INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Conférence-Débat

Mardi 29 mai 2007 de 14h30 à 17h

« Dynamo turbulente : une percée récente »

Séance coordonnée par

René Moreau
de l'Académie des sciences, Professeur émérite à l'Institut national polytechnique de Grenoble

Grande salle des séances

- 14h30 — *Introduction*
  René Moreau
- *14h35* — *L'effet dynamo : un défi théorique et expérimental*
  Philippe Nozières, de l'Académie des sciences, Professeur honoraire au Collège de France
- *14h50* — *L'expérience VKS2 : effet dynamo dans un écoulement pleinement turbulent*
  François Daviaud, Commissariat à l'Energie Atomique, Saclay
- *15h10* — *Les dynamos instationnaires de VKS2*
  Jean-François Pinton, Ecole normale supérieure de Lyon
- *15h30* — *Effets de la turbulence sur l'amplification et la saturation non-linéaire du champ magnétique engendré*
  Stéphane Fauve, Ecole normale supérieure, Paris
- *15h50* — Discussion globale sur l'expérience VKS (von Karman sodium)
- *16h10* — *Derviche tourneur sodium : dynamique du régime magnétostrophique*
  Henri-Claude Nataf, Université Joseph Fourier, Grenoble
- *16h30* — *La dynamo terrestre et le géomagnétisme*
  Jean-Louis Le Mouël, de l'Académie des sciences, Institut de physique du globe
- *16h45* — Discussion générale et message de conclusion
  René Moreau

Académie des sciences

Palais de l'Institut de France

23, quai de Conti
75006 Paris

Contact : Académie des sciences de l'Institut de France
Service des colloques - fabienne.bonfils@academie-sciences.fr

INSTITUT DE FRANCE
Académie des sciences

Conférence-débat
Mardi 29 mai 2007 de 14h30 à 17h

« Dynamo turbulente : une percée récente »

Résumés des exposés

L'effet dynamo, un défi théorique et expérimental
Philippe Nozières, de l'Académie des sciences, Institut Laue-Langevin, Grenoble
Le principe de l'effet dynamo est connu depuis longtemps, illustré par le disque conducteur de Bullard : un champ magnétique crée une force de Lorentz sur les électrons, donc un courant électrique qui à son tour engendre un champ magnétique. La préhistoire de cet effet était essentiellement théorique, les seules "expériences" étant des simulations numériques. Cette brève introduction soulignera la richesse de l'effet, en particulier les basculements spontanés du champ, et tentera de dégager quelques ordres de grandeur pouvant servir de guide à l'interprétation des observations.

L'expérience VKS2, effet dynamo dans un écoulement pleinement turbulent
François Daviaud, SPEC CEA/Saclay
Nous présentons les premiers résultats concernant la mise en évidence de l'effet dynamo dans l'expérience VKS2, c'est-à-dire la génération d'un champ magnétique par un écoulement pleinement turbulent de sodium liquide.
À la suite des premières dynamos induites par des écoulements artificiels de sodium dans des géométries très contraintes en 2000 à Riga et Karlsruhe, nous avons réalisé dans le cadre de la collaboration VKS (CEA, CNRS, ENS Lyon, ENS) au CEA/Cadarache, une expérience dans laquelle un écoulement tourbillonnaire de von Karman est produit par le mouvement de deux turbines tournant en sens inverse dans un cylindre rempli de sodium liquide. L'écoulement est pleinement turbulent et il permet d'atteindre des nombres de Reynolds magnétiques Rm de l'ordre de 50. Nous avons tout d'abord observé que lorsque les disques tournent à une vitesse supérieure à une vitesse critique (de l'ordre de 1000 tours/minute correspondant à Rm=30), un champ magnétique naît spontanément et est auto-entretenu par le mouvement du fluide [1]. Environ 50% au dessus du seuil, son amplitude est de l'ordre de 50 Gauss à la frontière de l'écoulement (environ 100 fois la valeur du champ terrestre) et il présente de très fortes fluctuations. L'évolution de l'amplitude de l'énergie magnétique locale en fonction de Rm montre une bifurcation légèrement imparfaite autour de Rm= 30.
Ce résultat montre que les dynamos fluides continuent à opérer en présence de turbulence forte. Les perspectives concernent la recherche des ingrédients nécessaires dans l'expérience à l'effet dynamo, l'étude quantitative de la bifurcation et de la structure du champ dynamo.
[1] R. Monchaux, M. Berhanu, M. Bourgoin, M. Moulin, P. Odier, J.-F. Pinton, R. Volk, S. Fauve, N. Mordant, F. Pétrélis, A. Chiffaudel, F. Daviaud, B. Dubrulle, C. Gasquet, L. Marié and F. Ravelet , « Generation of magnetic field by dynamo action in a turbulent flow of liquid sodium », Phys. Rev. Lett. 98, 044502 (2007)

Les dynamos instationnaires de VKS2

Jean-François Pinton, École normale supérieure de Lyon

Nous avons observé que lorsque les turbines qui engendrent l'écoulement de von Karman ne sont pas en contra-rotation exacte, d'autres régimes dynamos sont engendrés, avec une grande richesse de comportements dynamiques [2,3] : inversions erratiques du dipôle axial, basculements quasi-périodiques, bouffées intermittents, … La richesse des comportements dynamiques observés naît de la présence de plusieurs modes dans une étroite gamme des paramètres de contrôle. Ces comportements sont également associés à des bilans énergétiques différents : dans certains cas la puissance totale (mécanique) à fournir est augmentée par la génération spontanée du champ magnétique, dans d'autres cas, elle ne change pas alors que la dynamo est engendrée.

Nous discuterons ces similitudes -étonnantes- avec les dynamos naturelles.

[2] M. Berhanu, R. Monchaux, M. Bourgoin, M. Moulin, Ph. Odier, J.-F. Pinton, R. Volk, S. Fauve, N. Mordant, F. Pétrélis, A. Chiffaudel, F. Daviaud, B. Dubrulle, C. Gasquet, L. Marié, F. Ravelet : Magnetic field reversals in an experimental turbulent dynamo, Europhys. Lett. 77, 59007 (2007)

[3] F. Daviaud, J.-F. Pinton, S. Fauve (pour l'équipe VKS) : L'expérience VKS2: observation d'une dynamo turbulente et des renversements erratiques du champ magnétique, Reflets de la Physique 3, 14-16 (2007)

Effets de la turbulence sur l'amplification et la saturation non-linéaire du champ magnétique engendré

Stéphane Fauve, École normale supérieure de Paris

Une caractéristique essentielle de l'effet dynamo dans un métal liquide est que le champ magnétique y est engendré à partir d'un écoulement fortement turbulent. Cela est à la base de la difficulté du problème mais a également pour conséquence la richesse des phénomènes observés. La turbulence peut non seulement déplacer le seuil d'apparition de l'effet dynamo mais également modifier profondément la nature de la bifurcation et en particulier la géométrie du champ magnétique engendré. Nous discuterons qualitativement ces effets en liaison avec les résultats expérimentaux. Par contre, de façon surprenante, les comportements dynamiques du champ magnétique à grande échelle ne semblent pas affectés par les fluctuations turbulentes et peuvent être décrit par des systèmes dynamiques de faible dimension. Nous illustrerons également cet aspect à partir des observations expérimentales.

Derviche Tourneur Sodium : dynamique du régime magnétostrophique

Henri-Claude Nataf et l'équipe géodynamo, Laboratoire de Géophysique interne et Tectonophysique, CNRS-Université de Grenoble

L'expérience Derviche Tourneur Sodium (DTS) produit un écoulement de Couette sphérique dans une sphère en rotation en présence d'un fort champ magnétique dipolaire. On utilise une cinquantaine de litres de sodium liquide, et l'on atteint des nombres de Reynolds magnétique de l'ordre de 50. L'expérience DTS permet d'étudier le régime magnétostrophique attendu pour les noyaux planétaires, lorsque les forces de Coriolis et de Laplace sont les deux forces dominantes. En présence de ces deux effets, l'écoulement est très fortement contraint et les fluctuations très faibles même pour de grands nombres de Reynolds. La turbulence est une turbulence d'ondes magnétohydrodynamiques que nous avons bien documentées en combinant des mesures de potentiel électrique, de champ magnétique induit, et de vitesse d'écoulement obtenue par vélocimétrie Doppler ultrasonore. Ces ondes semblent absentes des modèles numériques de géodynamo, qui n'atteignent pas ce régime de turbulence, alors qu'elles pourraient jouer un rôle important dans la genèse et la dynamique du champ magnétique de la Terre et des planètes.

La dynamo terrestre et le géomagnétisme

Jean-Louis Le Mouël, de l'Académie des sciences, Institut de Physique du Globe, Paris
Le champ magnétique terrestre présente des variations temporelles couvrant un spectre très étendu, de l'année à la centaine de millions d'années ; deux temps caractéristiques sont d'une importance particulière, la durée des inversions (échelle de temps rapide) et celle des périodes de polarité constante, ou chrons (échelle de temps lente). Les modèles de dynamo devraient aider à comprendre les valeurs numériques observées de ces deux échelles. Bien d'autres questions n'ont pas reçu à ce jour de réponse complète, ou pas de réponse du tout : la dérive vers l'Ouest du champ est-elle un trait durable, la fenêtre Pacifique du champ dipôle l'est-elle ? Quelle est la géométrie du champ pendant les inversions ? Les très longues périodes de polarité (superchrons) nécessitent-elles un changement des conditions aux limites (du flux de chaleur à la frontière noyau-manteau), comme l'évolution lente de la fréquence moyenne des inversions, ou certains sont-ils des événements extrêmes d'un mécanisme inchangé ? Quel est le rôle de la graine ? …
On examinera quelques unes de ces questions.