



Le 24 avril 2013

COMMUNIQUE DE PRESSE

**Attention embargo jusqu'au jeudi 25 avril 2013, à 20H00 (heure française)**

## La température du noyau de la Terre réévaluée à l'ESRF

**Des scientifiques du CEA<sup>1</sup>, de l'ESRF<sup>2</sup> et du CNRS<sup>3</sup> ont déterminé la température près du centre de la Terre, à la frontière de son noyau de fer solide. Ils ont soumis un échantillon de micro-grains de fer aux conditions extrêmes que l'on trouve dans le noyau terrestre, la zone la plus profonde de notre planète. En utilisant le faisceau de rayons X de l'ESRF, le plus brillant du monde, ils ont ainsi mesuré le point de fusion et, en confrontant cette propriété aux mesures réalisées par les sismologues, en ont déduit avec une bonne précision la température dans le noyau : entre 3 800°C et 5 500°C suivant la profondeur. Ces résultats seront publiés le 26 avril 2013 dans la revue *Science*.**

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, une zone constituée essentiellement de fer et où règne une pression supérieure à 1 million d'atmosphères (ou 100 Gigapascals). La chaleur provenant du noyau est essentielle car elle influence la nature des mouvements convectifs dans le manteau, responsables de la tectonique des plaques. C'est aussi cette chaleur qui permet d'entretenir le champ magnétique terrestre.

Comment estimer sa température, en l'absence de moyen de mesure directe ?

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. A la limite noyau-graine, à 5 150 km de profondeur et 3,3 millions d'atmosphères de pression, 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 Gigapascals (GPa)... Cette question avait déjà motivé plusieurs équipes mais jusqu'à présent, les évaluations expérimentales et théoriques divergeaient.

Les chercheurs du CEA<sup>1</sup>, de l'ESRF<sup>2</sup> et du CNRS<sup>3</sup> ont 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, créant ainsi une pression atteignant 2 millions d'atmosphères. Un faisceau laser a permis de chauffer les échantillons à plusieurs milliers de degrés. Grâce à un faisceau ultra fin de rayons X de l'ESRF, les chercheurs ont pu déterminer par diffraction l'état de l'échantillon, solide ou en fusion, jusqu'à des valeurs de 4 800°C et 2,2 millions d'atmosphères (voir image 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.

Les chercheurs pensent aussi savoir pourquoi les précédentes évaluations expérimentales de la température de fusion du fer dans ces conditions, en particulier une étude allemande datant de 1993, différaient des calculs théoriques : un phénomène de re-cristallisation du fer, pendant l'expérience, en serait à l'origine.

<sup>1</sup> Direction des applications militaires du CEA, Bruyères-le-Châtel (91).

<sup>2</sup> Synchrotron européen de Grenoble.

<sup>3</sup> Institut de minéralogie et de physique des milieux condensés (CNRS/UPMC/IRD).

Extrapolées jusqu'à 3,3 millions d'atmosphères, les mesures donnent une température de fusion du fer de 6 000°C environ. L'accord entre mesure et prédictions théoriques permet maintenant d'estimer avec une bonne précision la température dans le noyau : entre 3 800°C et 5 500°C suivant la profondeur.

Le flux de chaleur qui s'en échappe serait alors d'environ 10 térawatts, 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:

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** 26 April 2013

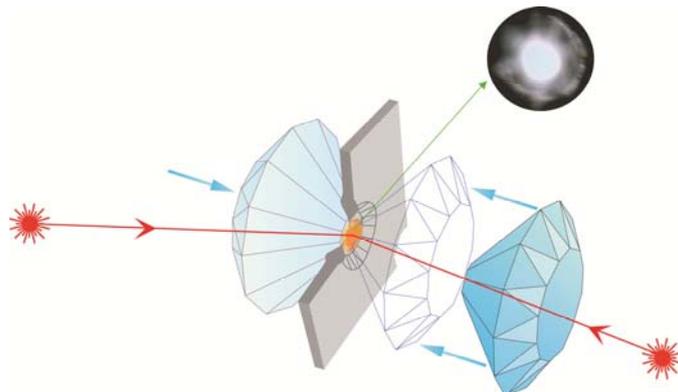
(R. Boehler, *Temperatures in the Earth's core from melting-point measurements of iron at high static pressures*, Nature 363, 534 - 536 (10 June 1993); doi:10.1038/363534a0)

#### Contacts presse:

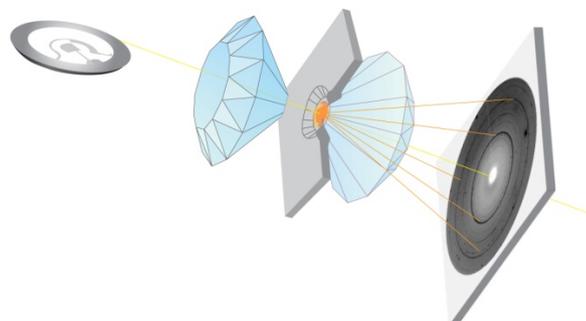
CEA - Stéphane Laveissière, [stephane.laveissiere@cea.fr](mailto:stephane.laveissiere@cea.fr) – Tél. : 01 64 50 27 53

ESRF - Claus Habfast, [claus.habfast@esrf.fr](mailto:claus.habfast@esrf.fr) – Tél. : 06 66 66 23 84

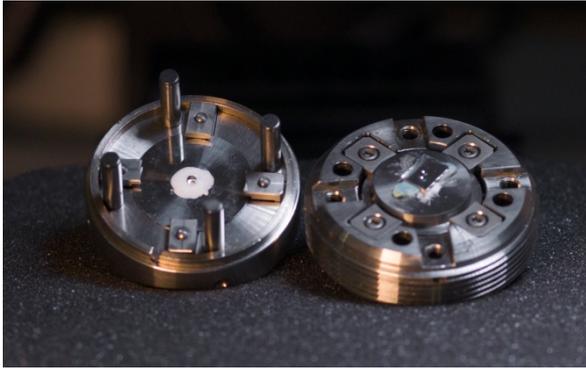
CNRS – Priscilla Dacher, [priscilla.dacher@cnrs-dir.fr](mailto:priscilla.dacher@cnrs-dir.fr) – Tél. : 01 44 96 46 06



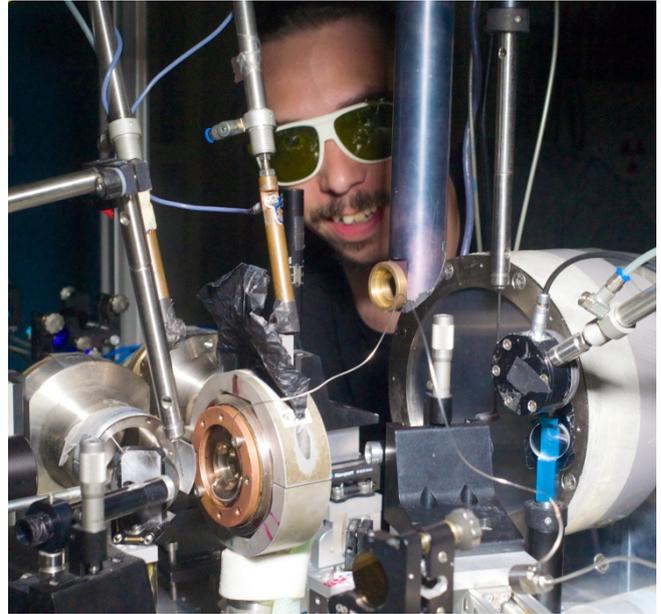
**Image 1** - Recréer les conditions du noyau terrestre au laboratoire: de très petits morceaux de fer, de la taille de grains de poussière, sont placés entre les pointes de deux diamants. Presser les diamants l'un contre l'autre permet de produire des pressions atteignant 2 millions d'atmosphères et au-delà. Un faisceau laser infrarouge peut alors chauffer l'échantillon jusque 3000 à 5000°C pour le faire fondre. Crédit ESRF/Denis Andrault.



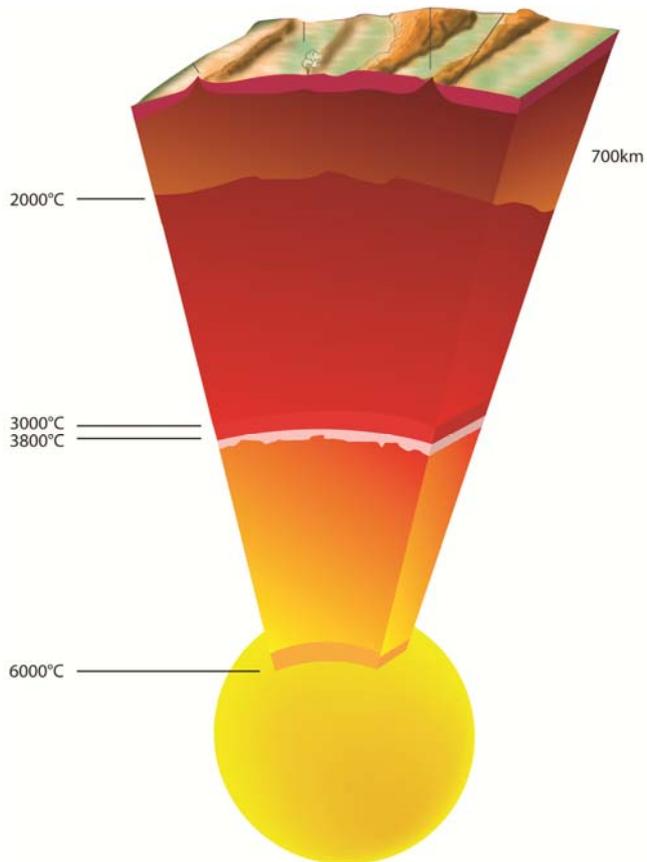
**Image 2** - Un faisceau très fin de rayons X synchrotron est utilisé pour détecter si l'échantillon de fer a fondu ou non. Ce changement d'état modifie le spectre de diffraction des rayons X enregistré derrière l'échantillon. Crédit ESRF/Denis Andrault.



**Image 3** - Une cellule à enclumes de diamants ouverte. Un des deux diamants est visible au centre du disque de gauche. Crédit ESRF/Blascha Faust.



**Image 4** - Le montage expérimental sur la ligne de lumière ID27 de l'ESRF, où les expériences ont été réalisées. La cellule à enclumes de diamants est au centre du cylindre en cuivre. Crédit ESRF/Blascha Faust.



**Image 5** Vue d'artiste des différentes enveloppes de la terre profonde avec leurs pressions et températures caractéristiques : la croûte, le manteau supérieur et inférieur (rouge), le noyau liquide (orange) et la graine (jaune). La pression à la limite noyau liquide-graine est de 3,3 millions d'atmosphères. Sa température est proche de la température de fusion du fer à cette pression. Crédit ESRF.