

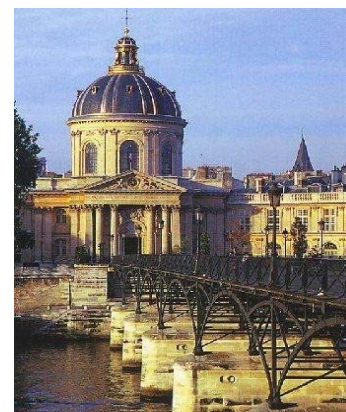
Conférence débat de l'Académie des sciences

« Quand la Terre perd le Nord »

Le renversement des champs magnétiques solaire et terrestre

Mardi 19 juin 2012 de 14h30 à 17h

Organisateurs : Vincent Courtillot & Jean-Louis Le Mouél, *Membres de l'Académie des sciences* (Institut de Physique du Globe de Paris),
Jean-Pierre Valet, *Directeur de recherches au CNRS* (Institut de Physique du Globe de Paris)



Résumé : La découverte des inversions du champ magnétique terrestre revient incontestablement au physicien français Bernard Brunhes (1906). On en aura trop peu célébré le centenaire. Il aura fallu plus d'un demi-siècle pour que cette idée révolutionnaire soit acceptée de manière générale. Elle aura pourtant été l'un des outils clefs de la démonstration quantitative de la tectonique des plaques, version moderne de la dérive des continents de Wegener. La période de polarité magnétique dans laquelle nous vivons, qui porte le nom de Brunhes, a débuté il y a 780 000 ans. Elle semble anormalement longue au regard des précédentes et l'intensité du champ terrestre a considérablement chuté depuis deux millénaires... La prochaine inversion est-elle pour bientôt ? En souffrirons-nous ? Le Soleil possède aussi un puissant champ magnétique, qui s'inverse avec une quasi-périodicité de 11 ans environ. Pourquoi ces différences entre les dynamos solaire et terrestre ? Quelles observations, quelles expériences permettent de répondre à ces questions si complexes que soulèvent géophysiciens et astrophysiciens ? Cette conférence-débat permettra de faire le point sur le sujet, qui a fait l'objet d'avancées significatives dans lesquelles la communauté scientifique française a joué un rôle important.

Académie des sciences	14 h 30	Introduction et bref historique Vincent COURTILLOT
	14 h 45	Inversions du champ géomagnétique : les temps anciens Yves GALLET, <i>Institut de Physique du Globe de Paris</i>
Grande salle des séances	15 h 05	Inversions du champ géomagnétique : les temps récents Jean-Pierre VALET
	15 h 25	Questions brèves
	15 h 30	Inversions du champ magnétique solaire : observations Jean-Marie MALHERBE, <i>Observatoire de Paris</i>
Palais de l'Institut de France	15 h 50	Inversions du champ magnétique solaire : théorie Sacha BRUN, <i>Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives</i>
	16 h 10	Questions brèves
23, quai de Conti 75006 Paris	16 h 15	Inversions et dynamos expérimentales François PETRELIS, <i>Ecole Normale Supérieure de Paris</i>
	16h30	Discussion & Conclusion Jean-Louis LE MOUËL

Inversions géomagnétiques et évolution à long terme de la géodynamo

Yves Gallet, Institut de Physique du Globe de Paris

Les pôles du champ magnétique terrestre se sont inversés de nombreuses fois dans le passé géologique. L'histoire de ces inversions depuis 150 millions d'années (Ma) nous est connue grâce aux anomalies magnétiques océaniques. L'analyse paléomagnétique des sédiments et des dépôts volcaniques permet de remonter plus loin. La plus vieille inversion détectée serait datée de 3,5 milliards d'années, mais seuls les derniers 550 Ma nous fournissent des informations assez précises sur le mécanisme et l'évolution de la fréquence des inversions géomagnétiques. La durée des intervalles de polarité magnétique (les « chrons ») a fortement varié : on observe environ 5 inversions par Ma au cours des 30 derniers Ma et au Jurassique moyen, tandis que trois intervalles remarquables sans inversion, de plusieurs dizaines de Ma se sont produits au Crétacé, au Carbonifère et à l'Ordovicien. Plusieurs analyses ont tenté d'interpréter cette évolution en invoquant un couplage entre la dynamique à long terme du noyau et la convection du manteau. La distribution statistique de la durée des chrons est proche d'un processus de Poisson : la dynamo n'aurait pas la mémoire de l'inversion précédente. L'écart à un processus de Poisson strict pourrait s'expliquer par des chrons de courte durée, non encore détectés; on peut aussi imaginer un temps d'inhibition de quelques dizaines de millénaires après chaque inversion. La description toujours plus détaillée de la séquence des inversions géomagnétiques est d'actualité, au moment où les progrès informatiques permettent de simuler numériquement le fonctionnement de la géodynamo.

Les inversions, événements catastrophiques du champ géomagnétique?

Jean-Pierre Valet, Institut de Physique du Globe de Paris

L'inversion de polarité est le phénomène le plus fascinant et le plus intrigant dans l'évolution temporelle riche et complexe du champ magnétique terrestre. Il connaît aussi d'autres événements, les "excursions", pendant lesquelles le champ essaie de se renverser mais ne parvient pas à se maintenir dans la nouvelle polarité. Le processus avorte alors et le champ revient à sa polarité initiale. Très brefs (de quelques siècles à quelques millénaires, cette durée faisant encore l'objet de débats) à l'échelle des temps géologiques, ces bouleversements nous apportent des informations essentielles sur le fonctionnement de la dynamo terrestre. Que se passe-t-il lors de ces périodes pendant lesquelles le champ magnétique est devenu très instable ? Conserve-t-il la même structure ? Comment évolue son intensité ? Quelle est la durée exacte du phénomène ? Et quand la prochaine inversion pourrait-elle se produire ? Avec quelles conséquences pour l'humanité ? Nous verrons que nos connaissances sur ces événements exceptionnels ont considérablement progressé grâce à la récolte sur le terrain ou dans les océans et à l'analyse au laboratoire de nombreux enregistrements portés par l'aimantation des roches volcaniques et sédimentaires.

Magnétisme et variabilité du Soleil : l'apport des observations

Jean-Marie Malherbe, Observatoire de Paris

Nous vivons sous la lumière d'une étoile, le Soleil, l'une des 200 milliards que compte notre galaxie, la Voie Lactée. Etoile banale, mais si essentielle pour l'humanité, le Soleil a été observé à la lunette depuis Galilée; il aura fallu attendre le milieu du XIX^{ème} siècle pour que le cycle des taches (~11 ans) soit identifié ainsi que ses corrélations avec l'activité géomagnétique. La nature magnétique des taches et la cyclicité de 22 ans qui leur est associée ne seront révélées qu'au début du XX^{ème} siècle par Hale, après la découverte de l'effet Zeeman. On connaît désormais la grande complexité du cycle solaire, qui se traduit également par des variations d'irradiance et présente de nombreuses anomalies (grands minima, fluctuations de durée et d'intensité - comme pour le dernier cycle), mais les mécanismes en sont encore très mal connus. Aujourd'hui, à l'ère du spatial, le Soleil est observé en permanence, sous tous ses aspects, et dans tout le domaine du spectre électromagnétique, des rayons X aux ondes radio. Et ceci tant dans sa globalité (satellites Solar and Heliospheric Observatory, STEREO, Solar Dynamics Observatory, PICARD ; réseau GONG de stations au sol, Radio Héliographe de Nançay) que dans ses détails (satellite HINODE, grands télescopes terrestres). L'hélio-sismologie permet désormais de sonder l'intérieur du Soleil et d'approfondir notre compréhension des mécanismes dynamo dont il est le siège. Nous ferons le point des connaissances observationnelles sur le magnétisme, la variabilité et la cyclicité solaire à la lumière des avancées fournies par les grands programmes internationaux.

Dynamo solaire et cycle d'activité magnétique de 11 ans

Sacha Brun, Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives

Le Soleil possède une activité magnétique d'une grande richesse, modulée par le fameux cycle de 11 ans. Or, lors du dernier cycle 23, celui-ci a en fait duré presque 13 ans, mettant à mal les tentatives de prédiction de son activité. Comment pouvons-nous expliquer à la fois la grande stabilité, sur plusieurs centaines d'années, de ce cycle et ses modulations, incluant des grands minima d'activité comme celui de Maunder entre 1645 et 1715 et ainsi améliorer notre capacité d'anticipation de son activité pour mieux s'en prémunir ou mieux en profiter le cas échéant. La source de ce magnétisme réside certainement dans une instabilité dynamo non linéaire. Nous présenterons comment la théorie, couplée à des simulations numériques de haute performance, peut permettre de mieux caractériser les processus physiques magnétohydrodynamiques en jeu dans le Soleil et ainsi améliorer notre compréhension des différents cycles.

Comprendre les renversements du champ magnétique de la Terre et des étoiles avec des expériences de laboratoire

François Pétrélis, Ecole Normale Supérieure de Paris

Alors que le mécanisme responsable de la formation du champ magnétique des planètes et des étoiles a été proposé par Larmor il y a presque cent ans, les premières mises en évidence expérimentales de cet effet, nommé effet dynamo, ont été réalisées dans la dernière dizaine d'années. Dans une de ces expériences (dite Von Karman Sodium, collaboration entre le CEA-Saclay, l'ENS-Lyon et l'ENS-Paris), le champ magnétique créé par effet dynamo présente des comportements variés. Suivant les paramètres, le champ se renverse de façon aléatoire ou périodiquement. Dans d'autres cas, le champ devient très inhomogène spatialement et se concentre dans une partie de l'expérience. Des comportements similaires sont observés dans les objets astrophysiques : le champ magnétique terrestre se renverse aléatoirement, celui du Soleil le fait périodiquement. Diverses mesures indiquent que Mars et le Soleil (pendant le minimum de Maunder) ont eu un champ magnétique localisé dans un seul hémisphère. Les ressemblances entre le champ mesuré dans l'expérience de laboratoire et celui des planètes et des étoiles sont très frappantes alors que tous ces systèmes sont indéniablement différents. Nous verrons comment un même mécanisme permet d'expliquer toutes ces observations qui peuvent être comprises comme une compétition entre deux modes distincts de champ magnétique.