



energie atomique • énergies alternatives



Coup de projecteur sur les supraconducteurs

une journée de visite dans les laboratoires du campus Paris-Saclay

Visite de Presse – jeudi 10 mars 2011



CONTACTS PRESSE :

Presse CEA | **Coline Verneau** | 01 64 50 14 88 | coline.verneau@cea.fr

Marie Vandermersch | 01 64 50 17 16 | marie.vandermersch@cea.fr

Presse CNRS | **Claire Le Poulennec** | T 01 44 96 49 88 | claire.le-poulennec@cnrs-dir.fr

Presse Université Paris-Sud 11 | **Cécile Pérol** | 01 69 15 41 99 | cecile.perol@u-psud.fr

Introduction

Il y a 100 ans, le 8 avril 1911, le physicien Heike Kammerlingh-Onnes mettait en évidence le phénomène de supraconductivité qui confère à certains matériaux des propriétés inédites : refroidis à très basse température, les matériaux supraconducteurs deviennent de parfaits conducteurs électriques et expulsent le champ magnétique qui les traverse, pouvant ainsi induire des effets spectaculaires de lévitation. La supraconductivité est un des rares exemples où la physique quantique s'applique à grande échelle. Repoussant les limites de la physique théorique, elle a ouvert la voie à un vaste champ de recherche, qui met en jeu la physique des solides et s'étend même bien au delà, de la nanophysique aux gaz atomiques ultra-froids.

La compréhension et la maîtrise de ses principes ont débouché sur de nombreuses applications. L'IRM, qui a révolutionné le diagnostic médical et la compréhension du cerveau, repose sur la maîtrise de ce phénomène ; les transports, les télécommunications, l'électronique, l'informatique, la géophysique, ou encore l'archéologie peuvent également exploiter ses propriétés. En outre, sans supraconducteurs, les très grands instruments de recherche tels que le LHC aujourd'hui ou l'ITER demain ne pourraient voir le jour.

Aujourd'hui, la plupart des applications de la supraconductivité supposent de descendre à des températures proches du zéro absolu. La découverte, depuis les années 1980, des supraconducteurs à haute température critique (haut-T_c), qui nécessitent un moindre refroidissement, change la donne et ouvre de nouveaux champs d'applications. Certaines de ces applications commencent d'ailleurs à sortir des laboratoires. Comprendre les propriétés et les mécanismes de fonctionnement de ces matériaux qui déjouent toute attente est un enjeu majeur des recherches actuelles. Et si la supraconductivité à température ambiante reste pour l'instant un rêve de chercheur, les supraconducteurs n'ont pas fini de bousculer la physique théorique.

Qu'est-ce que la supraconductivité ?

À l'état supraconducteur, un matériau refroidi à très basse température acquiert la capacité de conduire parfaitement un courant électrique, sans **résistance**, et donc sans perte d'énergie. De même, à l'état supraconducteur, les matériaux possèdent la propriété d'expulser totalement le champ magnétique qui les entoure, ce qui peut être caractérisé par des effets de lévitation magnétique.

Traduit par des propriétés électriques, magnétiques et quantiques spécifiques, le phénomène de supraconductivité apparaît lorsque l'on refroidit certains métaux ou alliages à très basses températures, proches du zéro absolu, soit -273°C. Appelée **température critique** (T_c), cette température à laquelle le matériau devient supraconducteur varie en fonction de la composition chimique. Pour la plupart des matériaux, dits supraconducteurs conventionnels, elle se situe entre 1 et 33 Kelvin (soit entre -272 et -240°C), ce qui nécessite un refroidissement à l'hélium liquide. Depuis 1986, des oxydes de cuivres ou cuprates, appelés **supraconducteurs à haute température critique (haut-T_c)**, peuvent être refroidis à l'azote liquide (à 77 K soit -196°C). Ce sont les cuprates de mercure qui détiennent actuellement le record de température critique : 135 K (-138°C). En 2008, des scientifiques ont réussi à synthétiser une nouvelle famille de supraconducteurs à haute température critique : les pnictures (T_c = 55K, soit -218°C). Possédant des propriétés différentes des cuprates, ces matériaux suscitent également beaucoup d'intérêt depuis leur découverte.

Quelle est l'origine de la supraconductivité ?

La supraconductivité est un phénomène quantique collectif. Dans les matériaux supraconducteurs classiques, les électrons se regroupent par paires (dites paires de Cooper), en utilisant les atomes présents autour d'eux, et forment ainsi une **vague collective**. L'onde ou vague électronique qu'ils créent se propage sans subir de collision dans la matière, et permet la conduite du courant sans perte d'énergie. Ce phénomène ne peut se produire qu'à basse température lorsque les atomes du matériau ne vibrent pas trop (sinon les électrons rebondiraient dans tous les sens). Les physiciens apparentent ce phénomène à la **superfluidité**, un état pour lequel un fluide s'écoule sans viscosité.



Effet de lévitation magnétique dans un matériau supraconducteur à haute température critique.
©J.Bobroff LPS/CNRS

L'étude de la vague collective des électrons, dans l'état supraconducteur, permet de mieux appréhender les propriétés des matériaux supraconducteurs. Si les mécanismes à l'origine de la supraconductivité dans la majorité des matériaux, dits supraconducteurs conventionnels, sont élucidés depuis longtemps et bien compris, ce n'est pas le cas des supraconducteurs à haute température critique (cuprates et pnictures). Il s'agit d'un des principaux sujets de recherche actifs dans le domaine de la supraconductivité qui oblige les physiciens à inventer différentes façons de mesurer les propriétés de ces matériaux et des concepts innovants pour les décrire. En synthétisant de nouveaux échantillons supraconducteurs et en analysant de près leurs propriétés, les chercheurs espèrent percer les derniers mystères de la supraconductivité afin d'arriver à l'obtention du même phénomène à plus haute température.

Les grandes dates de la supraconductivité :

1911 : Heike Kammerlingh-Onnes découvre que certains métaux refroidis à très basse température conduisent parfaitement le courant, sans résistance : le concept de supraconductivité est né.

1933 : Walter Meissner et Robert Ochsenfeld découvrent que les supraconducteurs ont la propriété d'expulser le champ magnétique environnant. Cette propriété a été appelée « effet Meissner ».

1957 : John Bardeen, Leon N. Cooper et John R. Schrieffer développent la théorie BCS qui permet de comprendre la supraconductivité dans les métaux et les alliages.

1957 : Alexei A. Abrikosov émet l'hypothèse de l'existence de vortex magnétiques dans certains supraconducteurs.

1962 : Brian David Josephson prédit l'effet Josephson : lorsque deux matériaux supraconducteurs sont proches l'un de l'autre, sans toutefois être en contact, le passage de paires d'électrons de l'un à l'autre par effet tunnel conduit à l'établissement d'un courant électrique.

1986 : Johannes Georg Bednorz et Karl Alexander Müller découvrent de nouveaux supraconducteurs à « haute température critique » (haut T_c), les cuprates.

2008 : Une équipe internationale de chercheurs découvre une nouvelle famille de matériaux supraconducteurs à haute température critique, les pnictures (à base de fer).

Quelques utilisations des supraconducteurs

La compréhension et la maîtrise de la supraconductivité ont permis de développer de nombreuses applications, certaines sont déjà couramment utilisées, d'autres très prometteuses en cours de développement. Ces utilisations de la supraconductivité interviennent dans des domaines aussi variés que l'énergie, l'imagerie médicale, les télécommunications, l'électronique, l'informatique, la géophysique, et même l'archéologie.

Les supraconducteurs pour conduire et manipuler l'électricité :

- élaboration de champs magnétiques élevés (pour les IRM, la RMN, ...),
- fabrication de câbles électriques,
- utilisation dans le stockage d'énergie (les SMES),
- production de limiteurs de courant (dans les centrales électriques),
- création de moteurs plus compacts.

Les supraconducteurs pour léviter et transporter

Le train supraconducteur de type maglev (les plus rapides au monde)

Les supraconducteurs pour détecter le magnétisme

Les SQUIDs : pour mesurer le magnétisme pour les physiciens, pour mesurer les champs magnétiques pour les géologues, pour des applications aussi en archéologie, pour les MEG (voir ci après)

Les supraconducteurs pour aider à soigner

Les bobines pour les IRM

L'imagerie SQUID pour la Magnétoencéphalographie

Les supraconducteurs pour l'électronique : les télécommunications et les ordinateurs de demain

Les filtres en électronique pour les stations-relais de téléphonie portable

Les nouveaux composants en électronique

Les ordinateurs quantiques

Les supraconducteurs pour la physique de l'infiniment grand et l'infiniment petit :

- conception d'accélérateurs de particules : cavités et bobines,
- détection de particules dans l'espace et de matière noire : bolomètres et détecteurs.