

La longue quête de la supraconductivité à température ambiante

Emmanuel Grenier

Les scientifiques sont depuis longtemps partis à la recherche d'un objet mythique : le supraconducteur à température ambiante.

Deux équipes françaises viennent de faire un nouveau pas de géant dans cette direction (voir l'entretien avec Michel Laguës page 31). Cet article résume le chemin déjà parcouru.

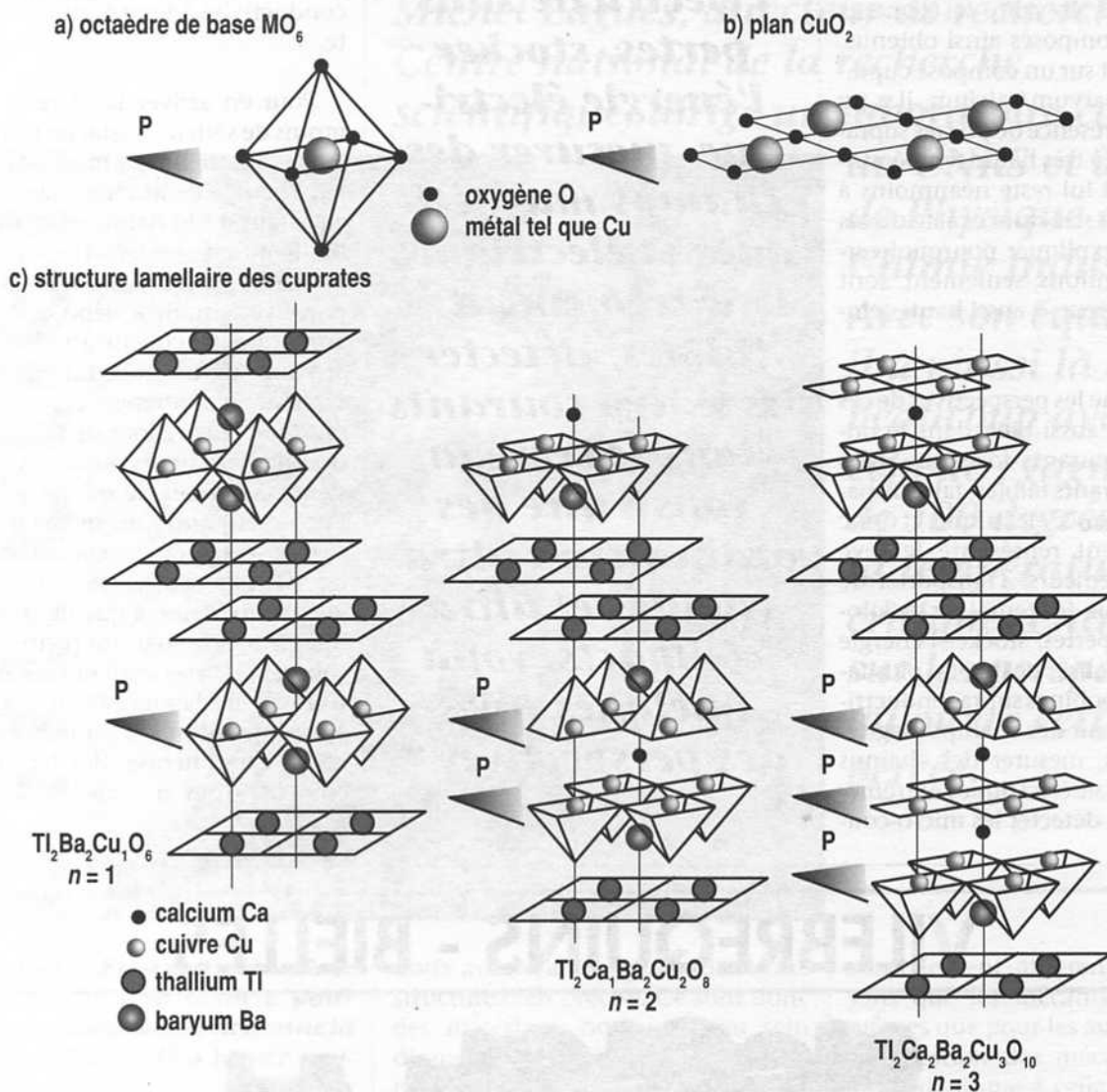
La supraconductivité est un phénomène bien connu depuis le début du XX^{ème} siècle. En 1911, le physicien néerlandais Kammerlingh Onnes prouva que la résistance électrique pouvait s'annuler complètement à des températures proches du zéro absolu ($-273,16^{\circ}\text{C} = 0\text{K}$). En dessous d'une température dite critique (ou température de transition) la résistance électrique des matériaux supraconducteurs décroît très rapidement pour atteindre une valeur quasiment nulle. Au cours des soixante-quinze années qui se sont écoulées entre 1911 et 1986, la valeur de cette température critique a évolué lentement, de 4 à 23,3K. Cette dernière valeur, obtenue avec un alliage de niobium et de germanium, était proche de la limite théorique prévue par la théorie BCS (Bardeen, Cooper, Schieffer), qui est le modèle dominant pour expliquer la supraconductivité depuis 1957. Cette valeur limite étant d'environ 30K, la supraconductivité était devenue petit à petit un champ de recherche « exotique », car ses applications semblaient extrêmement limitées (pour maintenir une température aussi basse, il faut utiliser de l'hélium liquide, dont la production coûte très cher).

Ce fut donc un coup de tonnerre dans le monde de la physique lorsque deux scientifiques du Centre de recherches IBM de Zürich, Alex Müller et Georg Bednorz, annoncent qu'ils ont mesuré une Température critique de 35K dans un oxyde de cuivre, de lanthane et de baryum. Dans tou-

te la communauté scientifique, des groupes de chercheurs s'activent fébrilement. Le Nobel de physique est remis dès 1987 aux deux chercheurs qui ont cassé la barrière théorique (et psychologique) des 30K. A partir de cette date, les choses vont évoluer très rapidement : la barrière de la température de l'azote liquide (77K), cruciale en ce qui concerne les applications, puisqu'il s'agit d'un domaine de température beaucoup moins onéreux à atteindre, est vite dépassée. Aussitôt établis, les records tombent : 93K en 1987, et jusqu'à 127K en 1988. Puis, c'est la pause, jusqu'à ce qu'au début de l'année 1993, des équipes françaises, puis américaines annoncent être parvenues à des températures critiques de 133K avec des composés au mercure. En soumettant ces composés à une très forte pression, on parvenait même à atteindre les 159K.

Le travail réalisé par l'équipe de Michel Laguës (directeur de recherches au Centre National de la recherche scientifique, dirige un laboratoire qui se trouve à l'Ecole de Physique et de Chimie Industrielle, dont le directeur est Pierre-Gilles de Gennes, prix Nobel 1991 de Physique, représente un nouveau pas de géant dans cette quête des hautes températures puisque l'on a gagné presque 100 degrés d'un seul coup ! Dans un composé de la famille bismuth/strontium/calcium/oxyde de cuivre, on a observé une résistance électrique nulle à la température de 250K, soit -23°C , une valeur que l'on peut très facilement

La structure des matériaux supraconducteurs



Pour simplifier, les oxygènes ne sont pas représentés dans les structures lamellaires

Le motif élémentaire des supraconducteurs est un octaèdre où le cuivre se trouve au milieu de six oxygènes (a). Assemblés, ces octaèdres forment des plans contenant leur équateur et les atomes de cuivre. Ce sont les fameux plans cuprates CuO_2 qui contiennent les électrons capables de se déplacer sans résistance. La clef de la supraconductivité se trouve là, dans l'empilement de ces plans cuprates. L'équipe de Michel Laguès a réussi à en empiler huit, alternés avec des plans de strontium. (Figure d'après *Encyclopædia Universalis*).

atteindre avec un congélateur domestique. Plutôt que d'opérer par chauffage des différents composants réduits en poudre et par refroidissement contrôlé, méthode « classique » utilisée par Müller, Bednorz et leurs successeurs, Laguès a mis en œuvre une technique bien connue dans la micro-électronique, celle de l'épitaxie. Il s'agit, dans des conditions extrêmes de vide et de froid, de dispo-

ser sur un substrat des couches successives, de l'épaisseur d'un atome, d'oxydes de cuivre et de strontium. Cette méthode permet d'obtenir un empilement en mille-feuilles de plans d'oxyde de cuivre et de strontium. La fonction principale de ce dernier étant d'imposer aux plans d'oxyde de cuivre une structure cristalline et une charge électrique permettant de les rendre supraconducteurs.

Peu de temps après, deux autres équipes françaises, cette fois-ci de Grenoble, annonçaient avoir obtenu une température de $-3^{\circ}C$! Ces chercheurs travaillaient depuis quelques années sur les composés au mercure et ce sont eux qui avaient montré l'année dernière, en collaboration avec des scientifiques de l'Université de Moscou, que certains d'entre eux se révélaient supraconducteurs à

159K. Jean-Louis Tholence, du Centre de recherche sur les très basses températures (une unité du CNRS), procède de façon plus classique que Michel Laguës : il « cuit » ses éléments et teste les composés ainsi obtenus. En travaillant sur un composé cuprate mercure/baryum/calcium, il a pu observer la présence de phases supraconductrices à très haute température critique. Il lui reste néanmoins à déterminer la structure exacte de ces phases et à expliquer pourquoi certains échantillons seulement sont supraconducteurs à aussi haute température.

On imagine les perspectives de ces révolutions : aussi bien dans le domaine des courants forts que dans celui des courants faibles, faire disparaître la résistance électrique, et donc l'échauffement représente le rêve pour les ingénieurs. Transporter de l'électricité sur des centaines de kilomètres sans pertes, stocker l'énergie électrique, réaliser beaucoup plus facilement les bobines supraconductrices pour obtenir des champs magnétiques élevés, mesurer des champs magnétiques et électriques extrêmement faibles, détecter les micro-cou-

“ Transporter de l'électricité sans pertes, stocker l'énergie électrique, mesurer des champs magnétiques et électriques extrêmement faibles, détecter les micro-courants dans le cerveau, construire des ordinateurs ultra-rapides et ultra-compacts, voilà quelques unes des perspectives ”

rants dans le cerveau, construire des ordinateurs ultra-rapides et ultra-compacts, voilà quelques unes des perspectives ouvertes par la supraconductivité à température ambiante.

Pour en arriver là, il reste néanmoins de sérieux obstacles technologiques à franchir. Le matériau réalisé par l'équipe de Michel Laguës a une épaisseur de 30 nanomètres (30 milliardièmes de mètre). Il a été réalisé par une technique extrêmement complexe consistant à déposer, couche atomique par couche atomique, des atomes sur un substrat, dans une séquence parfaitement contrôlée. On est donc encore loin de la construction d'alternateurs ou de fils de plusieurs centaines de mètres de long. Encore aujourd'hui, même avec les composés cuprates « classiques », on ne sait pas réaliser des fils de longueur supérieure à quelques mètres. Mais la technologie est pleine de ressources : le laser était encore un instrument de laboratoire il y a vingt ans. Aujourd'hui, il est partout dans la vie quotidienne, des lecteurs de compact-discs aux caisses de supermarché. ■

VILEBREQUINS - BIELLES



pour moteur essence, diesel
pour automobiles, poids lourds, divers
pour compresseurs : air, froid industriel, freinage, divers
pour pompes : gaz, liquide, pour machines-outils et divers

chambon sa

81 RUE DE LA TOUR 42000 ST ETIENNE TEL. 77 93 69 82 FAX 77 74 33 58
ADRESSE POSTALE B.P. 640 - 42042 ST ETIENNE CEDEX 1