

## LE MOT DE LA DIRECTION

**E**lle s'est fait un peu attendre, mais la voilà : la deuxième Newsletter d'EMIR&A vous informe des actualités du réseau et de quelques faits scientifiques marquants de cette rentrée. Merci aux auteurs pour leur contribution !

L'évènement de cette fin d'année, c'est l'EMIRUM 2023. Il se tiendra les 14 et 15 décembre 2023 au CIMAP-GANIL à Caen. D'avance, merci à toute l'équipe du CIMAP pour leur accueil ! EMIRUM est traditionnellement organisé tous les deux ans pour donner aux utilisateurs d'EMIR&A l'occasion de présenter leurs résultats, d'échanger de manière informelle et de préparer de futures collaborations. C'est un événement convivial qui rassemble la communauté scientifique des faisceaux d'ions et d'électrons. Après l'édition 2021 organisée par le LSI, ne manquez pas l'édition 2023 qui permettra de nous retrouver en face à face. Les plateformes présenteront leur actualité sous forme d'une session flash, il y aura bien sûr des sessions pour les utilisateurs, d'autres plus techniques, une session poster et la visite du GANIL. Nous souhaiterions décerner un prix à la meilleure présentation orale d'un jeune chercheur. Nous comptons sur vous pour à diffuser l'information !

En mai 2023, le COPIEL d'EMIR&A nous a encouragés à jouer un rôle majeur dans la structuration et l'animation scientifique de la communauté française qui utilise les accélérateurs d'ions et d'électrons pour l'irradiation et l'analyse des matériaux et molécules. Ainsi, dans l'année qui vient, il est important lors de conférences par exemple, de mieux faire connaître EMIR&A et d'inciter de nouvelles équipes à proposer des projets auprès de nos plateformes. Il est également primordial d'encourager les jeunes chercheurs. C'est pourquoi EMIR&A financera les missions d'un certain nombre de docs et post-docs pour participer à des expériences qui auront été particulièrement remarquées par le comité d'évaluation. Nous poursuivrons également notre collaboration avec le Master 2 *Grands Instruments* de l'université Paris-Saclay qui constitue un vivier de jeunes chercheurs. Si vous avez des idées, des propositions à faire dans ce sens, n'hésitez pas à nous en faire part.

Pour rappel, l'appel à projets EMIR&A 2024 est ouvert jusqu'au 23 octobre 2023.

Bonne lecture et à très vite à Caen !

## ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES

### Quand la symétrie des nouveaux supraconducteurs fait défaut

En utilisant l'irradiation électronique, une collaboration de chercheurs du LSI, de l'Université de Kyoto et de l'Université de Tokyo a réussi à apporter des éléments de compréhension sur les propriétés supraconductrices des matériaux de type kagome.

Les supraconducteurs kagome  $AV_3Sb_5$  ( $A = K, Rb, Cs$ ) sont des matériaux récemment découverts qui présentent des propriétés électroniques fascinantes. Ces matériaux se distinguent par leurs structures cristallines où des réseaux bidimensionnels « kagome » de vanadium sont intercalés avec des atomes d'alcalins ( $A$ ) et des atomes d'antimoine (Fig. 1). La structure de bande électronique de ces matériaux révèle également des caractéristiques intéressantes, notamment des bandes plates, des cônes de Dirac ou encore des singularités de van Hove (vHS). De plus, ces matériaux présentent des ordres inhabituels d'onde de densité de charge (CDW) avec une rupture de la symétrie par renversement du temps et de la symétrie par rotation.

L'une des questions cruciales qui se pose dans ces matériaux est la nature de la supraconductivité qui se développe à l'intérieur de la phase CDW. Les théories prédisent une variété de symétries supraconductrices non-conventionnelles avec des paramètres d'ordre exotiques à changement de signe ( $d$ -wave ou  $p$ -wave) et chiraux.

Cependant, sur le plan expérimental, les informations sur la véritable nature de la phase supraconductrice sont incomplètes. C'est là qu'intervient cette étude qui se penche sur l'effet de la diffusion des porteurs de charge par des défauts ponctuels dans  $CsV_3Sb_5$  en utilisant l'irradiation aux électrons comme un outil pour sonder la supraconductivité.

En effet, la diffusion par des défauts ponctuels non-magnétiques est un critère de référence pour l'étude du mécanisme de couplage non-conventionnel dans ces matériaux. Historiquement, Anderson a prédit une insen-

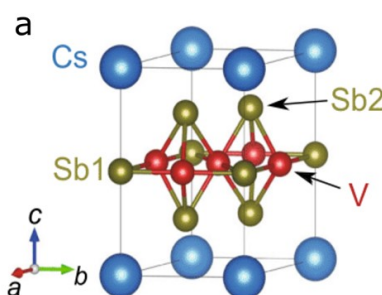
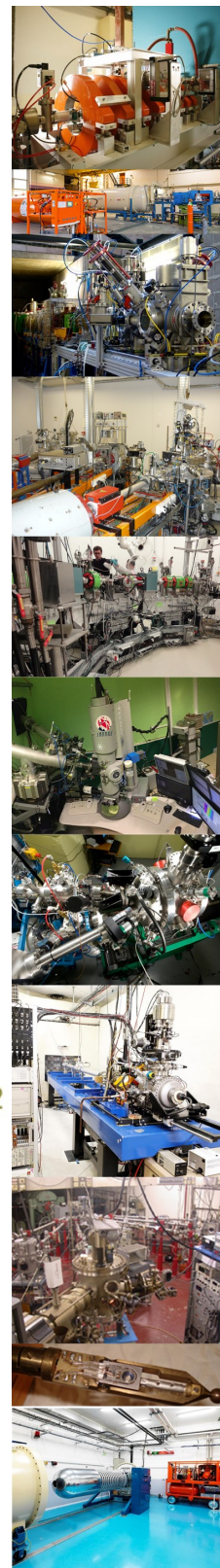


Figure 1 : structure cristalline du supraconducteur de type "Kagome"  $CsV_3Sb_5$



sibilité totale de la température critique ( $T_c$ ) et du gap supraconducteur aux centres de diffusion non-magnétiques dans les supraconducteurs à simple bande et isotropes de type *s-wave* [1]. Plus tard, Abrikosov et Gor'kov raffineront le modèle en prédisant la diminution de  $T_c$  en fonction du taux de diffusion [2]. Le protocole expérimental standard utilisé pour distinguer les mécanismes de couplage conventionnels de ceux exotiques repose ainsi sur l'étude de l'évolution de  $T_c$  avec le désordre, évalué par l'augmentation de la résistivité dans l'état normal.

Le désordre est introduit de façon contrôlée grâce à l'utilisation de l'irradiation aux électrons avec l'accélérateur SIRIUS du Laboratoire des Solides Irradiés (LSI) à l'École Polytechnique. Les électrons de haute énergie (2.5 MeV) vont entrer en collision avec les atomes du réseau cristallin du matériau étudié et créer ainsi une population uniforme de défauts ponctuels dont la concentration est contrôlée par la fluence du faisceau d'électrons. Afin de prévenir la migration et l'agglomération de ces défauts, le matériau est maintenu à une température de  $\sim 20\text{K}$  durant toute l'irradiation.

Des mesures de résistivité et de longueur de pénétration magnétique effectuées sur ces échantillons ont alors révélé des informations cruciales sur la supraconductivité dans ce matériau. L'évolution de la température critique  $T_c$  en fonction du désordre (Fig. 2) a notamment permis de mettre en évidence une supraconductivité à bandes multiples avec une symétrie *s-wave* anisotrope, sans

nœuds ou changements de signe. Les différentes mesures effectuées montrent également que l'augmentation de la quantité de défauts induit une transition d'un gap supraconducteur anisotrope à isotrope.

L'irradiation électronique a donc permis de mettre en évidence la symétrie de la phase supraconductrice dans  $\text{CsV}_3\text{Sb}_5$  et ces résultats ont des implications significatives pour notre compréhension de la supraconductivité dans les matériaux kagome  $\text{AV}_3\text{Sb}_5$ . Ils montrent que, bien que non-conventionnelle, la supraconductivité dans ces matériaux n'est pas liée à une symétrie exotique du paramètre d'ordre avec changement de signe ou chiral. Cette découverte permet ainsi d'écarter certaines des théories développées et contribue à éclaircir le mystère de la supraconductivité dans ces systèmes complexes.

[1] Anderson, *J. Phys. Chem. Solids* 11 (1959) 26  
 [2] Abrikosov and Gor'kov, *Sov. Phys. JETP*, 12 (1961) 1243

Référence : M. Roppongi, K. Ishihara, Y. Tanaka, K. Ogawa, K. Okada, S. Liu, K. Mukasa, Y. Mizukami, Y. Uwatoko, R. Grasset, M. Konczykowski, B. R. Ortiz, S. D. Wilson, K. Hashimoto, T. Shibauchi, Bulk evidence of anisotropic *s-wave* pairing with no sign change in the kagome superconductor  $\text{CsV}_3\text{Sb}_5$ , *Nature Communication* 14, 667 (2023) <https://www.nature.com/articles/s41467-023-36273-x>

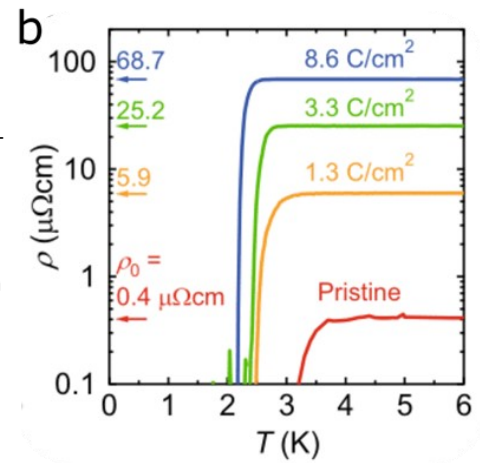


Figure 2 : transition supraconductrice dans la résistivité de  $\text{CsV}_3\text{Sb}_5$  en fonction de la température après différentes doses d'irradiation aux électrons. Alors que la résistivité résiduelle augmente avec la quantité de défauts, la température critique supraconductrice diminue.

## ACTUALITÉS DES PLATEFORMES

### MOSAIC

Les faisceaux d'ions d'Andromède, JANNuS-Orsay et SIDONIE s'unissent.

Les faisceaux d'ions de cette plateforme de recherche interdisciplinaire, née en 2023 du regroupement d'Andromède et JANNuS-SCALP, sont utilisés par de nombreuses disciplines scientifiques (science des matériaux, astrochimie, astrophysique, physique nucléaire, géologie, biologie, environnement) pour synthétiser, modifier et caractériser des matériaux, et étudier les interactions ion-matière. Les applications couvrent des domaines aussi variés que : les énergies nucléaire (fusion/fission) et solaire, la micro- et nano-électronique, les accélérateurs, les détecteurs, la production d'isotopes pour le médical, les processus de biominéralisation, la recherche de pathogènes.

La plateforme MOSAIC se compose d'équipements variés :

- Dispositifs d'irradiation et implantation ionique dans une large gamme d'énergie et de température, des protons aux nanoparticules d'or : accélérateurs 4 MV Andromède et 2 MV ARAMIS, implanteur 190 kV IRMA, séparateur d'isotopes 40 kV SIDONIE, sonde d'ions multichargés 30 kV Tancrède, futur implanteur 400 kV Némée
- Outils d'analyses structurales et physico-chimiques de surfaces et de matériaux : analyses par faisceaux d'ions RBS,

ERDA, PIXE, PIGE, MSI, et microscopes MET, MEB, AFM.

Plusieurs pôles scientifiques d'UCLab utilisent régulièrement ces équipements, situés aux bâtiments 108 et 201 du campus vallée d'Orsay.

La plateforme MOSAIC est ouverte aux académiques, aux industriels, et aux étudiants pour des travaux pratiques. Plus d'infos sur <https://mosaic.iclab.in2p3.fr>.

### ELYSE

En juillet 2023 a eu lieu le remplacement du klystron équipant ELYSE, une opération de maintenance relativement lourde pour la plateforme. Cette opération va permettre de maintenir pour plusieurs années le niveau nécessaire de puissance RF.

La source radiofréquence pulsée de l'accélérateur est fournie par cet élément clé; il permet en effet de générer l'onde électromagnétique de forte puissance (quelques MW) pour accélérer les particules. Actuellement il n'est pas possible d'utiliser un composant solide de type transistor RF car la puissance nécessaire dépasse largement le seuil de puissance maximum de ces semi-conducteurs.

Ce klystron, qui a déjà fonctionné sur l'installation, a pu être réparé par le fabricant THALES, opération nettement moins coûteuse que l'acquisition d'un klystron neuf.

## AGENDA

L'appel à propositions 2024 est ouvert jusqu'au 23 octobre 2023 23:59. Le Comité Scientifique statuera sur les demandes le 13 décembre 2023. Plus d'infos sur le site EMIR&A : <https://emira.in2p3.fr/>

Journées EMIRUM 14-15 décembre 2023. Inscriptions : <https://indico.in2p3.fr/event/30448/>

