

La température du noyau de la Terre réévaluée

A. DEWAELE - S. ANZELLINI - P. LOUBEYRE / CEA – DAM Île-de-France

M. MEZOUAR / ESRF, Grenoble

G. MORARD / CNRS – Université Pierre et Marie Curie, Paris

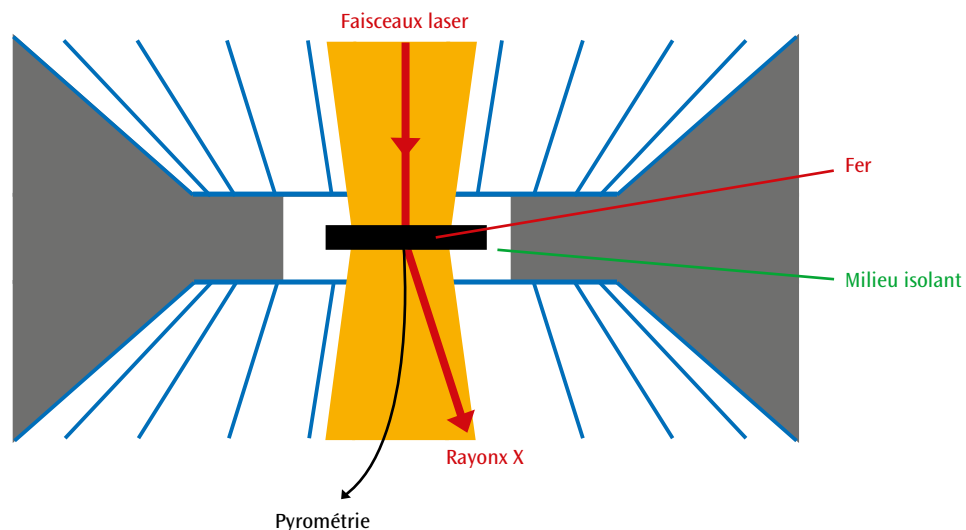
Nous avons mesuré au laboratoire les conditions de température régnant près du centre de la Terre. Son noyau est constitué essentiellement de fer, liquide ou solide en son centre. Nous avons donc soumis un micro-grain de fer aux conditions extrêmes qu'on trouve dans le noyau terrestre, la zone la plus profonde de notre planète, et déterminé son état en utilisant le faisceau X de l'ESRF (*European Synchrotron Radiation Facility*), le plus brillant du monde. La mesure de son point de fusion a permis de déterminer la température dans le noyau : entre 4 000 K et 5 900 K, suivant la profondeur.

La Terre est comparable à une gigantesque machine thermique, dont la chaleur provient en partie de son noyau, situé au-delà de 2 900 km de profondeur et constitué essentiellement de fer ; il y règne une pression allant de 1,3 million d'atmosphères (ou 130 Gigapascals, GPa) à 3,6 millions d'atmosphères. La chaleur provenant du noyau est essentielle car elle influence la nature des mouvements convectifs dans le manteau, responsables de la tectonique des plaques [1]. C'est aussi cette chaleur qui permet d'entretenir le champ magnétique terrestre. Pour quantifier cette chaleur, il est nécessaire de connaître la température dans le

noyau ; mais cette température ne peut se mesurer directement.

Le noyau est en grande partie liquide mais, en observant les ondes sismiques qui traversent la Terre, les sismologues savent que sa partie la plus profonde, qu'on appelle la graine, est solide. La graine grossit très lentement par solidification du noyau liquide. À la limite noyau-graine, à 5 150 km de profondeur et 330 GPa, la température doit donc être proche de la température de fusion du fer. Pour connaître la température dans le noyau terrestre, il suffit donc de connaître la température de fusion du fer à 330 GPa... Cette question avait déjà motivé plusieurs équipes,

Figure 1. Principe de l'expérience. L'échantillon de fer, inclus dans un milieu isolant (du KCl), est comprimé entre deux diamants et chauffé par deux lasers. Sa température est mesurée par pyrométrie. La diffraction de rayons X permet de déterminer sa pression et sa phase.



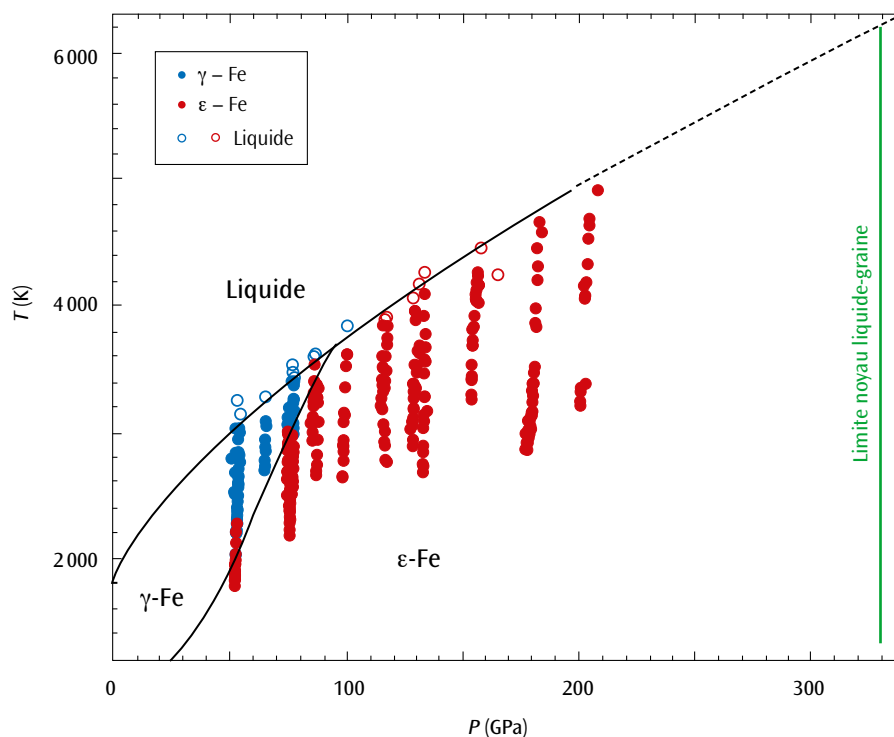


Figure 2. Diagramme de phase du fer à haute pression et haute température. Les symboles indiquent les conditions auxquelles une mesure par diffraction de rayons X a été effectuée. Les lignes de changement de phase sont basées sur ces mesures.

mais, jusqu'à présent, les évaluations expérimentales et théoriques divergeaient.

Nous avons essayé de comprendre cette divergence. De minuscules grains de fer, de la taille de grains de poussière (quelques microns), ont été comprimés entre deux pointes de diamants dans un dispositif appelé cellule à enclumes de diamants, créant ainsi une pression atteignant 220 GPa [2]. Deux faisceaux laser ont permis de chauffer les échantillons à plusieurs milliers de degrés (figure 1). Grâce au faisceau ultra fin de rayons X de l'ESRF, nous avons pu déterminer par diffraction l'état de l'échantillon, solide ou liquide (figure 2). Cette technique n'avait pas encore été employée car elle est très difficile à mettre en œuvre pour des échantillons si petits. Les mesures ont confirmé les résultats théoriques [3]. Nous pensons aussi avoir élucidé les divergences entre les précédentes évaluations expérimentales de la température de fusion du fer dans ces conditions [4] et les calculs théoriques. En effet, nous avons mis en évidence par diffraction un phénomène de recristallisation du fer solide en dessous de son point de fusion. Ce phénomène aurait créé des mouvements de surface qui ont été interprétés comme un signe de passage à la fusion.

Extrapolées jusque 330 GPa, les mesures donnent une température de fusion du fer de 6 230 K environ. En prenant en compte une diminution de ce point de fusion, estimée à 700 K [3], due à la présence d'éléments légers (Si, S, O...)

dans le noyau, nous avons estimé la température dans le noyau : entre 4 000 K et 5 900 K suivant la profondeur.

Le flux de chaleur qui s'en échappe serait alors d'environ 10 TéraWatt, une valeur qui confirme les modèles géophysiques du champ magnétique terrestre. Il pourrait suffire à faire fondre le manteau à sa base, ce qui favoriserait des mouvements de montée d'un fin panache de matériau mantellique vers la surface de la Terre. Ces panaches sont responsables de la formation de volcans qu'on appelle « points chauds » comme ceux qui constituent les îles d'Hawaii ou de la Réunion.

Références

- [1] T. LAY, J. HERNLUND, B. A. BUFFETT, "Core-mantle boundary heat flow", *Nat. Geosci.*, 1, p. 25-32 (2008).
- [2] S. ANZELLINI, A. DEWAELE, M. MEZOUAR, P. LOUBEYRE, G. MORARD, "Melting of iron at Earth's inner core boundary based on fast X-ray diffraction", *Science*, 340, p. 464-466 (2013).
- [3] D. ALFÈ, M. J. GILLAN, G. D. PRICE, "Temperature and composition of the Earth's core", *Contemp. Phys.*, 48, p. 63-80 (2007).
- [4] R. BOEHLER, "Temperatures in the Earth's core from melting-point measurements of iron at high static pressures", *Nature*, 363, p. 534-536 (1993).