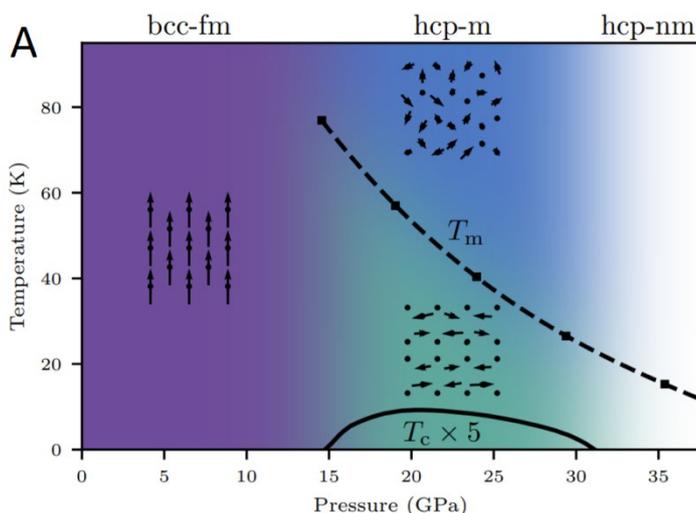


## L'énigmatique état magnétique du fer sous pression se dévoile

**À très haute pression, le fer présente un magnétisme si compliqué à observer que son existence même est controversée. Une équipe de physiciens en a enfin apporté une preuve expérimentale, tout en prédisant une nouvelle phase théorique.**

Le fer, avec ses alliages, constitue la majeure partie du cœur des planètes rocheuses. Son étude dans des conditions de pression et de température extrêmes éclaire donc la géophysique. Si le fer cristallise en conditions ambiantes dans une structure cubique, des pressions supérieures à 15 gigapascals (GPa) la transforment en une structure hexagonale et on parle alors de  $\epsilon$ -fer. Ce changement dans l'agencement des atomes fait perdre au matériau son ferromagnétisme, c'est-à-dire son aimantation due à l'alignement des moments magnétiques atomiques. D'autres formes de magnétisme pourraient subsister, mais elles n'avaient jamais été observées. Dans des travaux publiés dans la revue *PNAS*, des chercheurs et des chercheuses de l'Institut de minéralogie, de physique des matériaux et de cosmochimie (IMPIC, CNRS/MNHN/Sorbonne Université), du synchrotron SOLEIL, de l'Institut Laue-Langevin, de l'Institut de génétique et développement de Rennes (IGDR, CNRS/Univ. Rennes 1), du Laboratoire de chimie physique - matière et rayonnement (LCPMR, CNRS/Sorbonne Université) et de l'Institut Néel (CNRS) ont confirmé l'existence d'un état magnétique et précisé sa nature.

Les chercheurs ont étudié le  $\epsilon$ -fer avec des mesures de diffraction de neutrons, mais n'ont détecté aucun ordre magnétique global bien qu'il s'agisse de la meilleure méthode pour cela. L'équipe s'est également servie de la spectroscopie d'émission de rayons X, qui cible un magnétisme plus local. À partir de données longuement accumulées au synchrotron et dont l'analyse a permis d'atteindre une qualité de signal sans précédent, les scientifiques ont montré que l'état électronique du  $\epsilon$ -fer était compatible avec la présence d'un moment magnétique local. Une modélisation du système par la théorie de la fonctionnelle de la densité a prédit l'existence d'une nouvelle phase magnétique, appelée « smectique de spin », dans laquelle l'orientation relative et la valeur absolue des moments magnétiques des atomes fluctuent. Cet état magnétique exotique, où les fluctuations empêcheraient l'établissement d'un ordre magnétique à longue distance, peut réconcilier les observations expérimentales. Le  $\epsilon$ -fer possède ainsi un moment magnétique non nul et non ordonné, qui diminue progressivement avec la pression et disparaît au-delà de 30 GPa. Or, cette plage entre 15 et 30 GPa couvre celle où le matériau présente des propriétés supraconductrices : celles-ci pourraient donc être liées au magnétisme à très basse température.



**Diagramme de phase du fer. On y retrouve la structure cubique et ferromagnétique des conditions ambiantes (violet) et le  $\epsilon$ -fer (bleu/vert pour les phases magnétiques, blanc pour les phases non magnétiques). Les moments magnétiques désordonnés (bleu) s'arrangent en une phase smectique de spin (vert) en dessous d'une température critique  $T_m$ . Les propriétés supraconductrices du fer apparaissent en dessous de la température  $T_c$ . © Lebert et al.**

## Bibliographie

---

### **Epsilon-iron as a spin-smectic state.**

B. W. Lebert, T. Gorni, M. Casula, S. Klotz, F. Baudelet, J. M. Ablett, T. C. Hansen, A. Juhin, A. Polian, P. Munsch, G. Le Marchand, Z. Zhang, J.-P. Rueff et M. d'Astuto. *PNAS*, le 23 septembre 2019.

DOI: [10.1073/pnas.1904575116](https://doi.org/10.1073/pnas.1904575116)

Lire l'article sur les bases d'archives ouvertes [arXiv](#) et [HAL](#).

## Contacts

---

**Matteo d'Astuto** | Chargé de recherche au CNRS | Institut Néel | [matteo.dastuto@neel.cnrs.fr](mailto:matteo.dastuto@neel.cnrs.fr)

**Communication CNRS-INP** | [inp.com@cnrs.fr](mailto:inp.com@cnrs.fr)

