

LE MARCHÉ DE LA SUPRACONDUCTIVITÉ

En 2009, le marché mondial de la supraconductivité était de 4,3 milliards d'euros, dominé à 78 pour cent (3,355 milliards d'euros) par l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et la spectroscopie par résonance magnétique nucléaire (RMN). La supraconductivité pour les instruments de recherche représentait 765 millions d'euros. Le reste concerne les applications émergentes : électrotechnique (100 millions d'euros) et électronique (80 millions d'euros). On s'attend à une croissance modérée des marchés dominants, mais à une très forte augmentation des marchés émergents.



Pour la LIPA, l'un des principaux opérateurs de réseaux électriques des États-Unis, la Société française Nexans a fabriqué et installé un câble de transport supraconducteur mis sous une tension de 138 000 volts. C'est la liaison supraconductrice la plus longue (600 mètres) et la plus puissante du monde (ci-contre, une coupe du câble ; ci-dessus, son raccordement au réseau).

des constituants élémentaires, et pour produire des particules de masse élevée qui ont pu exister juste après le Big Bang. Les masses des particules appartenant au « modèle standard » de la physique des particules restent aujourd'hui inexplicables. Il y a plusieurs décennies, le physicien britannique Peter Higgs a proposé un mécanisme théorique qui suppose l'existence d'une particule, le boson de Higgs ; l'interaction de ce dernier avec les particules connues leur conférerait leurs masses.

Mais ce boson de Higgs aurait une masse très élevée et il faut donc des accélérateurs de particules particulièrement puissants pour le découvrir. Deux accélérateurs, tous deux à technologie supraconductrice, sont sur les rangs : le *Tevatron* américain (0,9 téraélectronvolt par faisceau, donc le double pour l'énergie des collisions) qui sera bientôt arrêté et le LHC (*Large Hadron Collider*, ou grand collisionneur de hadrons) du CERN, à Genève (7 téraélectronvolts par faisceau).

Dans ces accélérateurs, des aimants maintiennent les particules sur une trajec-

toire circulaire. À énergie donnée, plus le champ magnétique fourni par les aimants est intense, plus le rayon de l'accélérateur est petit, d'où l'intérêt de la technologie supraconductrice.

Les chiffres pour le LHC sont sans appel. Grâce à ses 1 232 aimants en niobium-titane (NbTi) qui produisent sans pertes un champ de 8,3 teslas, la circonférence du LHC n'est « que » de 26,7 kilomètres, avec un système de cryogénie qui consomme 40 mégawatts seulement (voir la figure 2). La technologie classique, avec des aimants résistifs, limite le champ à 1,8 tesla. Elle aurait conduit à une circonférence de 110 kilomètres et une consommation de 900 mégawatts. Sans la supraconductivité, le LHC n'était tout simplement pas concevable...

2 000 tonnes de niobium-titane au LHC

Au LHC, qui a démarré en 2008, d'autres aimants jouent le rôle de lentilles magnétiques et focalisent les faisceaux. Le champ magnétique se révèle aussi très utile autour des zones de collisions pour dévier les particules chargées produites et ainsi mieux les analyser. Ces aimants de détection doivent produire des champs intenses dans de grands volumes et être peu encombrants pour laisser le maximum de place aux détecteurs eux-mêmes : c'est le cahier des charges idéal pour un aimant supraconducteur. Le LHC fait ainsi appel à plusieurs très grands aimants supraconducteurs de détection, tel le toroïde supraconducteur ATLAS, dont la masse de matériau supraconducteur est de 376 tonnes. Au total, le LHC utilise plus de 2 000 tonnes de niobium-titane.

Notons que les accélérateurs de particules ont aussi des applications médicales, telle la protonthérapie où des faisceaux de protons déposent leur énergie avec une précision millimétrique et sans endommager les tissus traversés. La production des protons avec la bonne énergie (plusieurs centaines de mégaélectronvolts) fait, là encore, intervenir des aimants, auxquels la supraconductivité peut conférer une masse, un volume et une consommation réduits.

Un autre domaine d'application de la supraconductivité, et qui prend de plus en plus d'importance, est celui des réseaux de distribution de l'électricité. Étant donné la place que cette forme d'énergie occupe dans la vie moderne, les réseaux électri-

ques sont devenus une infrastructure critique, qu'il faut sécuriser au mieux, avec une qualité (en termes de tension notamment) garantie.

Sécuriser les réseaux électriques

Une façon simple de sécuriser la fourniture d'électricité à un point de consommation donné est de multiplier les chemins possibles d'alimentation. Cette technique très efficace est limitée par le problème des « courants de défaut » (dus à un court-circuit par exemple). En effet, un disjoncteur ne coupe pas instantanément un courant de défaut, ce qui laisse le temps à un tel courant d'occasionner des dégâts sérieux. Par exemple, les forces électrodynamiques étant proportionnelles au carré du courant, un courant de défaut 20 fois supérieur au courant normal conduit à des forces 400 fois plus élevées.

Or lorsqu'on multiplie les chemins d'alimentation, les courants de défaut s'additionnent. La solution à ce problème est de limiter le courant de défaut, et pas seule-

ment de l'interrompre. Comment ? La seule réponse satisfaisante est fournie par la supraconductivité, grâce au courant critique qui caractérise un matériau supraconducteur.

Pourquoi ? Parce que dès que le courant dépasse la valeur critique, l'élément supraconducteur perd sa supraconductivité et développe presque instantanément une résistance qui limite le courant de défaut. En revanche, pour des courants inférieurs à la valeur critique, l'élément est électriquement transparent, puisque sans résistance. Deux limiteurs supraconducteurs ont ainsi déjà été installés dans le réseau européen et les distributeurs d'électricité s'intéressent de plus en plus à ces appareils.

D'autres équipements supraconducteurs ont fait leur apparition en électrotechnique. Notamment, une liaison supraconductrice de 600 mètres fonctionne depuis avril 2008 dans le réseau électrique américain à très haute tension (138 kilovolts) ; elle peut transporter 600 mégavoltampères (puissance nécessaire pour 600 000 habitants environ).

Ainsi, les supraconducteurs sont devenus indispensables pour certaines applications, notamment en électrotechnique comme nous venons de le voir. Sans supraconductivité, l'IRM n'aurait pas connu son développement actuel et le LHC aurait été inconcevable. Les supraconducteurs sont à la base de détecteurs ultrasensibles pour la physique ou de nouveaux outils de diagnostic médical pour le cerveau ou le cœur, ils permettent de construire des systèmes modèles pour la physique et l'ingénierie quantiques. Et ils rendent bien d'autres services, par exemple dans les réacteurs expérimentaux pour la fusion nucléaire.

La supraconductivité représente une technologie de rupture, qui prend du temps pour s'imposer, surtout dans un marché bien établi et parce qu'elle est tributaire de la cryogénie. Mais le centenaire de la découverte de la supraconductivité coïncide avec deux faits : la préindustrialisation de matériaux à haute température critique performants (YBaCuO) et de nouvelles exigences pour les réseaux d'électricité. L'avenir des supraconducteurs n'en est que plus prometteur. ■

 
**le collège
universcience**
à la Cité des sciences et de l'industrie

Colloque
Vendredi 8 avril à 14 h
Samedi 9 avril à 10 h

L'océan et le climat vus de l'espace

Colloque organisé en partenariat avec le COSPAR (Committee on space research).

L'océan, qui couvre les deux tiers de la surface de la Terre, joue un rôle déterminant dans le contrôle et l'évolution du climat de la planète. Observer l'océan est devenu l'affaire des satellites, qui permettent d'en survoler la totalité en un temps très court, et qui donnent accès à un ensemble de données essentielles : température, vent et vagues, niveau de la mer, salinité, glaces de mer... La combinaison des observations spatiales et de celles acquises par les mesures de la mer constitue un outil puissant au service de la surveillance des océans et du changement climatique.

Le colloque est placé sous la présidence de **Giovanni Bignami**, président du COSPAR et de **Roger-Maurice Bonnet**, directeur de l'Institut international des sciences spatiales.

Il est organisé à l'occasion de l'ouverture de l'exposition *Océan, climat et nous* que la Cité des sciences et de l'industrie propose à partir du 6 avril 2011.

Programme complet : universcience.fr

Avec le soutien de

