

# LES MATÉRIAUX QUANTIQUES

Pour comprendre les nouveaux états quantiques de la matière, les physico-chimistes qui synthétisent ces matériaux sont un appui des expériences effectuées en conditions extrêmes de champ magnétique.

## AU PROGRAMME



### CONTRIBUTION

**Sylvain Capponi,**

Laboratoire de physique théorique (LPT)

**Cyril Proust,**

Laboratoire national des champs magnétiques intenses (LNCMI)

Les matériaux quantiques sont une classe de matériaux (métalliques ou isolants) dont les propriétés électroniques sont inhabituelles. Historiquement, ce sont les matériaux présentant de fortes corrélations électroniques (les électrons se « parlent » et interagissent) qui engendrent des comportements coopératifs qui ne peuvent pas être compris à partir des propriétés individuelles des électrons. On parle de propriétés émergentes car l'ensemble des électrons se comportent de façon différente d'un électron isolé. Plus récemment, comme il est devenu clair que ces propriétés exotiques ne sont pas limitées aux seuls matériaux corrélés, une description plus globale est devenue nécessaire. Ainsi, le terme matériau quantique est apparu dans la communauté scientifique. Les matériaux quantiques



Lévitiation d'un aimant placé au-dessus d'une pastille d'un cuprate supraconducteur.  
© Julien Bobroff/CNRS Images

présentent différentes phases de la matière au-delà des phases solides, liquides et gaz que l'on connaît bien. Citons par exemple la phase supraconductrice qui est caractérisée par une résistance électrique nulle et l'expulsion du champ magnétique. D'un point de vue microscopique, cette phase résulte de l'appariement de deux électrons qui vont circuler dans le matériau sans « frottement » (et donc sans échauffement du fil électrique !). L'archétype des matériaux quantiques sont les cuprates supraconducteurs, une superposition de plans d'oxydes de cuivre avec des couches isolantes jouant le rôle de donneurs de charges. Ils détiennent le record de la température de transition supraconductrice à pression ambiante.

### Synthétiser de nouveaux matériaux

Bien que le mécanisme à l'origine de cette supraconductivité non conventionnelle ne soit pas encore élucidé, on suspecte que ce sont les très fortes corrélations électroniques qui en sont à l'origine. Une autre classe de matériaux quantiques sont les liquides de spin. En effet, même si les électrons sont localisés (dans un matériau isolant par exemple), chaque électron possède un moment magnétique propre (appelé spin, qu'on peut visualiser comme une petite boussole) et tous ces spins peuvent s'aligner : on parle alors de magnétisme. Il existe plusieurs sortes d'alignement possibles, donc de phases magnétiques différentes. Mais ce qui est aussi possible, bien que plus rare dans la nature, c'est que les spins ne s'alignent pas, même à très basse température. En l'absence d'ordre, on parle alors de liquide de spin, par analogie

avec un liquide (comme l'eau) qui n'a pas d'ordre contrairement à un solide. Plus récemment sont apparus les matériaux dit « topologiques » qui ne présentent pas de fortes interactions électroniques mais dont la nature robuste des états de surface métalliques suscite l'excitation... des physicien-nes. En outre, le progrès technique en synthèse d'échantillons permet aujourd'hui de réaliser des empilements à l'échelle atomique de matériaux différents et de faire ainsi apparaître de nouveaux phénomènes émergents. Pour découvrir de nouveaux matériaux quantiques, des chimistes, physicien-nes expérimentateur-trices et théoricien-nes travaillent ensemble pour synthétiser de nouveaux matériaux, les étudier et les caractériser pour

découvrir de nouveaux états de la matière, puis en comprendre l'origine microscopique. Les découvertes sont aussi le fruit du hasard ou de la surprise, comme ce fut le cas pour les cuprates supraconducteurs. C'est ainsi que progresse la recherche scientifique ! Les matériaux quantiques présentent non seulement un grand intérêt scientifique mais permettent également de développer des technologies innovantes dans les domaines de l'énergie, de la sécurité, de l'électronique et de la médecine...

Echantillon supraconducteur de NbSe<sub>2</sub> (Niobium, Sélénium).  
© Marie-Aude MEASSON/CNRS Images

