

## Dynamos stellaires : symétries et modulations

Raphaël Raynaud<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> LRA, Département de Physique de l'ENS, 24 rue Lhomond, 75252 Paris Cedex 5, France

<sup>2</sup> LERMA, Observatoire de Paris, PSL Research University, CNRS, UMR 8112, F-75014, Paris, France  
 raphael.raynaud@ens.fr

L'activité magnétique du Soleil varie selon un cycle de période égale à 22 ans dont l'amplitude est modulée de manière aperiodique sur une échelle de temps de 80 ans environ. De plus, l'analyse de l'abondance de certains isotopes a permis d'identifier 27 périodes d'activité réduite au cours des dernières 11 000 années, espacées de manière irrégulière à des intervalles de 200–300 ans (cf. [1] et références incluses). De nombreux modèles de dynamo de champ moyen reproduisent en partie les caractéristiques du cycle solaire dont les modulations temporelles pourraient être de nature stochastique ou chaotique, étant donné le caractère intrinsèquement non-linéaire du système (cf. [2] et références incluses). Une approche complémentaire consiste à dériver des modèles de basse dimension contraints par les symétries du système, permettant ainsi d'établir le caractère générique de la dynamique tout en s'affranchissant des problèmes liés à la modélisation des effets de champ moyen. Ces approches combinées ont permis d'identifier deux classes de modulations, le type 1 étant caractérisé par des changements de parité sans modulation d'amplitude, et le type 2 par des modulations d'amplitude sans changement de parité [3]. En outre, les interactions entre modes de différente parité conduisent aisément à des champs magnétiques fortement localisés dont il existe plusieurs exemples observationnels [4] et expérimentaux [5].

Nous confrontons ces résultats à la dynamique du champ magnétique obtenu par simulation numérique directe de la convection dans une coquille sphérique en rotation d'un fluide conducteur faiblement stratifié, décrit par l'approximation anélastique [6]. Nous mettons en évidence un nouveau type de bistabilité entre dynamos multipolaires de différentes symétries. Bien que dominées par un mode non axisymétrique  $m = 1$ , ces dynamos présentent une dynamique ayant certains points communs avec les études précédentes. Toutefois, les détails de la structure de bifurcation semblent plus complexes. Nous relierons ainsi l'apparition d'une modulation de type 1 à la création d'un cycle limite suite à une bifurcation nœud-col où collisionnent un point fixe stable de symétrie quadrupolaire et un point fixe instable de symétrie dipolaire. L'écoulement brise alors faiblement la symétrie équatoriale, et le couplage de modes de différentes parités s'accompagne de la localisation périodique du champ dans un hémisphère. Enfin, l'augmentation du Rayleigh conduit à la déstabilisation de ce cycle limite, et la dynamo entre alors progressivement dans un régime chaotique correspondant à une modulation de type 2. Ce régime est caractérisé par l'occurrence de minimas d'énergie magnétique suivis d'une forte croissance du vent zonal.

### Références

1. P. CHARBONNEAU, *Solar and Stellar Dynamos*, Saas-Fee Advanced Course 39, Springer-Verlag (2013).
2. *Mathematical Aspects of Natural Dynamos*, édité par E. DORMY & A.M. SOWARD, CRC Press (2007).
3. E. KNOBLOCH, S.M. TOBIAS & N.O. WEISS, Modulation and symmetry changes in stellar dynamos, *Monthly Notices of the RAS*, **297**, 1123–1138 (1998).
4. D. SOKOLOFF & E. Nesme-Ribes, The Maunder minimum : a mixed-parity dynamo mode ?, *Astronomy and Astrophysics*, **288**, 293 (1994); B. LANGLAIS & Y. QUESNEL, New perspectives on Mars' crustal magnetic field, *Comptes Rendus Geoscience*, **340**, 791–800 (2008).
5. B. GALLET, S. AUMAÎTRE, J. BOISSON, F. DAVIAUD, B. DUBRULLE, N. BONNEFOY, M. BOURGOIN, P. ODIER, J.-F. PINTON, N. PLIHON, G. VERHILLE, S. FAUVE & F. PÉTRÉLIS, Experimental Observation of Spatially Localized Dynamo Magnetic Fields, *Physical Review Letters*, **108**, 14, 144501 (2012).
6. S.I. BRAGINSKY & P.H. ROBERTS, Equations governing convection in earth's core and the geodynamo, *Geophysical and Astrophysical Fluid Dynamics*, **79**, 1–97 (1995).