

LA SUPRACONDUCTIVITE ^{1,2}

La supraconductivité est la propriété que possèdent certains matériaux de conduire le courant électrique sans résistance à condition que leur température soit inférieure à une certaine valeur appelée température critique (T_c). Ils s'opposent également à tout champ magnétique externe.

Ce phénomène est aujourd'hui un enjeu international de première importance. De nombreux laboratoires sont en compétition à travers le monde pour découvrir des matériaux supraconducteurs à température ambiante. Depuis 10 ans, le phénomène n'est plus confiné aux températures très basses et l'on manque d'une théorie expliquant ces nouvelles performances.

Tout commença en 1911 par une découverte fortuite. Gilles HOLST, un élève du laboratoire du physicien Hollandais Kamerlingh ONNES, travaillant sur l'étude de la résistivité du mercure à la température de liquéfaction de l'hélium, découvrit qu'elle s'annulait en dessous de 4,15 K.

Ce même laboratoire accumulait les succès : trois années auparavant, on y avait réussi la première liquéfaction de l'hélium, atteignant alors la plus basse des températures connues : 4,2 K, c.-à-d. $-269\text{ }^\circ\text{C}$.

On étudia tous les corps simples, et notamment les métaux qui se présentaient comme les meilleurs candidats supraconducteurs. Malheureusement, on s'aperçut que tous n'étaient pas supraconducteurs ; plus étonnant encore, les meilleurs métaux (cuivre, or, argent) ne présentaient aucune trace de supraconductivité !

Rapidement, une liste des éléments susceptibles d'être supraconducteurs fut établie.

Le niobium possédant la plus haute température critique ($T_c = 9,2\text{ K}$), on chercha à obtenir des alliages à base de niobium.

Aussi, parmi les composants "classiques" aux plus hautes températures, on trouve souvent des alliages contenant cet élément. Le nitrure de niobium (NbN) avec 17,3 K et le composé intermétallique Nb₃Ge avec 23,3 K (il détient le record jusqu'en 1986) en sont de très bons exemples.

En avril 1986, le record était battu. En effet, deux chercheurs d'IBM à Zurich, Johannes BEDNORZ et Alex MÜLLER, finirent par découvrir un nouveau composé à base de baryum, lanthane, cuivre et oxygène (que l'on notera Ba-La-Cu-O), un oxyde, qui devenait supraconducteur en dessous de 34 K !

Mais ce n'était qu'un début : 9 mois après, un composé à base de Y-Ba-Cu-O avec 92 K, puis en 1988 un autre à base de Tl-Sr-Ca-Cu-O avec

quelque 125 K furent découverts. Le monde scientifique exultait ! La barrière de la température de liquéfaction de l'azote (77 K, $-196\text{ }^\circ\text{C}$) était largement dépassée.

Une nouvelle vague de recherche frénétique s'empara du monde scientifique. Tous les espoirs de voir un supraconducteur à température ambiante se réveillaient : les oxydes supraconducteurs se révélaient de très bons candidats avec de hautes températures critiques.

Mais de nouveaux problèmes se présentaient. Dans la forme céramique la plus facile à préparer, ces oxydes supraconducteurs à "haute" température voyaient leurs capacités supraconductrices bridées par un courant critique I_c décevant. Le gain en température ne se traduisait pas vraiment par un gain en performances...

Aujourd'hui, la "course aux températures critiques" s'essouffle quelque peu au profit d'un souci de compréhension des phénomènes physiques au niveau atomique.

Le record de température critique atteint aujourd'hui 164 K ($-109\text{ }^\circ\text{C}$) avec des composés au mercure sous hautes pressions ; un facteur 7 a été gagné en 10 ans et on ne désespère pas d'obtenir des supraconducteurs à la température ambiante.

Le diamagnétisme d'un supraconducteur peut être mis en évidence par une expérience spectaculaire.



Si un petit aimant est placé au-dessus d'un supraconducteur, on observe qu'il est en « *lévitation* » au-dessus du supraconducteur. L'intense diamagnétisme du supraconducteur repousse l'aimant, lui permettant ainsi de rester en suspension dans l'air.

¹ par Rudi CLOOTS, Laboratoire de Chimie Inorganique Structurale, Univ. de Liège

Mais qu'est-ce qui fait l'intérêt des supraconducteurs ?

Les conducteurs classiques, le cuivre par exemple, couramment utilisés aujourd'hui remplissent parfaitement leurs fonctions. Mais ils s'échauffent (pertes par effet Joule), et ce phénomène de pertes est incontournable.

Cet échauffement peut même dans certains cas causer la perte pure et simple du conducteur, c'est le « fusible ». De plus, les circuits magnétiques classiques ont deux principales limitations : l'induction magnétique créée est limitée (2 teslas), et leurs poids et encombrements sont plutôt contraignants.

Une autre grandeur importante se trouve aussi limitée dans les machines électriques classiques : le couple, lequel est directement lié à la densité linéique de courant. Or cette dernière se trouve fortement limitée par les pertes par effet Joule. On voit tout de suite l'intérêt des machines supraconductrices et les enjeux qu'elles représentent.

Bien que l'industrie électrique ne soit pas prête à adopter cette nouvelle technologie des supraconducteurs qui constitue pour elle un grand changement, il existe déjà plusieurs applications de la supraconductivité.

La supraconductivité se retrouve dans plusieurs domaines, entre autres dans de nombreux domaines de recherche, en **fusion nucléaire** par exemple, en **imagerie médicale par résonance magnétique**, dans le **stockage d'énergie électrique** (les anneaux de stockage), dans les **transports** (trains à lévitation magnétique mais aussi propulsion magnétohydrodynamique).

Ces applications constituent des applications à grande échelle, car on entre dans le domaine industriel, avec toutes les conséquences économiques que cela implique.

La supraconductivité a encore de beaux jours devant-elle, tant l'intérêt des chercheurs pour ce type de matériau ne cesse de croître. Aucune théorie satisfaisante n'existe à l'heure actuelle et les matériaux céramiques nous réservent encore de nombreuses surprises.

Ainsi la découverte récente de propriétés supraconductrices dans un matériau de formulation simple, MgB_2 , dont les caractéristiques physiques et chimiques constituent un nouveau défi dans la compréhension de ce phénomène très étrange mais combien envoûtant, relance l'intérêt des chercheurs et des industriels.

Ils permettent à des laboratoires comme celui du LCIS de l'U.Lg. de poursuivre cette folle aventure d'une recherche de haut niveau sur un sujet ô combien passionnant.