

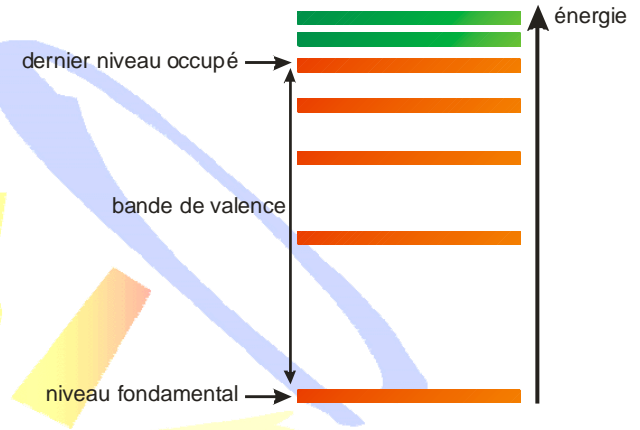
# Supraconducteurs : la théorie

## Rappels sur les conducteurs standard :

Les conducteurs sont en général des solides cristallins.

Les atomes du cristal sont bien entendu constitués d'un noyau et d'électrons. Mais dans un conducteur, les électrons ne sont pas localisés autour de leur noyau : ils sont en fait à peu près libres de circuler dans tout le cristal. Ce sont ces « électrons de conduction », ou « électrons libres », qui sont responsables de la bonne conduction d'un conducteur.

La mécanique quantique nous dit que les électrons autour d'un noyau sont distribués selon des niveaux d'énergie. Elle nous dit aussi que les électrons sont des fermions (spin  $\pm\frac{1}{2}$ ), et qu'ils obéissent donc au principe d'exclusion de Pauli : deux électrons de même spin ne peuvent pas occuper le même état. Donc un état est occupé au maximum par 2 électrons, et dès qu'un atome possède plus de deux électrons, ces derniers se répartissent sur plusieurs niveaux d'énergie. La gamme d'énergie s'étendant entre le niveau fondamental et le dernier niveau occupé est appelé la bande de valence.



Il existe une autre bande d'énergie importante : c'est la bande de conduction, celle dans laquelle on trouve les niveaux d'énergie des électrons libres. Dans un conducteur, les deux bandes se chevauchent, il y a des électrons qui ont suffisamment d'énergie pour être libres, et le matériau est conducteur.

Dans un conducteur standard, les électrons rencontrent des tas d'obstacles. Les collisions engendrent des petites variations d'énergie qui les « ralentissent » : c'est la résistivité.

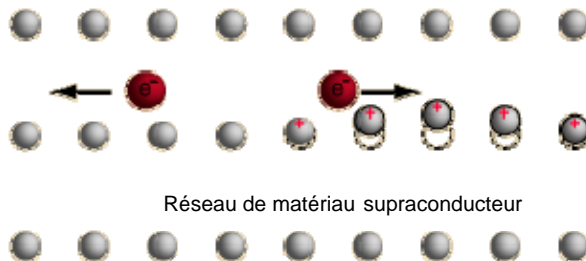
## Les paires de Cooper

Considérons maintenant un électron voyageant dans le réseau cristallin. Les noyaux (positifs) à proximité desquels il passe sont attirés par sa charge négative. Beaucoup plus lourds que les électrons, ils se déplacent cependant légèrement au passage de l'électron :



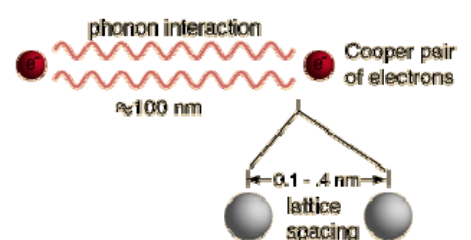
Réseau de matériau supraconducteur

Un autre électron arrivant en sens opposé va subir l'influence de ce déplacement de charges positives :



Réseau de matériau supraconducteur

Cela conduit à un couplage entre les deux électrons, couplage qui subsiste sur une très longue distance (plus de 1000 fois la maille cristalline). Cela peut sembler très étrange, mais ça a été vérifié expérimentalement. Le couplage est appelé une interaction phonon. Le nouvel objet quantique formé de ces deux électrons est appelé une paire de Cooper.

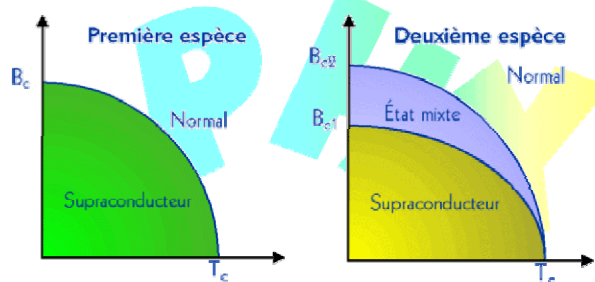


## Théorie BCS de la supraconductivité

Les deux électrons couplés ne se comportent plus du tout de la même façon qu'un électron isolé. Ils forment un boson de spin entier, et ne répondent donc plus au principe d'exclusion de Pauli (qui ne s'applique qu'aux fermions). Ils ne sont donc plus obligés de se répartir sur des niveaux d'énergie différents, mais peuvent au contraire s'agglutiner sur le même niveau d'énergie. D'ailleurs, si l'énergie du matériau (sa température) est suffisamment basse, toutes les paires de Cooper seront dans le niveau fondamental : c'est ce qu'on appelle la condensation de Bose-Einstein.

D'une façon générale, les paires de Cooper ont une énergie plus faible que les électrons individuels, et il se crée une bande interdite juste au dessus de l'énergie des paires. L'énergie des paires ne peut donc plus varier, et les interactions de collision qui mènent à la résistivité ordinaire sont supprimées : la résistance du matériau s'annule.

Cette théorie BCS – du nom de ses inventeurs, John Bardeen, Leon Cooper, et Robert Schrieffer – permet d'expliquer la supraconductivité dans les supraconducteurs de type I, c'est à dire passant directement du stade conducteur au stade supraconducteur. Les supraconducteurs à haute température



sont presque tous des supraconducteurs de type II, avec une zone intermédiaire où le matériau n'est ni totalement supraconducteur, ni totalement normal. La théorie BCS n'est pas suffisante pour expliquer la supraconductivité de ces matériaux. D'autres théories ont été élaborées, mais aucune ne donne pour l'instant entière satisfaction. Le sujet reste ouvert...

FOLIES