

ont cessé de former des œufs, tandis que d'autres ont ovulé. Cette observation a permis de résoudre un problème du type de la poule et de l'œuf : l'accouplement est-il nécessaire pour que les œufs se forment, ou bien la croissance folliculaire rend-elle les femelles attrayantes pour les mâles, qui s'accouplent alors avec elles ? La RMN, en permettant un suivi individuel des animaux, a montré qu'il existe des tactiques différentes selon les femelles d'une même espèce : certaines renoncent prudemment à la reproduction, d'autres espèrent trouver un mâle jusqu'au dernier moment.

Enfin nous avons voulu connaître l'évolution des œufs, au cours de la gestation, qui dure trois mois chez la vipère aspic. Les quantités considérables d'énergie et de matière investies par les femelles

pour former des œufs étaient-elles complètement transformées en vipéreaux ? Le suivi individuel par RMN a clairement révélé des phénomènes qui étaient restés purement hypothétiques : par exemple, une femelle a ovulé en juin quatre œufs quasi identiques, mais, trois mois plus tard, seuls deux vipéreaux sont nés. Nous avons ainsi la preuve directe que deux œufs sur quatre ont régressé pendant la gestation. La RMN a révélé que, très tôt après l'ovulation, les deux œufs qui se sont développés étaient pourvus d'embryons, ce qui n'était pas le cas des deux autres. Il reste à comprendre pourquoi 50 pour cent seulement des œufs de cette femelle étaient fécondés.

Enfin nous avons observé que les vipéreaux sur le point de naître, mais qui sont encore dans les voies génitales de la

femelle, avaient eux-mêmes accumulé d'importantes réserves de lipides. Cette accumulation est nécessaire, car les vipéreaux ne s'occupent pas des vipéreaux, qui doivent survivre durant les six à huit premiers mois de leur vie sans s'alimenter.

Les techniques mises au point pourrait être appliquées à d'autres serpents, mais aussi à d'autres groupes animaux, tels les oiseaux ou les mammifères. Signalons enfin que ces recherches d'écologie évolutive que nous menons ne coûtent pas cher, car nous utilisons les appareils de RMN médicaux aux heures creuses de fonctionnement des hôpitaux, et que ces machines ne doivent jamais être stoppées.

Xavier BONNET, Centre d'études biologiques de Chizé, CNRS
Serge AKOKA, Faculté de médecine de Tours, INSERM

Graine et dynamo

Depuis les années 1950, l'idée s'est imposée que le champ magnétique de la Terre est entretenu par des courants dus à des mouvements de fer liquide dans le noyau terrestre. En raison de l'augmentation de pression avec la profondeur, le fer du noyau terrestre, liquide entre 2 900 et 5 200 kilomètres de profondeur, est solide jusqu'au centre, à 6 370 kilomètres : c'est la graine. Or, à mesure que la Terre se refroidit, la graine grossit ce qui libère l'énergie nécessaire à l'entretien du champ magnétique. À l'aide de simulations numériques, nous avons trouvé qu'à partir d'une taille critique de la graine, la production du champ magnétique s'arrête.

La graine n'occupe que quatre pour cent du volume du noyau. Pourtant, sa cristallisation qui libère la chaleur latente de solidification, est la principale source d'énergie pour les mouvements de convection qui agitent le fluide conducteur. Ces mouvements transportent le fluide à travers le champ magnétique baignant le noyau, ce qui crée des courants induits. À leur tour, ces courants engendrent un champ magnétique qui entretient le champ magnétique de la Terre tant que les mouvements continuent : c'est la dynamo.

Pour modéliser la dynamo terrestre, nous cherchons les solutions des équations de la magnétohydrodynamique qui possèdent, comme le champ magnétique de la Terre, une symétrie de révolution autour de l'axe de rotation. On calcule ainsi l'évolution des mouvements du fluide, des courants électriques et du champ magnétique en fonction des différents paramètres physiques (viscosité du fluide, vitesse de rotation, rayon de la graine etc.).

Dans un premier temps la graine est petite. Dans des couches limites, à proximité de la fron-

tière noyau-manteau, l'intensité du champ magnétique est importante et le fluide conducteur subit d'importantes forces magnétiques. De plus, le fluide est également soumis à des forces dues à la rotation de la Terre. L'action combinée de ces forces crée des mouvements de convection qui transportent le fluide d'une couche limite de l'hémisphère Nord à une couche limite de l'hémisphère Sud, et vice versa.

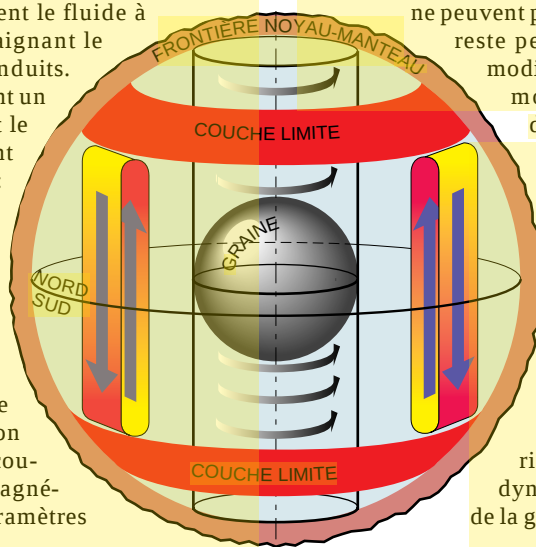
À mesure que la graine croît, les mouvements du fluide sont modifiés de deux manières. D'une part, dans le cylindre tangent à l'équateur de la graine, la vitesse est partout égale à celle de la surface de la graine. Ce cylindre est donc en rotation solide avec la graine.

D'autre part, la présence de la graine empêche la circulation entre les hémisphères Nord et Sud du noyau liquide. Les couches limites, privées de leur alimentation par un flux de matière provenant des profondeurs du noyau liquide,

ne peuvent plus se développer. Tant que la graine reste petite, la dynamo n'est presque pas modifiée. En revanche, lorsque cette « zone morte » devient trop importante, la dynamo cesse de fonctionner.

Ce mécanisme expliquerait le faible champ magnétique de Mercure qui posséderait une graine importante. Aujourd'hui, la Lune n'a plus de champ magnétique car son noyau est complètement cristallisé. Toutefois, la diminution progressive du champ magnétique lunaire, attesté par des échantillons anciens, s'expliquerait également par ce mécanisme. Pour la Terre, l'étude numérique indique l'interruption de l'effet dynamo lorsque le rapport entre le rayon de la graine et le rayon du noyau est légèrement supérieur à celui de la Terre actuelle. Le champ magnétique terrestre disparaîtra-t-il bientôt ?

Dominique JAULT,
Institut de physique du Globe,
Paris



Dans le noyau terrestre, près des couches limites, les forces magnétiques intenses et la rotation engendrent des mouvements verticaux (flèches violettes). La croissance de la graine solide gêne ces mouvements entre les hémisphères ce qui entraîne l'arrêt de la génération du champ magnétique de la Terre par effet dynamo.