



COMMUNIQUÉ DE PRESSE REGIONAL | TALENCE | 14 février 2018

Des lasers et un champ magnétique pour des flux d'énergie inédits dans la matière

L'étude en laboratoire de la matière dans des conditions extrêmes de densité et de température, telles que celles existantes dans les étoiles ou à l'intérieur des planètes, est réalisable grâce à des expériences utilisant des impulsions laser très intenses. L'interaction de celles-ci avec des cibles denses peut générer un important flux d'énergie vers l'intérieur des cibles, notamment sous la forme d'un faisceau d'électrons relativistes. Des chercheurs du CELIA (Centre Lasers Intenses et Applications – université de Bordeaux / CNRS / CEA), en collaboration avec plusieurs laboratoires nationaux et internationaux¹, viennent d'améliorer de 500 % l'efficacité du transport de l'énergie des électrons par une méthode inédite utilisant un champ magnétique externe, également généré par laser, suffisamment fort pour guider le flux d'électrons. Ces travaux, publiés dans la revue *Nature Communications* le 9 janvier 2018, ouvrent des perspectives en lien avec la planétologie, l'astrophysique ou encore la production d'énergie par fusion par confinement inertiel.

Lorsque l'on focalise des impulsions laser intenses sur une petite cible à l'état solide, la matière est rapidement ionisée dans la zone d'interaction, créant ainsi un plasma : un état énergétique de la matière, où coexistent des atomes ionisés et des électrons libres. Dans cette expérience, l'intensité laser sur cible correspond à une énergie de seulement 15 millièmes de kWh, mais transmise pendant un instant très bref, d'un millionième de millionième de seconde, sur une surface de 15 millièmes de millimètre de diamètre. L'intensité (également appelée flux de densité d'énergie) laser est extrême ! Cependant la matière est opaque à la lumière laser. Comment alors transférer l'énergie en son sein ? En effet, à ces intensités, l'interaction laser-matière accélère les électrons à des vitesses relativistes, de l'ordre de 90 % de la vitesse de la lumière, et engendre des courants extrêmement intenses de quelques dizaines de millions d'Ampère vers l'intérieur de la matière. Cependant ce faisceau d'électrons est intrinsèquement divergent : l'éparpillement angulaire des particules accélérées dans la zone de l'interaction ne permet pas un transport efficace de leur énergie dans la matière. Pour guider la propagation d'électrons si énergétiques il est nécessaire d'appliquer des champs magnétiques extrêmement forts, d'un minimum de 400 Tesla.

C'est ce que l'équipe de chercheurs a réalisé en utilisant une source de champ magnétique entièrement optique qui génère des impulsions magnétiques de 600 Tesla, durant quelques nanosecondes (cf. encadré). La durée de ces impulsions magnétiques peut sembler très courte, mais est en réalité parfaitement adaptée aux études mentionnées, car elle est mille fois plus longue que le temps du trajet d'électrons relativistes dans les cibles sous-millimétriques habituellement utilisées dans des expériences laser-plasma. **L'expérience qui est décrite dans *Nature Communications* est la première à montrer qu'il est possible, dans un temps aussi court que quelques nanosecondes, de produire un champ magnétique fort, de le diffuser sur un échantillon solide d'un dixième de millimètre d'épaisseur, et ainsi de guider la propagation d'un faisceau intense et relativiste d'électrons à travers le matériau magnétisé.** Le flux de densité d'énergie et le chauffage induit dans la matière sont ainsi beaucoup plus

¹ ILE - Université d'Osaka, Université Technique de Madrid ; LULI - Ecole Polytechnique / CNRS / CEA / Université Paris-Saclay / UPMC ; Sorbonne Universités ; Université d'Oxford ; Université d'York et Université Technique de Darmstadt



homogènes le long l'axe de propagation, avec une amélioration de 500 % à l'arrière des cibles par rapport à l'expérience de référence sans champ magnétique extérieur appliqué (cf. figure).

Côté applications, le succès de cette méthode ouvre la voie à des études de la matière magnétisée à haute densité d'énergie. On parle ici de recréer en laboratoire des conditions où la matière serait suffisamment dense, chaude et magnétisée pour se rapprocher et **mieux comprendre les états de la matière existant à l'intérieur des planètes, dans les étoiles**, voire dans des systèmes astrophysiques très énergétiques tels que, par exemple, les rémanents de supernovæ ou les sursauts de rayonnement gamma. Dans un autre domaine, on connaît depuis les années 1960 le potentiel des lasers pour compresser et chauffer la matière en même temps. On cherche notamment à atteindre, de façon contrôlée, des densités de mille fois celles de l'état solide et des températures de l'ordre de 100 millions de degrés centigrade : les conditions qui, comme à l'intérieur des étoiles, permettraient la fusion d'atomes légers et la libération de l'énergie sous la forme de neutrons. **Il s'agirait de reproduire en laboratoire la source d'énergie des étoiles**. Les résultats obtenus maintenant permettent **d'envisager le transport d'électrons relativistes comme un levier prometteur vers la fusion par confinement inertiel**.

Un champ magnétique hors norme

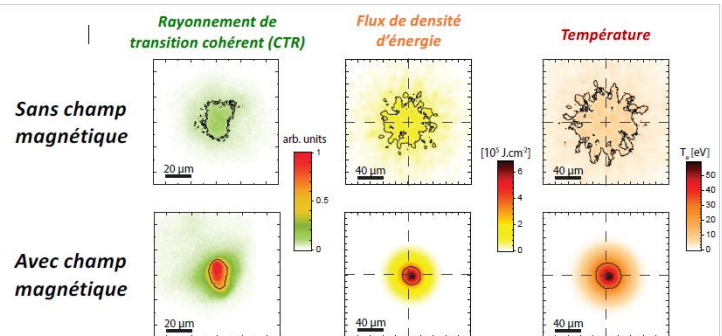
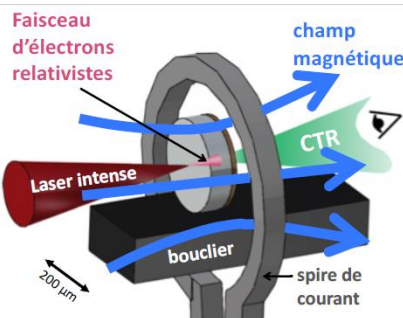
Pour cette expérience, les chercheurs ont appliqué des champs magnétiques extrêmement forts, de 600 Tesla. Ceci dépasse largement ce qui est actuellement réalisable par des aimants : le record du monde pour un aimant permanent est de 40 Tesla, et des aimants pulsés peuvent atteindre aujourd'hui quelques centaines de Tesla, mais requièrent des bancs de capacité électrique énorme et une machinerie trop encombrante pour les expériences laser. En comparaison, un petit aimant décoratif accroché à un frigo n'a qu'un champ magnétique d'un dixième de Tesla, et le champ magnétique de la Terre, qui pourtant protège la planète en déviant les vents solaires, ne fait au niveau de la croûte terrestre qu'environ 50 millièmes de Tesla.

Pour produire de forts champs magnétiques en laboratoire, les chercheurs ont eu l'idée d'explorer la physique de l'interaction laser-matière. Ces recherches ont commencé au Japon dans les années 1980 : des cibles constituées par deux disques parallèles liés par un fil en forme de spire, se comportent comme une source de courant lorsque irradiées par un laser suffisamment intense. Le courant circule dans la spire reliant les deux disques, où le flux magnétique est condensé le long de son axe. **L'équipe de chercheurs coordonnée par le CELIA est parmi les pionnières à avoir démontré et finement caractérisé la génération d'impulsions magnétiques supérieures à 500 T et de durée de quelques nanosecondes** (quelques milliardièmes de seconde), avec des spires de 0.5 millimètres de diamètre. La source de champ magnétique utilisée est entièrement optique, ne nécessitant d'aucune source d'énergie extérieure en dehors d'impulsions laser suffisamment énergétiques. **L'approche est révolutionnaire au regard de l'ampleur du champ magnétique créé**. Les résultats de ces expériences ont fait l'objet de publications en 2015 et 2016, suivis en 2017 d'une proposition théorique pour la description des mécanismes physiques sous-jacents.



www.cnrs.fr

université
de BORDEAUX



Dispositif expérimental pour le transport de faisceaux d'électrons relativistes dans la matière avec un fort champ magnétique externe et comparaison des résultats obtenus, avec et sans champ magnétique appliqué. Le faisceau d'électrons est généré par un faisceau laser picoseconde intense sur une cible solide de plastique de 60 micromètres d'épaisseur. Une décharge de courant intense est préalablement produite sur la spire par un laser nanoseconde de haute énergie, engendrant un champ magnétique dipolaire orienté selon l'axe de la spire. La propagation du faisceau d'électrons dans la matière est diagnostiquée en imageant le rayonnement de transition cohérent (CTR) émis lorsque les électrons traversent l'interface entre la matière et le vide en face arrière de la cible. Avec l'application du champ magnétique externe, de 600 T au centre de la spire, l'émission CTR est pincée et significativement plus intense. Ceci correspond à une augmentation d'un facteur 5 sur le flux de densité d'énergie et sur le chauffage induit à l'arrière de la cible. L'expérience, coordonnée par une équipe de chercheurs du CELIA (Université de Bordeaux-CNRS-CEA), a été réalisée sur l'installation laser LULI2000 au Laboratoire pour l'utilisation des lasers intenses (LULI - Ecole Polytechnique-CNRS-CEA-Université Paris-Saclay-UPMC).

Contacts presse

Chercheur | João Jorge Santos | T 05 40 00 34 91 | joao.santos@u-bordeaux.fr

CNRS délégation Aquitaine | Claire Gouny | T 05 57 35 58 77 | claire.gouny@cnrs.fr

Université de Bordeaux | Delphine Charles | T 05 40 00 33 43 | delphine.charles@u-bordeaux.fr

CEA | Jean Lajzerowicz | T 05 57 04 42 12 | jean.lajzerowicz@cea.fr

Bibliographie

M. Bailly-Grandvaux *et al.*, Nature Communications 9, 102 (2018), DOI : [10.1038/s41467-017-02641-7](https://doi.org/10.1038/s41467-017-02641-7)

J.J. Santos *et al.*, New Journal of Physics 17 (2015) 083051, <http://dx.doi.org/10.1088/1367-2630/17/8/083051>

K.F.F. Law *et al.*, App. Phys. Lett. 108, 091104 (2016), <http://dx.doi.org/10.1063/1.4943078>

V.T. Tikhonchuk *et al.*, Phys. Rev. E 96, 023202 (2017),

<https://journals.aps.org/pre/abstract/10.1103/PhysRevE.96.023202>