

Visite du Laboratoire national des champs magnétiques intenses (LNCMI)

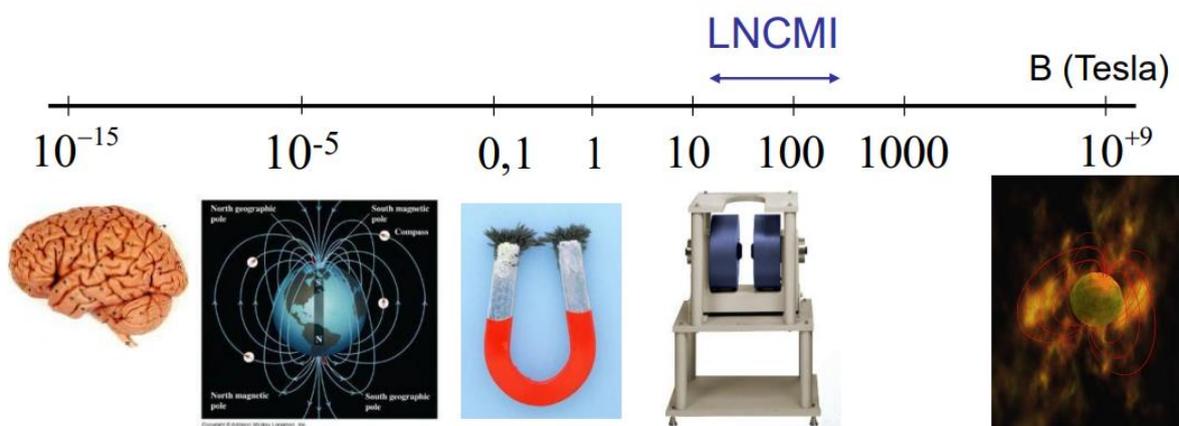
Nous avons visité le Laboratoire national des champs magnétiques intenses (LNCMI) le mardi 28 mars 2023. Nous avons été accueillis par Florence Lecouturier, directrice-adjointe du LNCMI-Toulouse, Jean Léotin, Professeur émérite à l'Université Toulouse III et Jérôme Béard, ingénieur de recherche au CNRS.

Après un sympathique accueil café, Jean Léotin et Jérôme Béard nous ont présenté le laboratoire et ses activités, avant de nous conduire au travers des installations techniques impressionnantes.

Nous débuterons ce compte rendu par un petit rappel sur le champ magnétique dans le monde qui nous entoure, puisque celui-là est au cœur du sujet. Puis nous présenterons succinctement la physique sous-jacente, le laboratoire et décrirons ses activités, et enfin nous ferons une petite visite guidée illustrée.

Le champ magnétique

Pour commencer, puisque nous allons parler de champs magnétiques, rappelons leur intensité dans le monde qui nous entoure grâce au schéma ci-dessous.



Ce schéma indique la valeur (en unité tesla – symbole T) du champ magnétique depuis celui produit par un ensemble de neurones activés dans notre cerveau au cours d'une tâche cognitive jusqu'à celui d'un pulsar ou d'une étoile à neutrons, en passant par celui de notre Terre ou d'un simple aimant de frigo. Autrement dit du milliardième de milliardième de tesla jusqu'au milliard de teslas.

Comme on peut le voir, le domaine qui va nous intéresser est celui autour des dix à deux-cents teslas. En effet, cette gamme de champs magnétiques, que peuvent produire les super-aimants du LNCMI (dans des bobines de type solénoïde parcourues par des courants d'intensité extrême), va permettre aux physiciens d'explorer un éventail de propriétés fondamentales de la matière.

Pourquoi utiliser un champ magnétique ?

Les champs magnétiques intenses constituent des outils de recherche particulièrement importants car, en permettant de sonder les matériaux à l'échelle subatomique, ils permettent d'étudier, modifier et contrôler l'état de la matière. Toutes sortes de matériaux peuvent être explorés grâce à eux car dans un champ magnétique intense tous les matériaux sont « magnétiques ».

« Appliquer un champ magnétique (explique Geert Rikken, ancien directeur du laboratoire) sur un échantillon provoque chez celui-ci des variations de résistance, de température, de caractéristiques optiques ou mécaniques que l'on peut mesurer. Les applications sont très nombreuses. En médecine, l'IRM est sans doute la plus connue. On peut aussi étudier les composants en silicium utilisés en électronique et en fabriquer de plus performants. Autre centre d'intérêt majeur : les supraconducteurs. Ceux-ci sont capables de conduire le courant électrique sans résistance, donc sans déperdition d'énergie, avec performances et économie à la clé. Pour cela, il faut comprendre les propriétés les plus intimes de la matière. »

Le laboratoire LNCMI

Le LNCMI - Laboratoire national des champs magnétiques intenses - est une unité propre de recherche (UPR) du CNRS. Il est associé à Institut National des Sciences Appliquées (INSA), à l'Université Grenoble Alpes et à l'Université Toulouse III - Paul Sabatier, et a le statut de très grand instrument de recherche (TGIR) du CNRS. Il est composé de 120 personnes. Il couvre l'étude de phénomènes physiques en champs magnétiques intenses allant de quelques teslas à 200 T, ainsi que le développement de l'instrumentation associée à ce domaine de recherche.

Tout en étant une installation française, le LNCMI est intégré dans un consortium de trois laboratoires européens localisés à Toulouse/Grenoble, Nimègue (Pays-Bas) et Dresde (Allemagne) : l'*European Magnetic Field Laboratory* (EMFL). L'EMFL a pour mission d'offrir l'accès à ses installations aux scientifiques français ou étrangers, via un comité d'évaluation de projets, ainsi que de promouvoir un leadership européen dans la production et l'utilisation de champs magnétiques intenses.

Dans le monde, la production de champs intenses est organisée en deux filières technologiques spécifiques, l'une pour les champs « continus » et l'autre pour les champs « pulsés » : 2 aux USA, 2 en Chine, 3 au Japon et 3 en Europe – dont le LNCMI. Le LNCMI, réparti entre Grenoble et Toulouse, offre les deux techniques :

- à Grenoble, avec des aimants résistifs et hybrides, sont générés des champs continus (de longue durée) allant jusqu'à 36 T ;
- à Toulouse, avec des aimants alimentés par une décharge de batteries de condensateurs, sont générés des champs pulsés (très forts mais courts) allant : 1) jusqu'à 96-99 T pendant quelques millisecondes et de manière non-destructive (la bobine est conservée et réutilisable) ; et 2) jusqu'à 200 T mais seulement pendant quelques microsecondes et de manière semi-destructive (la bobine est détruite chaque fois même si l'échantillon est conservé).

Au LNCMI, toute l'instrumentation est conçue et construite sur site de A à Z (fils, bobines, générateurs, instruments de mesure, systèmes de contrôle, etc.) et la totalité des expériences sont gérées en interne, sous la supervision d'une équipe d'une trentaine de chercheurs et d'ingénieurs sur chaque site. Ainsi, une centaine de projets scientifiques peuvent être réalisés chaque année par des scientifiques locaux ou extérieurs sélectionnés par le comité de programme de l'EMFL.

Nous nous concentrons à présent sur la partie toulousaine et sa spécificité « presque 100 T ».

En pratique, lors de l'expérimentation, de petits échantillons de matière à étudier sont installés sur une canne équipée de fils de mesure et de capteurs, puis cette canne est insérée dans un cryostat qui permet d'atteindre des températures proches du zéro absolu (quelques dizaines de millikelvins). Enfin, ce cryostat est inséré au centre d'un super-aimant.

➔ Voyons les conditions de l'expérimentation :

Les super-aimants sont constitués de bobines compactes en fil de cuivre renforcé, lesquelles sont alimentées par le courant de décharge d'un banc de plus d'une centaine de condensateurs, disposés en parallèle, chargé sous une tension allant jusqu'à 24 kV.

Les forces de Lorentz dans le bobinage, où le courant crête atteint quelques dizaines de kA en quelques millisecondes, produisent une pression magnétique colossale (jusqu'à 40 tonnes par cm^2 dans une bobine de 100 T). Ces contraintes extrêmes nécessitent le renforcement du bobinage par des fibres de Zylon (qui est un polymère à cristaux liquides comparable au Kevlar utilisé pour les gilets pare-balles). Dans ce contexte, où la tension d'alimentation est très élevée et le risque d'explosion des bobines important, il est nécessaire d'utiliser les super-aimants dans des box isolés et hautement sécurisés, connectés par fibre optique au poste extérieur de gestion de l'expérience.

Le LNCMI de Toulouse offre ainsi des conditions uniques pour réaliser des expériences d'aimantation, de transport électrique et d'optique sous champ magnétique pulsé. Cette spécificité fait de lui un pôle de recherche international pour l'étude de la matière condensée. Il est ainsi le leader européen dans le domaine de la production et l'utilisation de champs magnétiques pulsés non destructifs de « longue durée » (une dizaine de milliseconde) et atteignant presque 100 T.

Cinq laboratoires dans le monde sont engagés dans cette course aux cent teslas. Le LNCMI de Toulouse a récemment marqué un point important en réalisant un aimant générant un champ magnétique pulsé de 98,8 T.



Cette intensité vaut au laboratoire toulousain de grimper sur la deuxième marche du podium des records absolus de puissance pour les champs magnétiques pulsés non destructifs, derrière Los Alamos (États-Unis).

Le prochain objectif du LNCMI est de dépasser la barre des 100 T pour décrocher le record mondial de puissance, tout en conservant l'impulsion de « très longue durée » qui a déjà fait sa réputation.

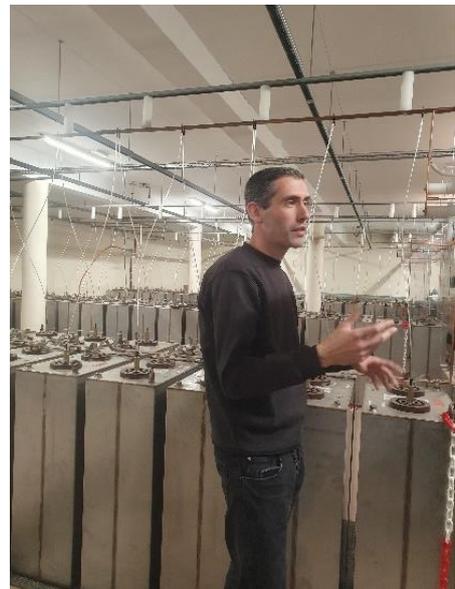
Remarque : durant cette visite nous avons vu que des aimants plus puissants (200 T) existent bien. La bobine est constituée par une mono-spire de cuivre parcourue pendant quelques microsecondes par un courant excédant un million d'ampères fourni par une batterie de condensateurs chargés jusqu'à 50 kV. Elle explose alors violemment, sans toutefois détruire le cryostat contenant l'échantillon mesuré placé en son centre. La bobine est ensuite remplacée pour un tir suivant.

Visite guidée

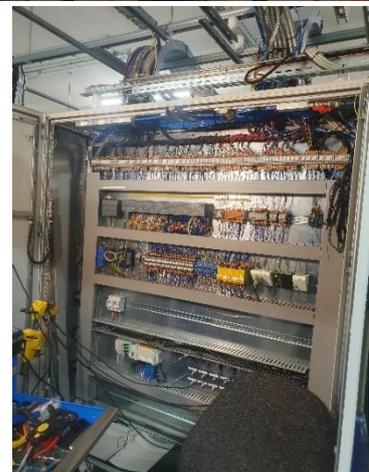
Personnes portant des pacemakers s'abstenir lors des manips...



Le banc de condensateurs (ci-dessus) et notre hôte Jérôme Béard (à droite)



Relais de sélection des modules de condensateurs
A l'arrière on aperçoit le banc de condensateurs



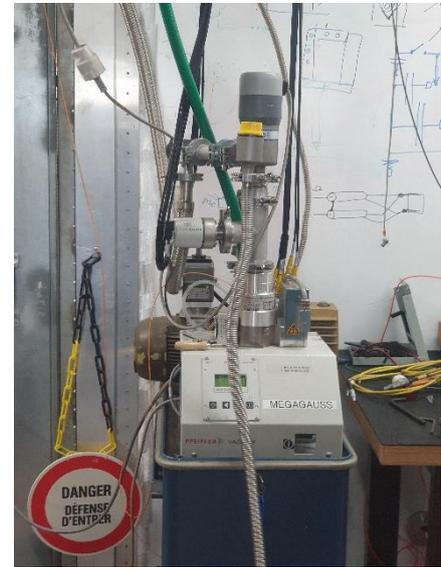
Armoire de pilotage



Bobine générant le champ magnétique (à gauche) et destinée à recevoir l'échantillon de matière à analyser. Celle-ci est placée dans un box sécurisé pour protéger le laboratoire et les humains de décharges électriques intempestives et destructives, et l'épaisseur de la porte blindée (à droite) qui y donne accès montre le niveau de sécurité.



Atelier de fabrication des fils
Un banc d'étirage permet jusqu'à 12 tonnes de traction



Aimant mono-spire de cuivre
(cas semi-destructif)

Compte-rendu rédigé par Sylvie Roques

Photos souvenir



Les amis de l'A3 après 3 heures de visite passionnante !

Au centre (chemise bleu ciel) : notre hôte Jean Léotin, au fond à droite (pull marron) : notre hôte Jérôme Béard.

Jérôme et Jean
sous la lumière
des projecteurs !
Encore un grand
merci à eux.

