

## **Comment la supraconductivité à deux-dimensions disparaît-elle sous champ magnétique à température nulle ?**

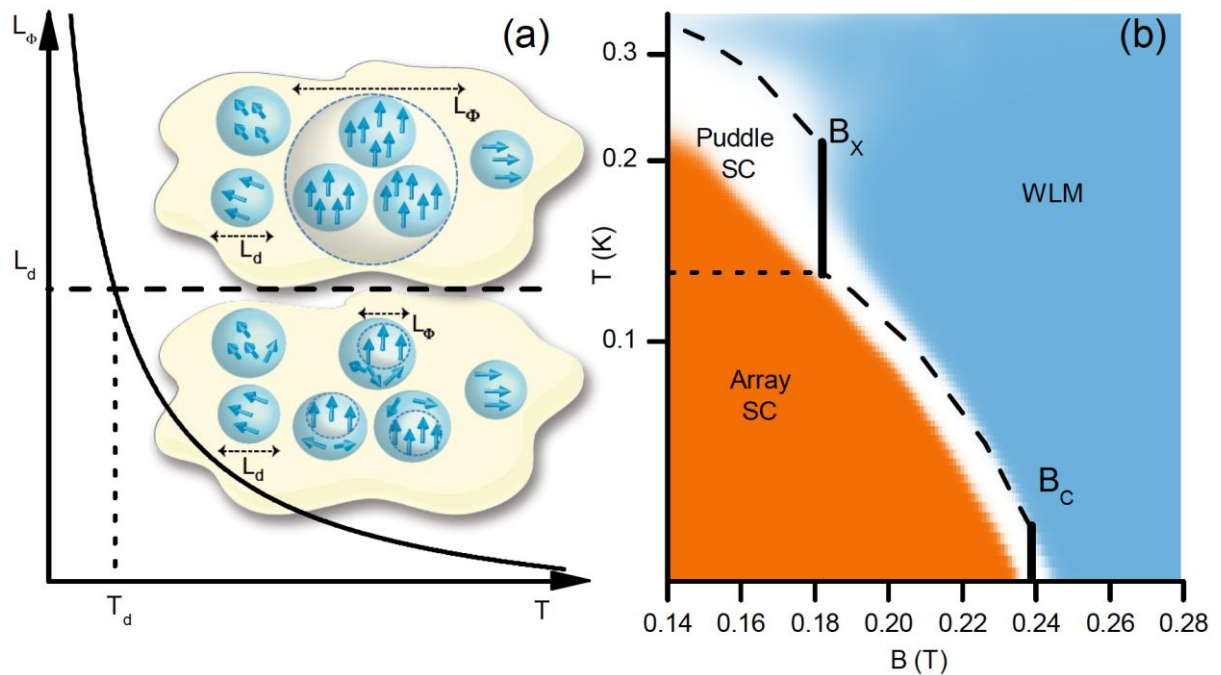
Des physiciens ont étudié un gaz bidimensionnel d'électrons supraconducteur à très basse température. L'application d'un champ magnétique perpendiculaire détruit la supraconductivité selon un scénario où le rôle du désordre mésoscopique est prépondérant.

La température contrôle les transitions de phases classiques, comme le passage de l'état liquide à l'état gazeux, qui est obtenu en chauffant la matière. Il existe cependant des transitions de phases à température nulle, dites quantiques, contrôlées par un paramètre extérieur comme un champ électrique ou magnétique. Selon les propriétés fondamentales des systèmes concernés, comme les symétries ou la dimensionnalité par exemple, on peut les décrire par différentes "classes d'universalité" très générales, indépendantes des détails microscopiques.

L'une des transitions quantiques les plus étudiées concerne la transition d'un état supraconducteur vers un état métallique ou isolant en fonction d'un champ magnétique externe appliqué. A ce jour pourtant, de nombreuses questions restent ouvertes sur les mécanismes qui conduisent à la disparition de la supraconductivité, et sur le type de transition quantique qui est à l'œuvre.

Des chercheurs du LPEM (ESPCI ParisTech/CNRS/UPMC) ont étudié la transition de phase quantique sous champ magnétique d'un supraconducteur qu'ils ont récemment découvert. Il s'agit d'un gaz bidimensionnel d'électrons qui se forme à l'interface d'oxydes isolants, comme par exemple  $\text{LaTiO}_3/\text{SrTiO}_3$ . En appliquant une tension de grille, on peut moduler la densité d'électrons dans le gaz et modifier les propriétés supraconductrices. En combinant ce nouveau paramètre de contrôle et l'application d'un champ magnétique perpendiculaire, les chercheurs ont pu établir un diagramme de phase original, et explorer la transition quantique. Ils ont montré que les fluctuations de la phase supraconductrice à 2D contrôlent la transition, selon un modèle XY comme on l'attend théoriquement. De plus, ils ont établi que le système se comporte comme un réseau désordonné d'îlots supraconducteurs couplés par des zones non supraconductrices. En faisant varier les paramètres de contrôle et la température, ils ont mis pour la première fois en évidence que les fluctuations à haute température explorent la supraconductivité des îlots, alors que les fluctuations de basse température sondent le réseau, conformément aux prédictions théoriques, et en particulier au très général critère de Harris qui décrit le rôle du désordre dans les transitions de phase. L'ensemble des observations expérimentales est très bien décrit par un modèle développé récemment.

Ce comportement "multi-critique" peut-être lié à la nature inhomogène des échantillons, mais il n'est pas exclu - et de nombreux travaux théoriques vont dans ce sens - qu'il soit intrinsèque aux systèmes proches de la transition supraconducteur-métal (ou isolant). Cette découverte éclaire d'un nouveau jour les résultats antérieurs contradictoires qui faisaient l'hypothèse que les systèmes étaient homogènes. Elle permet de comprendre également que le scénario de la disparition de la supraconductivité est plus complexe qu'il n'y paraît à première vue. Entre le scénario "fermionique", où les paires de Cooper du supraconducteur sont détruites à l'approche de la transition, et le scénario "bosonique", où elles persistent mais sont localisées, une nouvelle possibilité se profile. Les fluctuations de phase (caractère bosonique) contrôlent bien la transition à 2D, mais la présence inévitable à l'approche de la transition de zones non supraconductrices lui confère également un caractère fermionique.



**Figure :** (A gauche) : La longueur de phase  $L_\Phi$  associée à la transition supraconducteur-métal diverge à basse température. A haute température, elle est plus petite que la longueur typique des îlots supraconducteurs  $L_d$ , et les fluctuations supraconductrices sondent essentiellement la physique à cette échelle. A plus basse température,  $L_\Phi > L_d$ , et les fluctuations explorent le réseau désordonné d'îlots. (A Droite) : Ces deux comportements sont mis en évidence par l'apparition de deux champs magnétiques caractéristiques :  $B_x$  pour les îlots et  $B_c$  pour le réseau, que l'on peut observer dans le diagramme de phase.

### En savoir plus :

Multiple quantum criticality in a two-dimensional superconductor.

J. Biscaras, N. Bergeal, S. Hurand, C. Feuillet-Palma, A. Rastogi, R. C. Budhani, M. Grilli, S. Caprara and J. Lesueur

Nature Materials (avril 2013)

### Contact chercheur :

Jérôme Lesueur, professeur ESPCI

### Informations complémentaires :

Laboratoire de Physique et d'Etude des Matériaux,  
UMR 8213 ESPCI ParisTech - CNRS - UPMC