

Héliosismologie et l'origine de l'activité magnétique

Thierry Corbard, Space & Atmospheric Physics - Imperial College - Londres

Influence de l'activité magnétique sur les modes d'oscillation

Le profil de rotation interne / Lien avec les théories de la dynamo

Premiers résultats sur la "Tachocline" et les couches superficielles

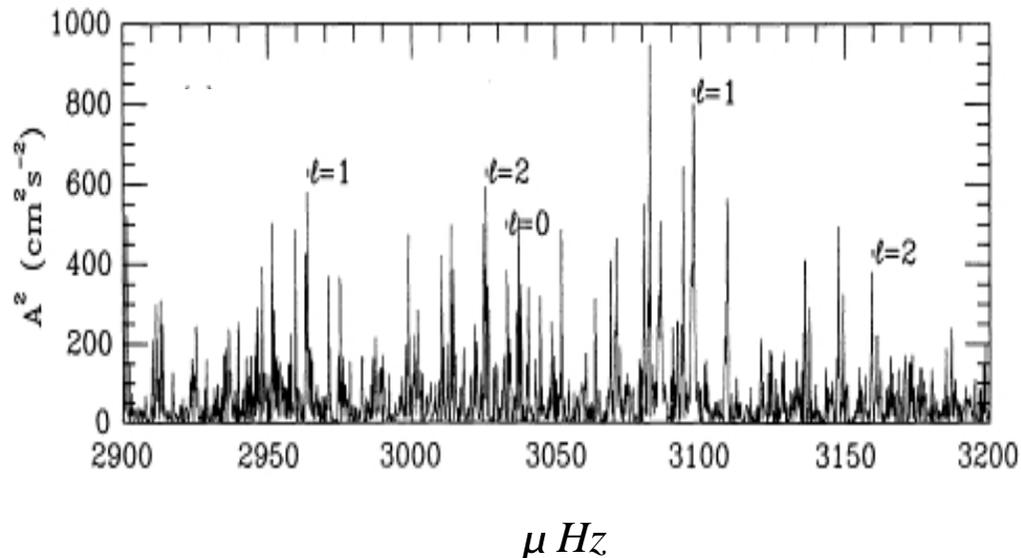
Perspectives

Instruments et observations

Réseaux au sol (IRIS / BiSON / ECHO) + SoHO (GOLF / MDI)

Première analyse de 15 ans d'observations (1984-1999) MARK I
et de 6 ans d'observations ECHO (1994-2000)

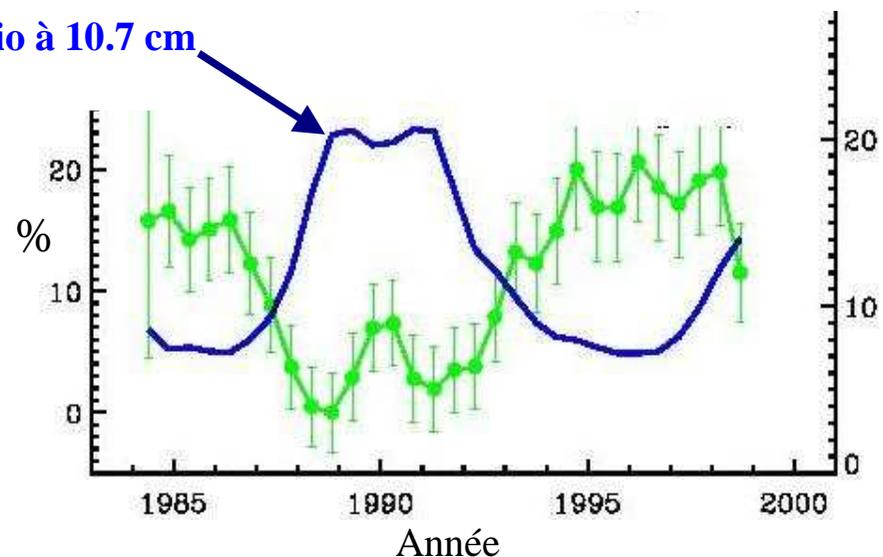
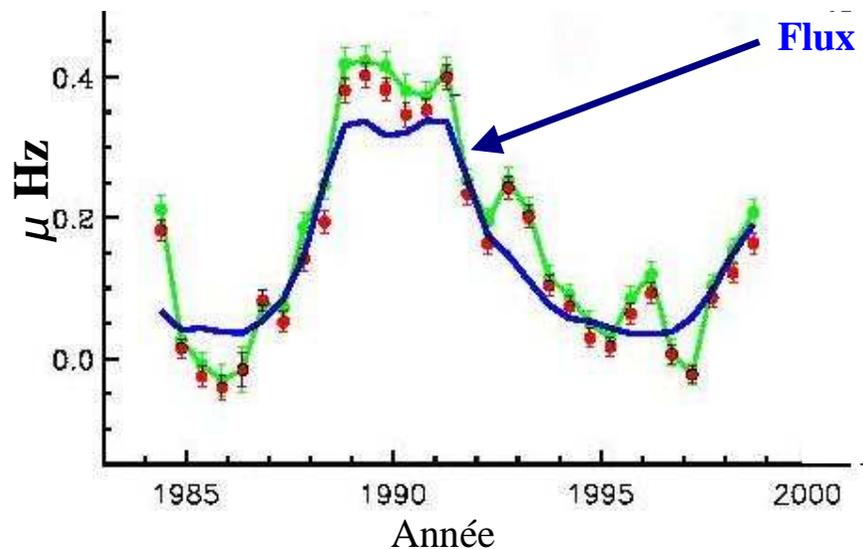
Exemple de spectre d'oscillation MARK - I



Variations temporelles des fréquences et de l'énergie des modes

Décalage des fréquences (μHz)

Variations d'énergie des modes (%)

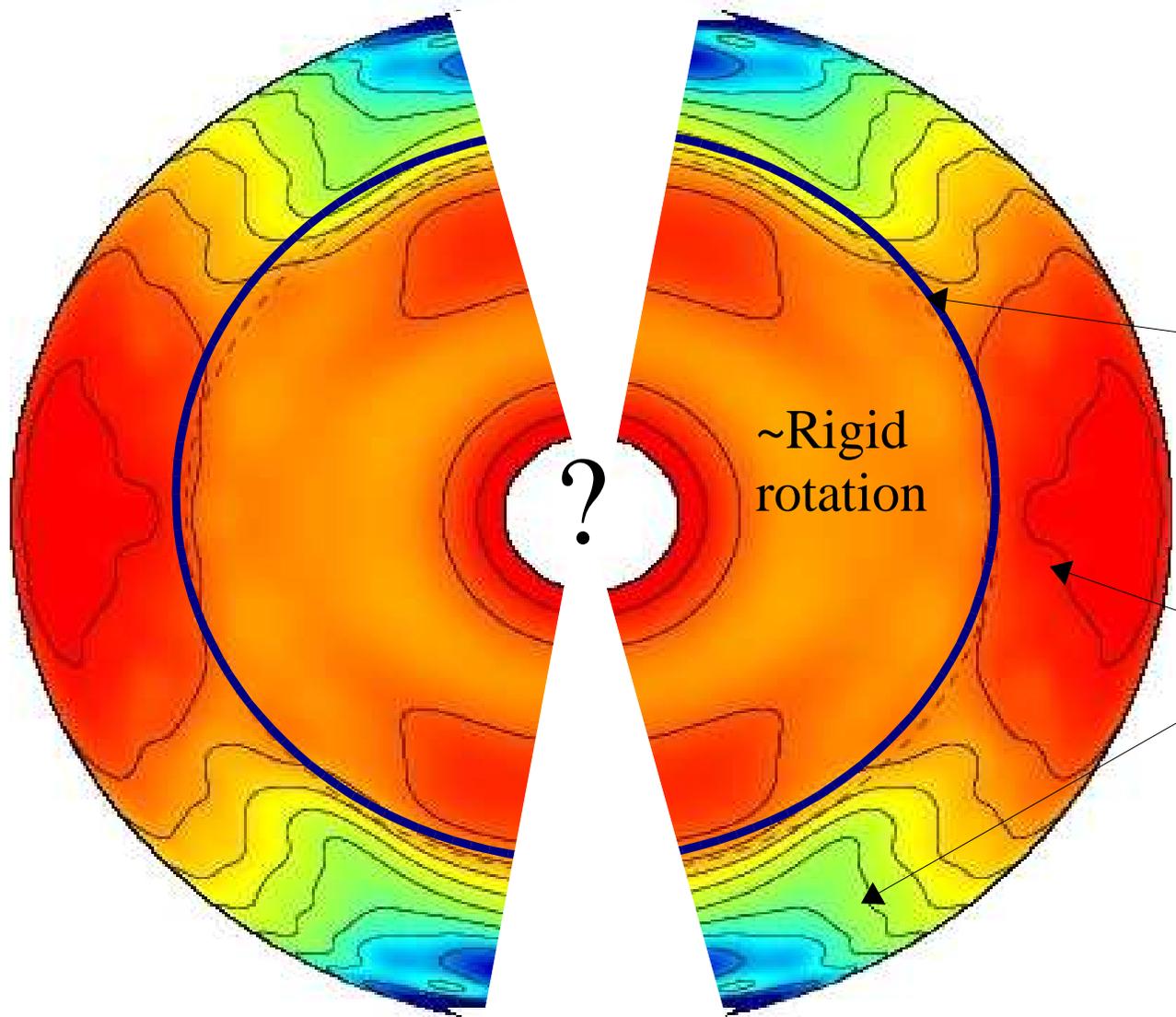


Corrélation des décalages de fréquence avec le cycle

=> Perturbations magnétiques et/ou thermiques proche de la surface.

Anti-corrélation des variations d'énergie

=> Augmentation de l'absorption des modes et/ou perte d'efficacité de l'excitation stochastique dans la zone convective.

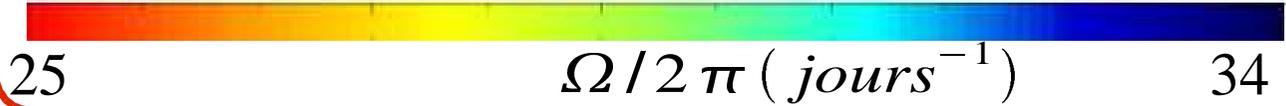


Rotation interne par inversion des observations MDI & GOLF

Tachocline

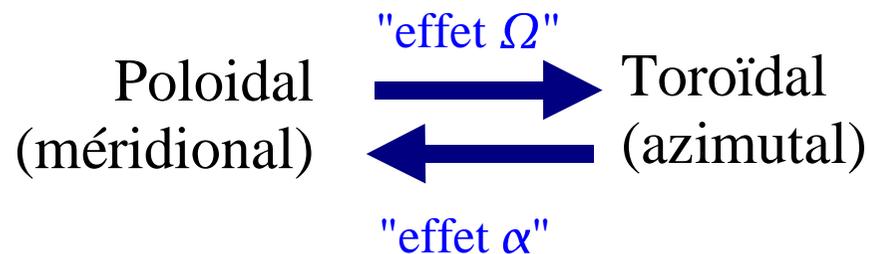
~Rigid rotation

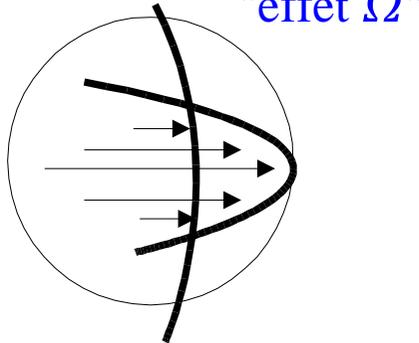
Rotation différentielle



Lien avec les théories "dynamo" du cycle

Tachocline et couches superficielles =
meilleurs endroits pour être le **siège de la dynamo**



- 1) Gradients de rotation $\frac{\partial \Omega}{\partial \theta}$, $\frac{\partial \Omega}{\partial r}$ \rightarrow 
- 2) Tachocline située (en partie(?)) dans la zone de pénétration convective
 \downarrow
Un champ toroidal peut être stocké et amplifié avant de s'échapper vers la surface et être transformé par effet α

Résultats sur les propriétés de la tachocline

1) Largeur

$W < 0.05 R_{\odot}$ centrée $\sim 0.02R_{\odot}$ sous la zone convective (Corbard et al. 1999)

Valeur limite du **coefficient de viscosité horizontale** $\nu_h = 3 \cdot 10^6 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$

Valeur limite pour l'**amplitude d'un champ magnétique fossile**
 $|B_0| > 10^{-4} \text{ Gauss}$

2) Asphéricité

Asphéricité maximum de $0.02R_{\odot}$ (entre équateur et 60°) (Corbard et al. 2001)

Indique la présence d'un champ magnétique toroïdal dans la tachocline
Contraintes sur l'amplitude: **de 60 à 600KG**

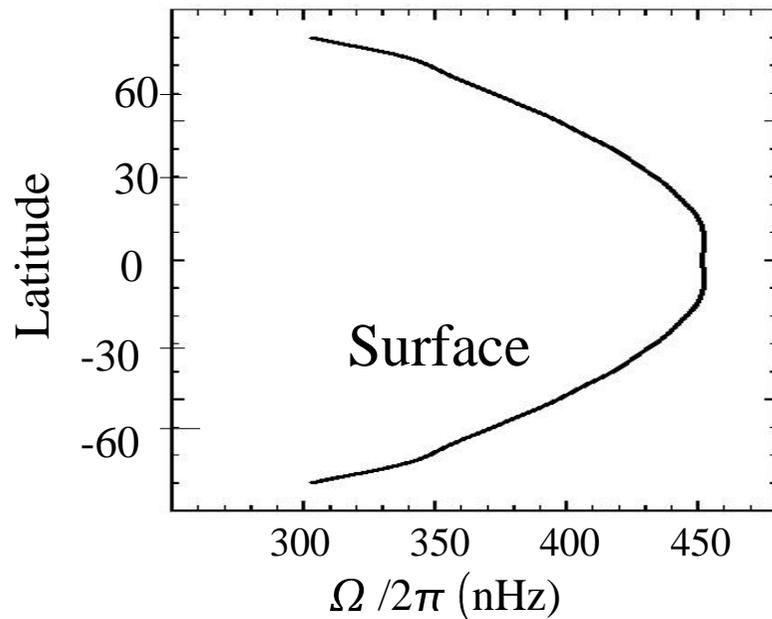
3) Variation temporelles?

Pas de variation significative observée à partir de l'analyse de 6 ans d'observations

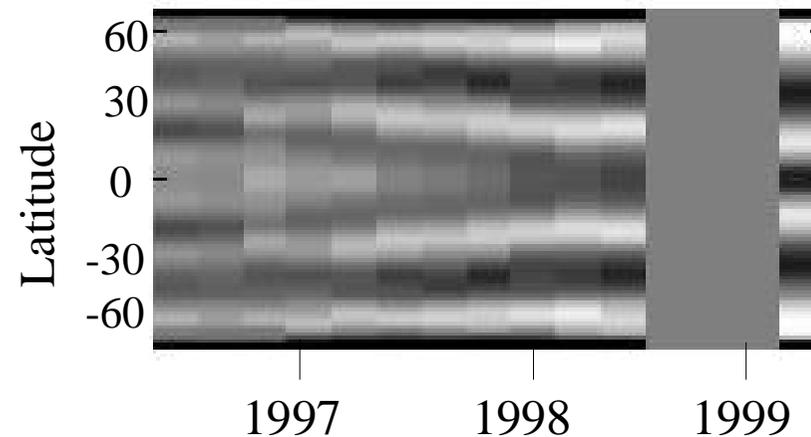
Si le champ toroïdal est concentré dans des bandes migrant vers l'équateur pendant la phase ascendante du cycle on s'attend à une **asphéricité décroissante**.

Étude des couches superficielles

Rotation différentielle

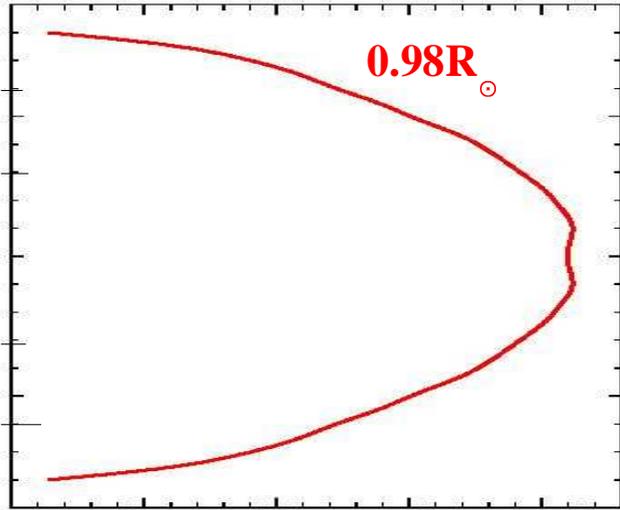


+ Bandes de rotation +/- rapides
(± 7 m/s) migrant vers l'équateur



Études en cours:

- Extension en profondeur de ces bandes $\Rightarrow 0.92R_{\odot}$
- Étude du gradient radial de rotation dans cette zone \Rightarrow inversion du gradient à $60^{\circ}/70^{\circ}$ de latitude (dépend du temps?)



Conclusions et perspectives

L'Héliosismologie à long terme ouvre de nouvelles perspectives

Étude de l'évolution des mécanismes d'excitation et d'amortissement dans la zone convective

Localisation précise des perturbations conduisant aux décalages de fréquences
+ **distinction entre perturbations thermiques et magnétiques**
=> mise en oeuvre de techniques d'inversion construction de modèles 2D.

Il est possible pour la première fois de poser des contraintes observationnelles sur les modèles de la dynamo dans l'intérieur

Nombreuses expériences en cours et en développement (ECHO +IRIS - SoHO/SDO - GONG++ - Picard) + Astérosismologie (COROT- MONS - Eddington)

Un effort conjoint du côté théorique (modèles de la dynamo) et observationnels (helio/asterosismologie) dans des laboratoires tels que HAO (Boulder) ou Cassini (Nice) devrait permettre de faire très rapidement des progrès substantiels pour la compréhension de l'origine du cycle solaire