

► cylindrique par deux disques situés à chaque extrémité et tournant en sens contraires (voir la photographie page 47). Cette expérience a permis, pour la première fois, d'observer en laboratoire des inversions spontanées de polarité et de mieux comprendre comment elles se déroulent à l'échelle de la planète.

Les équations d'Elsasser montrent que ce changement de polarité est possible: si un écoulement peut maintenir un champ magnétique d'une polarité donnée, il peut, sans être modifié, maintenir aussi le champ de polarité opposé! En revanche, la question de la transition entre les polarités est longtemps restée mystérieuse. L'expérience VKS a permis de mettre en évidence le rôle des symétries: le champ magnétique engendré par les deux disques contrarotatifs ne s'inverse que si la symétrie de l'écoulement est brisée, c'est-à-dire si les deux disques ne tournent pas à la même vitesse.

En 2009, François Pétrélis, de l'École normale supérieure, à Paris, et trois collègues, dont je faisais partie, ont modélisé la dynamique de l'inversion sur un système de basse dimension (impliquant peu de degrés de liberté). Nous avons pu modéliser les aspects essentiels de l'inversion du champ magnétique terrestre: une décroissance lente de l'intensité du champ (qui ne disparaît cependant pas complètement, mais devient chaotique) suivie d'une inversion rapide de la polarité, et enfin un rétablissement rapide de l'intensité. Les tout récents travaux de Brad Singer sur les registres géologiques, évoqués précédemment, ont confirmé ce scénario pour la dernière inversion du champ géomagnétique.

DES DÉFIS TECHNIQUES

Dans l'expérience VKS, les disques tournants qui produisent l'écoulement étaient en fer. Or ce matériau peut s'aimanter, ce qui pourrait contribuer à la génération du champ magnétique, et donc fausser les mesures. Plusieurs équipes essaient à présent de réaliser des expériences dans des géométries plus proches de celle de la Terre et sans utiliser de fer.

C'est le cas de Daniel Lathrop, de l'université du Maryland, qui a mené un projet reposant sur une enceinte sphérique de 3 mètres de diamètre en rotation. Mais en raison des difficultés techniques, il n'y a pas eu de résultats. Cary Forest, de l'université du Wisconsin, à Madison, élabore une expérience utilisant un plasma plutôt qu'un métal liquide. Enfin, à Dresde, la plateforme Dresdyn (*Dresden sodium facility for dynamo and thermohydraulic studies*) permettra d'étudier plusieurs configurations, dont une dynamo de 2 mètres de diamètre forcée par les mouvements de précession.

Ces expériences encore en développement devraient, dans les années à venir, aider à mieux comprendre le phénomène de dynamo



Le champ magnétique d'une galaxie polarise la lumière provenant de celle-ci ou de sources plus lointaines. En analysant cette lumière, il est alors possible de cartographier le champ magnétique, comme ici pour la galaxie M51.

autoexcité. L'enjeu ne se limite pas au géomagnétisme. Dans son article de 1919, Larmor s'était avant tout intéressé au champ magnétique du Soleil. L'étoile, dont le diamètre est cent fois plus grand que celui de la Terre, produit aussi un champ magnétique organisé. L'intensité de son champ de grande échelle est assez comparable à celle du champ terrestre (environ 10 gauss pour l'étoile et 0,5 gauss pour la planète), sauf dans les régions des taches solaires, où il peut atteindre plusieurs milliers de gauss. Autre différence, la polarité du champ magnétique solaire s'inverse de façon quasi périodique tous les onze ans. En fait, une grande partie des objets astrophysiques produisent un champ magnétique. C'est le cas de la plupart des planètes du Système solaire, mais pas toutes (Vénus, par exemple, n'a pas de champ magnétique).

DES DYNAMOS GALACTIQUES

Les galaxies produisent aussi un champ magnétique (voir la figure ci-dessus) de l'ordre du microgauss (un million de fois moins que le champ terrestre). Là encore, l'effet dynamo est la seule explication pour l'origine de ce champ organisé à grande échelle. Il prend sa source dans les mouvements du milieu interstellaire liés à la rotation de la galaxie et aux chocs provoqués par les explosions de supernovæ. L'étude des différents champs magnétiques n'est pas simple, car ils interagissent les uns avec les autres. Ainsi, le vent solaire interagissant avec la magnétosphère terrestre produit les spectaculaires aurores boréales. En cent ans, les chercheurs ont compris plusieurs aspects de la dynamo terrestre, mais il reste des questions ouvertes, sur Terre comme ailleurs dans l'Univers... ■

BIBLIOGRAPHIE

K. Moffatt et E. Dormy, **Self-Exciting Fluid Dynamos**, Cambridge University Press, 2019.

C. Guervilly et al., **Turbulent convective length scale in planetary cores**, *Nature*, vol. 570, pp. 368-371, 2019.

N. Schaeffer et al., **Turbulent geodynamo simulations: a leap towards Earth's core**, *Geophysical Journal International*, vol. 211(1), pp. 1-29, 2017.

E. Dormy, **Strong-field spherical dynamos**, *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 789, pp. 500-513, 2016.

E. Dormy, **The origin of the Earth's magnetic field: fundamental or environmental research?**, *Europhysics news*, vol. 37(2), pp. 22-25, 2006.