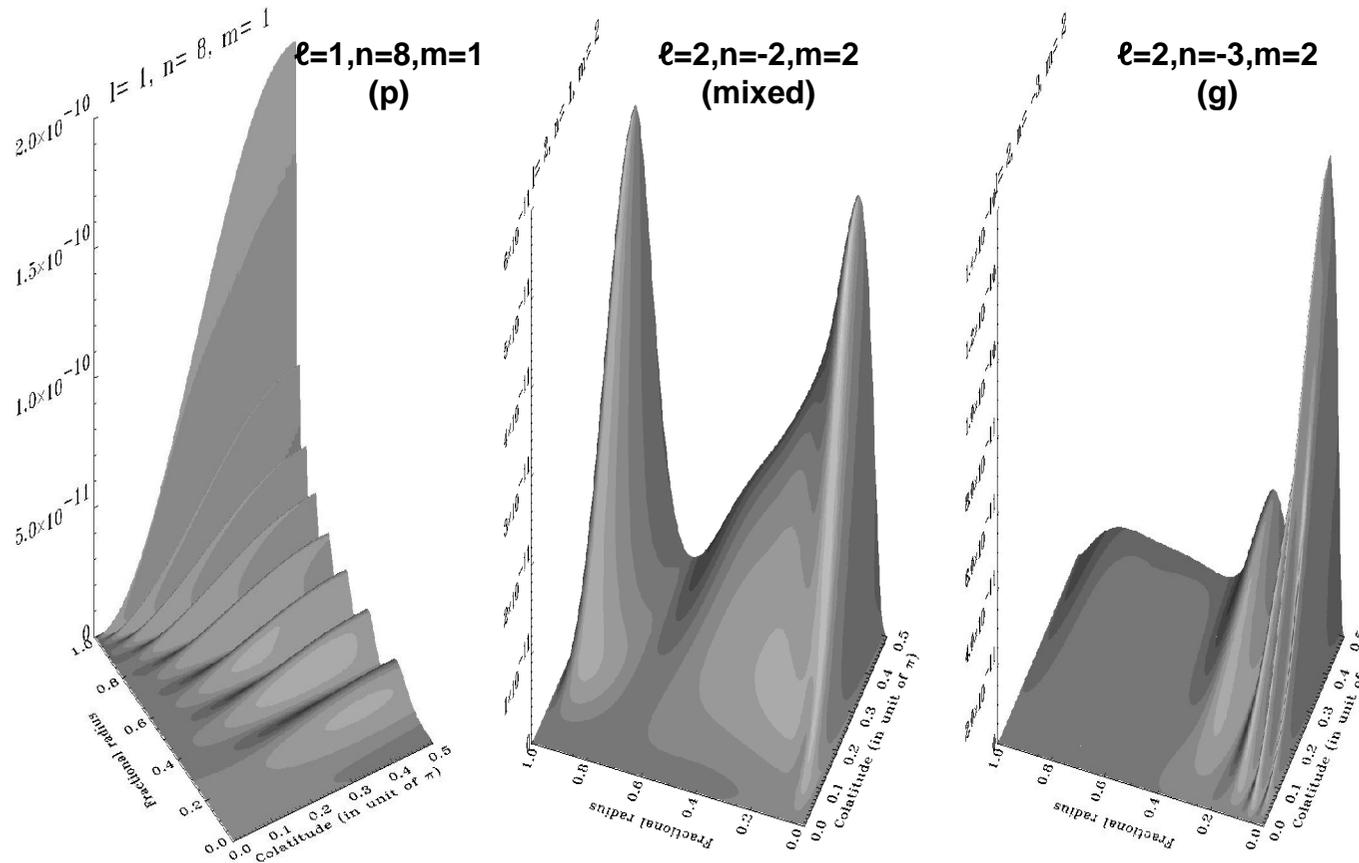


Peut on imaginer d'autres types de dynamos, y compris dans la région radiative, D'autres cycles?

Comment s'interconnectent les champs magnétiques entre zone radiative et convective ? configurations stables? Champ poloidal + toroidal ....

3D MHD simulations **doivent être guidées par plus d'observations**

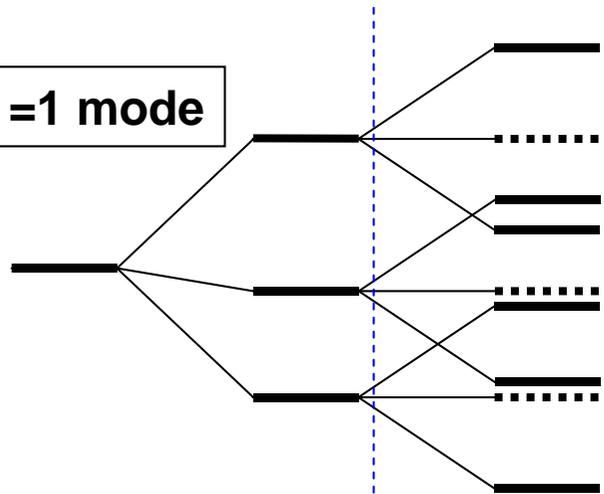
# Pour avoir plus d'information sur la région radiative: modes mixtes plus quelques modes de gravité



- Temps de vie des modes !!! Dintrans et al, 2004
- Rotation selon un axe différent de l'axe de rotation du reste de l'étoile
- Rôle d'un champ magnétique avec un axe oblique

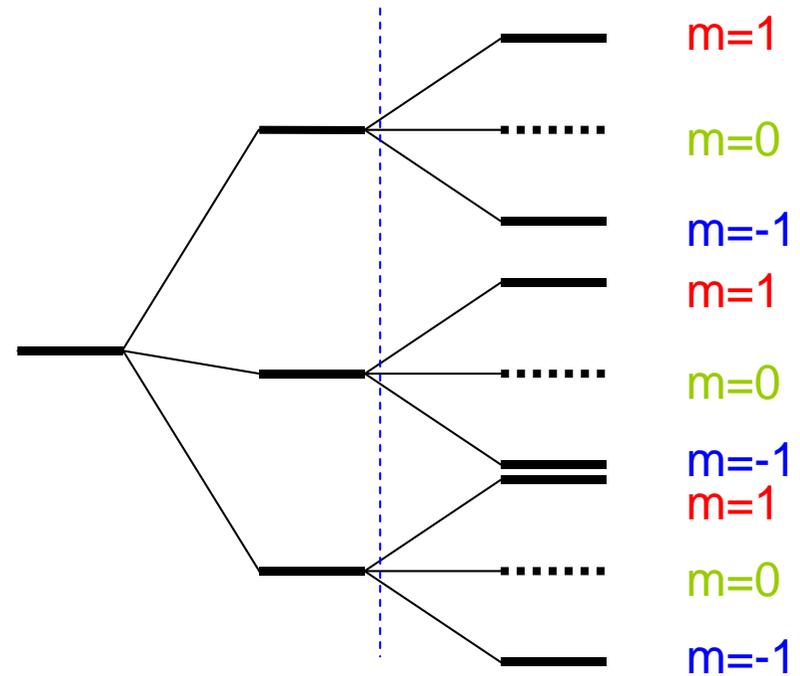
# Structure Hyperfine M. Thompson

**I = 1 mode**



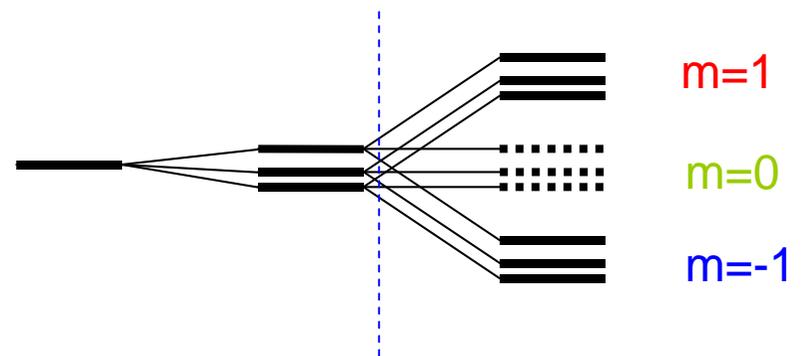
Repère tournant

Repère inertiel



Grande perturbation dans le repère S

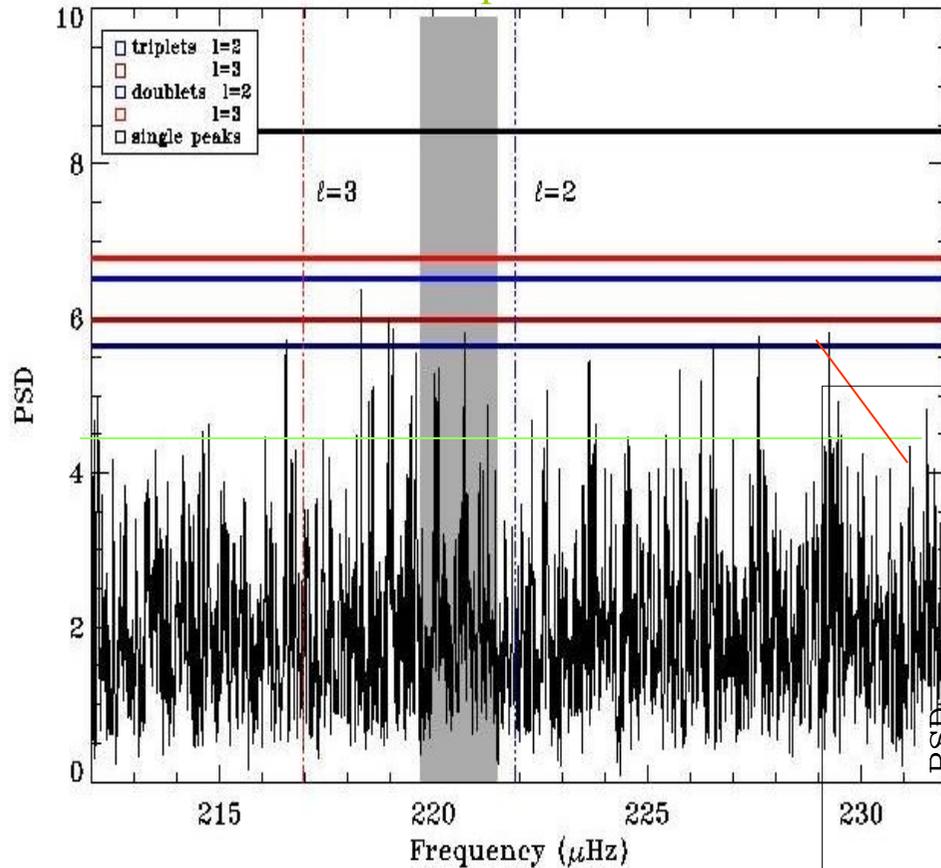
Ainsi chaque mode apparent peut avoir un nombre de composantes qui irait de  $2l+1$  à en principe  $(2l+1)^2$



Petite perturbation dans le repère S

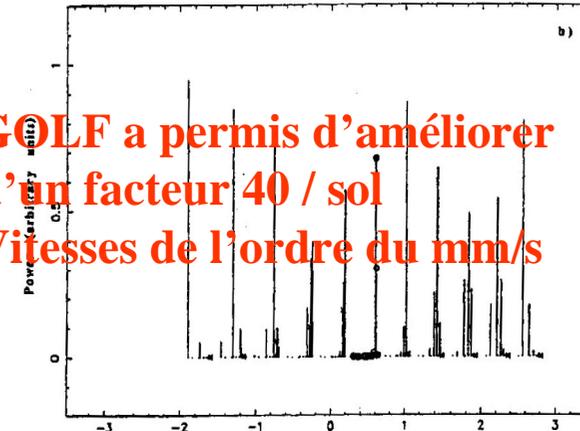
# 2 Candidats modes de gravité, Evidence d'un champ magnétique ?

Turck-Chièze et al. ApJ 2004

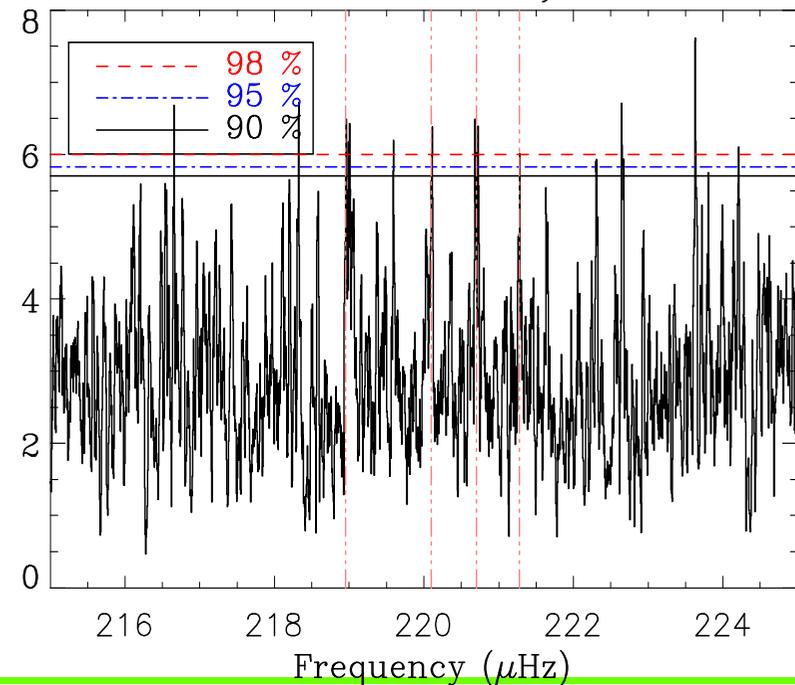


Goode and Thompson 1992

**GOLF a permis d'améliorer d'un facteur 40 / sol Vitesses de l'ordre du mm/s**



GOLF 2975 days



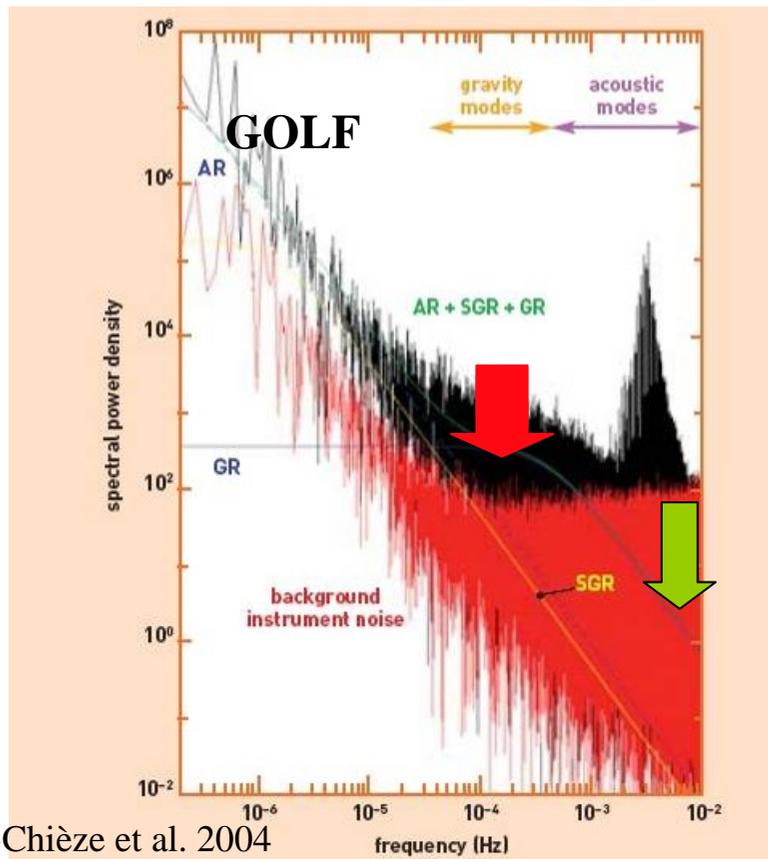
**l=2 ? Axe de rotation different**

**Augmentation de la rotation dans le cœur ?**

**Vestige du soleil jeune ?**

**il faut le confirmer rapidement !!!!.....**

# Il faut continuer d'observer les modes de bas degré bas ordre et détecter quelques modes mixtes jusqu'à $l=5$



Turck-Chièze et al. 2004

La mesure des modes de gravité va améliorer la résolution spatiale **dans la région radiative**, permettre de déterminer La rotation du coeur, mettre des contraintes sur le champ magnétique central

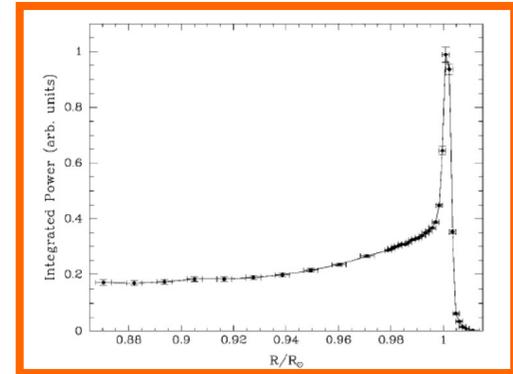
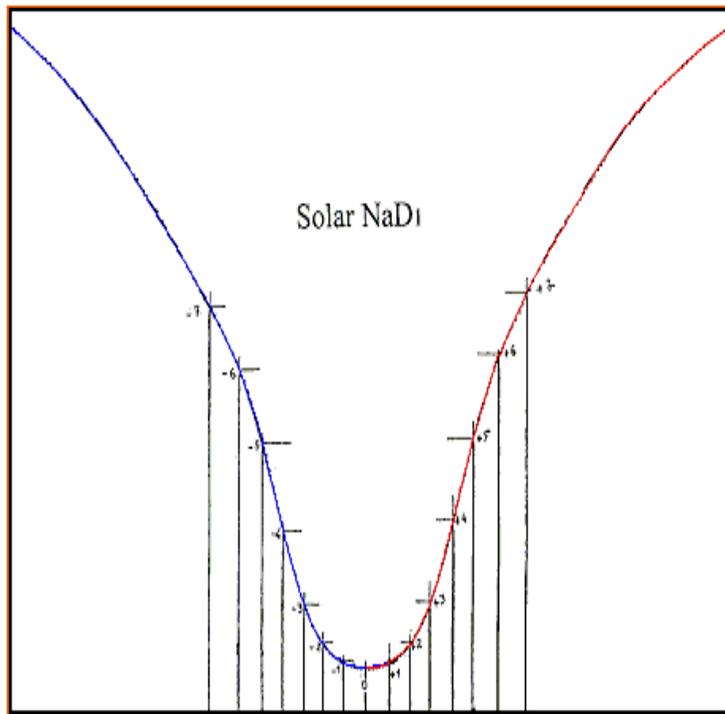
La vitesse Doppler s'est imposée comme la meilleure technique connue aujourd'hui pour détecter les signaux faibles: candidats de SoHO  $< 2\text{mm/s}$

Mais la région des modes de gravité est polluée par la granulation solaire

# Nous avons besoin d'une mission spatiale au cours du prochain cycle solaire ....

- **PICARD: microsatellite CNES: F,B,S lancement 2008**  
*mesure de la variation du diamètre  
et de l'irradiance à plusieurs longueurs d'onde  
sismologie en intensité*

*Amplification de l'intensité au limbe*



Toner et al 1999

*Spectromètre à résonance: Mesure en 15 points à différentes hauteurs dans la raie  
Réduction du bruit solaire Espagnet et al. 1995*

*GOLFNG: prototype en construction avec le  
CNES mis à Ténérife en 2006*

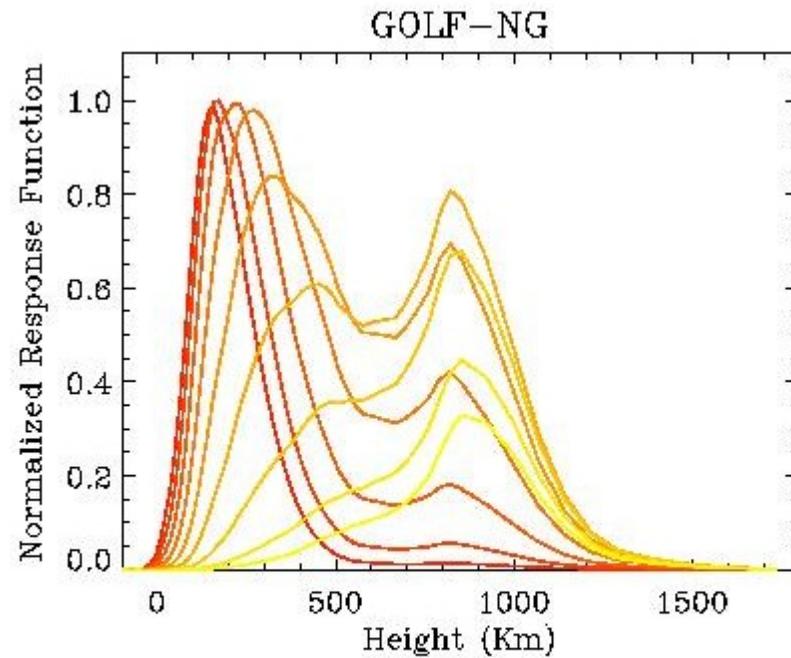
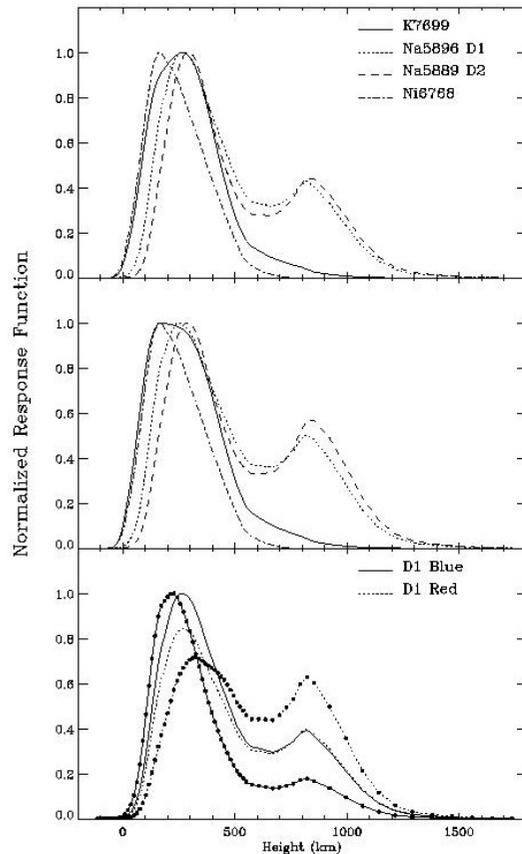
*DynaMICS: projet spatial*

*Turck-Chièze et al. 2005, Adv. Space Research astro-ph 0510753*

*Sylvaine Turck-Chièze, , PNST, Septembre, 2005*

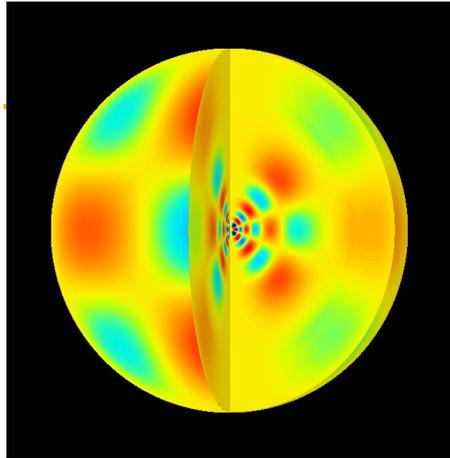
# La raie du sodium: NLTE calculation

S. Jimenez and H. Socas-Navaro

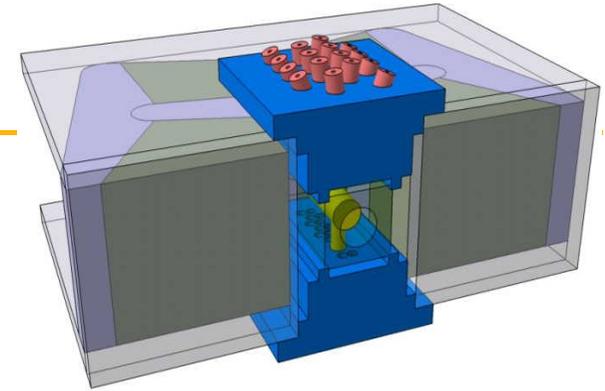


Confirmé par l'utilisation de GOLF  
pendant le premier mois sur des  
variations de 2km/s  
facteur 5 de non coherence

cea



## GOLF-NG



S. Turck-Chièze, J. Ballot, J.C. Barrière, A.S. Brun, P. H. Carton,  
R. Garcia, P. Lambert, P.A. P. Nghiem

DAPNIA, CE Saclay, **CEA**, 91191 Gif sur Yvette Cedex, France

P. L. Pallé Manzano, A. J. Jiménez Mancebo, S. J. Jiménez  
Reyes, A. M. Eff-Darwich Pena, S. Korzennik

IAC, Calle Via Lactea s/n, la Laguna, **Ténérife**, Spain

J. M. Robillot, **Observatoire de Bordeaux**, Bordeaux 1, France

E. Fossat, **Université de Nice**, France

B. Gelly, **Themis**, C./ Saturno n3 38205 La Laguna, Ténérife

dapnia

Scheme of Instrument's Principle : see Turck- Chièze et al. 2005, COSPAR

cea

saclay

Entrance stage with secondary optical source and alignment tuning

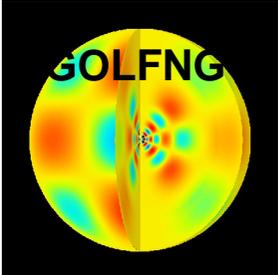
Photodetectors ( 32 + 1 )

32 optical channels:  
Simultaneous measurement of 8\*4 points along the line

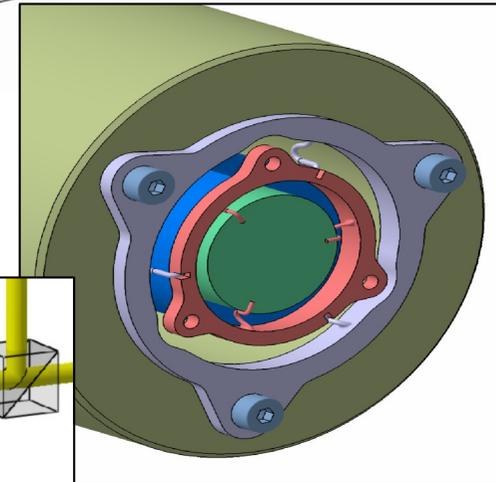
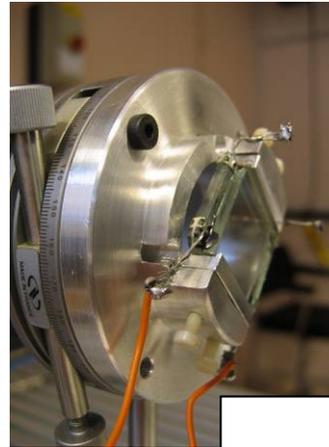
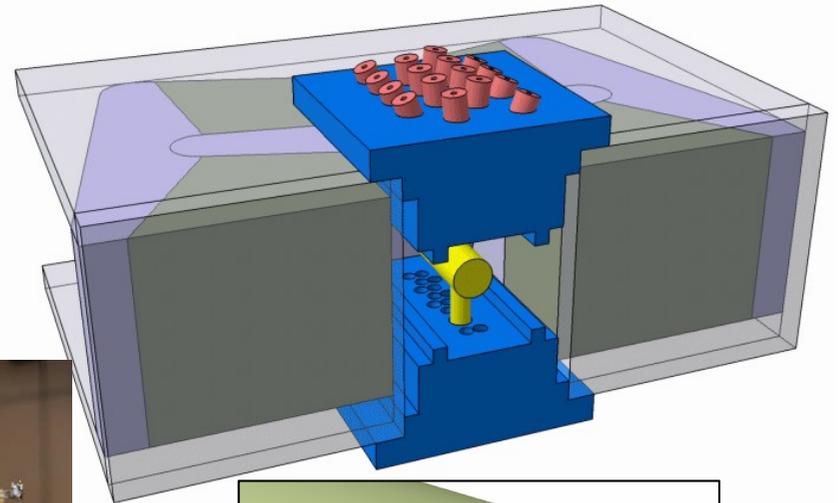
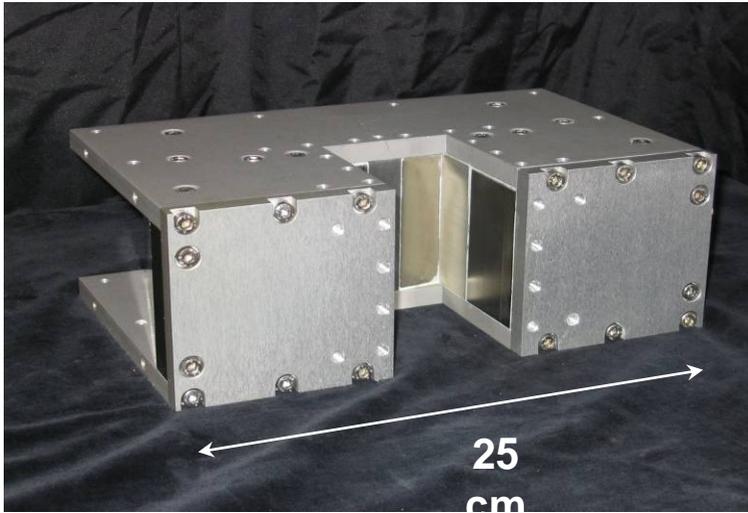
Switchable analysis  
Filters: continuum + NaD1

Resonance Spectrometer  
0 - > 12 kG  
(under vacuum cond<sup>ts</sup>)

Shaping and polarizing Optics  
Red or blue part of the line



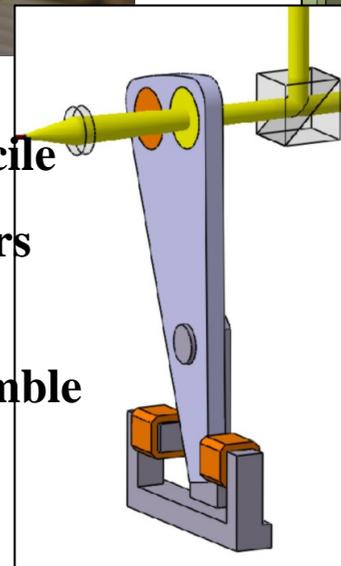
# Ou en sommes nous? .

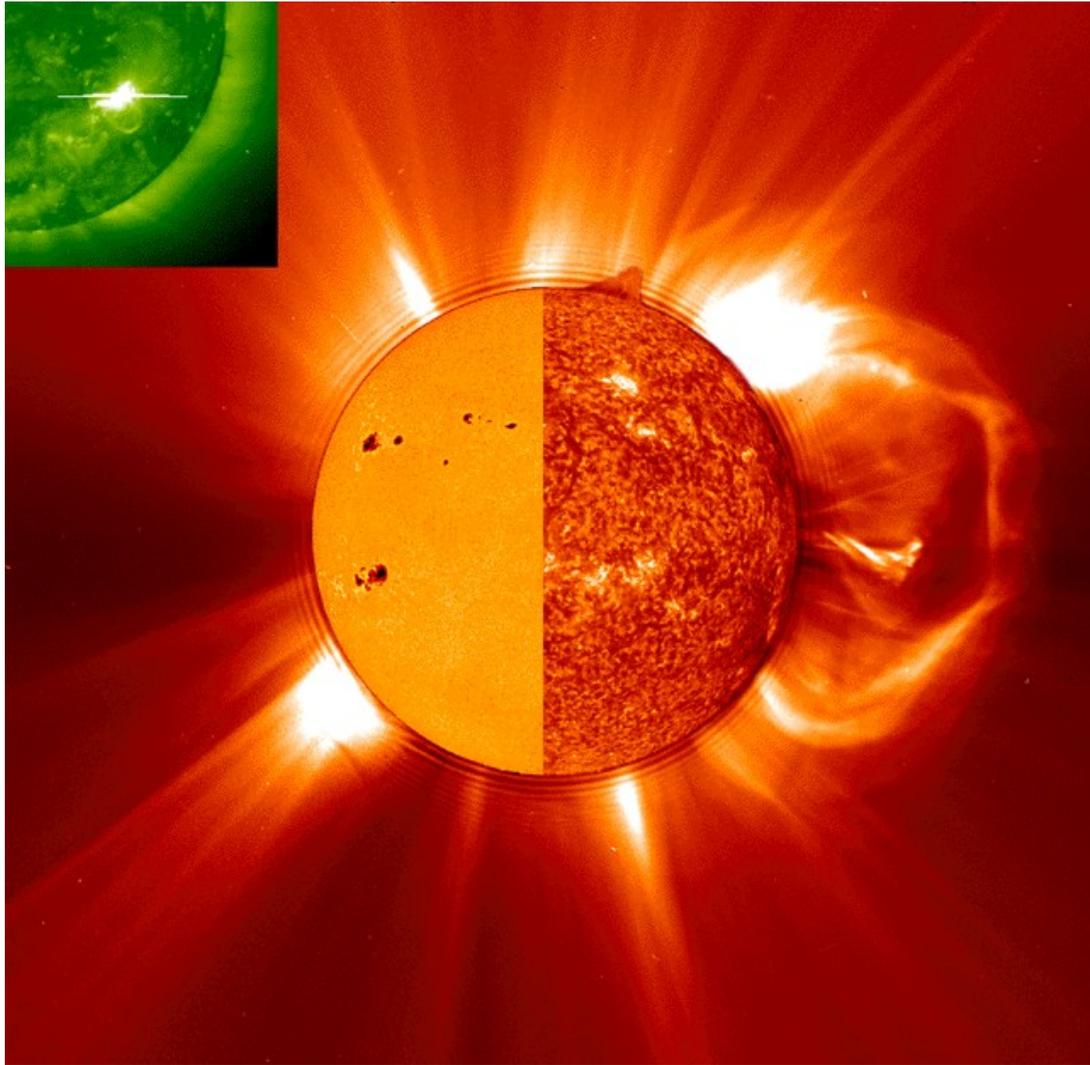


**Instrument difficile**

**Pas de points durs  
non résolus**

**Montage d'ensemble  
fin 2005**





# The magnetism of the solar interior

*Towards a full 3D  
solar vision*

*ESLAB: Cosmic Vision  
2015-2025*

*astro-ph 0510854*

Turck-Chièze, S.<sup>1</sup>, Appourchaux, T.<sup>2</sup>, Boumier, P.<sup>2</sup>, Ballot, J.<sup>1</sup>, Berthomieu, G.<sup>3</sup>; Brun, A. S.<sup>1</sup>, Cacciani, A.<sup>4</sup>, Christensen-Dalsgaard, J.<sup>5</sup>, Corbard, T.<sup>3</sup>, Couvidat, S.<sup>6</sup>, Darwich, A. M.<sup>7</sup>, Fossat, E.<sup>3</sup>, Garcia, A. R.<sup>1</sup>, Gelly, B.<sup>7</sup>, Gizon, L.<sup>8</sup>, Gough, D.<sup>9</sup>, Jimenez, A. J.<sup>7</sup>; Jimenez-Reyes, S.<sup>7</sup>; Kosovishev, A.<sup>6</sup>; Lambert, P.<sup>1</sup>; Lopes, I.<sup>10</sup>; Martic, M.<sup>11</sup>; Mathis, S.<sup>12</sup>; Nghiem, P. A. P.<sup>1</sup>; Palle, P.<sup>6</sup>; Piau, L.<sup>13</sup>; Provost, J.<sup>3</sup>; Rieutord, M.<sup>14</sup>; Robillot, J. M.<sup>15</sup>; Roxburgh, I.<sup>16</sup>; Rozelot, J. P.<sup>3</sup>; Solanki, S.<sup>8</sup>; Thompson, M.<sup>17</sup>; Thuillier, G.<sup>11</sup>; Vauclair, S.<sup>18</sup>; Zahn, J. P.<sup>12</sup>.

<sup>1</sup>CEA, **FRANCE**; <sup>2</sup>IAS, **FRANCE**; <sup>3</sup>Observatoire Cote d'Azur, **FRANCE**; <sup>4</sup>Dipartimento di Fisica Università degli Studi di Roma, **ITALY**; <sup>5</sup>Aarhus Universiteit, **DENMARK**; <sup>6</sup>HEPL, Stanford, **UNITED STATES**; <sup>7</sup>IAC, **SPAIN**; <sup>8</sup>Max Planck Lindau, **GERMANY**; <sup>9</sup>Cambridge, **UNITED KINGDOM**, <sup>10</sup>Istituto Superior Técnico, Lisboa, **PORTUGAL**; <sup>11</sup>Service d'Aéronomie, **FRANCE**; <sup>12</sup>LUTH Meudon, **FRANCE**; <sup>13</sup>Dept of Astron. & Astroph., Chicago, **UNITED STATES**; <sup>14</sup>Laboratoire d'Astrophysique de Tarbes, **FRANCE**, <sup>15</sup>Observatoire de Bordeaux, **FRANCE**, <sup>16</sup>Queen Mary College London, **UNITED KINGDOM**, <sup>17</sup>University of Sheffield, **UNITED KINGDOM**, <sup>18</sup>Observatoire de Toulouse, **FRANCE**.

*Sylvaine Turck-Chièze, , PNST, Septembre, 2005*

# Conclusion et perspectives

SoHO a créé une révolution dans notre perception de la dynamique interne des étoiles

Les Simulations numériques MHD ont vraiment démarrées en France et sont très prometteuses

Nous avons vraiment besoin de contraintes observationnelles supplémentaires en plus de SDO, PICARD

Nous avons besoin de plus de contraintes sur la région radiative

Spectromètre à résonance avec la raie du sodium est très prometteur et rassemble beaucoup d'expertises en France

Etude de la région de la photosphère à la chromosphère est aussi un ingrédient essentiel vers une vision complète 3D

Microsatellite CNES : DynaMICS projet européen 2009-2010 début de la phase 0.A immédiatement!!!!

R et D GOLFNG démarrée en 1999 avec le CNES (10 personnes 2 Meuros)

Puis projet mondial si OK au point Lagrange L1 avec d'autres partenaires (cycle suivant)

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.