

Loi d'Ohm dans un supraconducteur

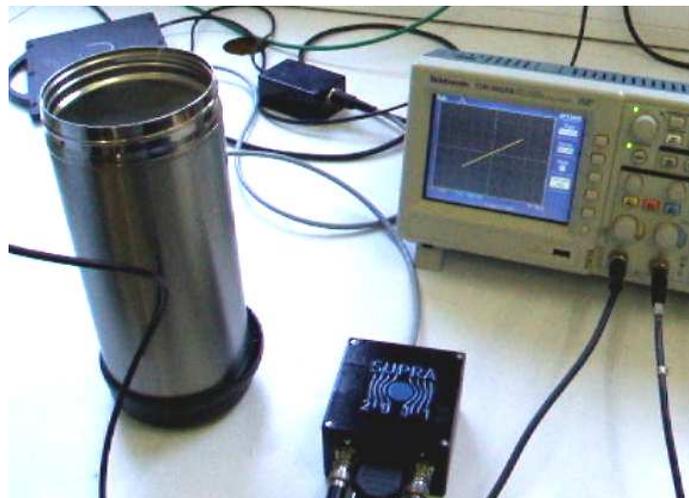
Frédéric Bouquet, Vincent Klein, David Brunello, Anthony Stephan,

Laboratoire de Physique des Solides

contact : frederic.bouquet@u-psud.fr

Le service d'instrumentation et d'électronique du LPS a développé un petit circuit qui permet de mesurer la loi d'Ohm sur un échantillon, et de mettre ainsi en évidence la chute brutale de la résistivité dans un supraconducteur dans un mode où on voit directement la tension en fonction du courant.

Si vous êtes intéressés à développer vous-même cette manip, voici les informations nécessaires pour reproduire cette expérience. Sinon, le service électronique de LPS peut construire des boîtiers supplémentaires et les mettre à votre disposition, pour un coût estimé à 450 € par unité. En revanche, l'achat et le câblage de l'échantillon ne peuvent être assurés par le service d'électronique, mais ce ne sont pas des étapes compliquées : un exemple simple à suivre est présenté dans ce document.



Vidéo de démonstration : <http://hebergement.u-psud.fr/bouquet/ohm/>

DESCRIPTION GENERALE

Ce boîtier génère un courant sinusoïdale à 100 Hz, d'environ 160 mA. Ce courant circule dans un échantillon, et la tension générée par le passage de ce courant est amplifiée par un gain de 100. Deux

BNC permettent de suivre avec un oscillo les valeurs du courant et de la tension sur l'échantillon. En mode XY de l'oscillo, la loi d'ohm apparaît à l'écran. En trempant l'échantillon dans l'azote liquide, la pente s'annule.

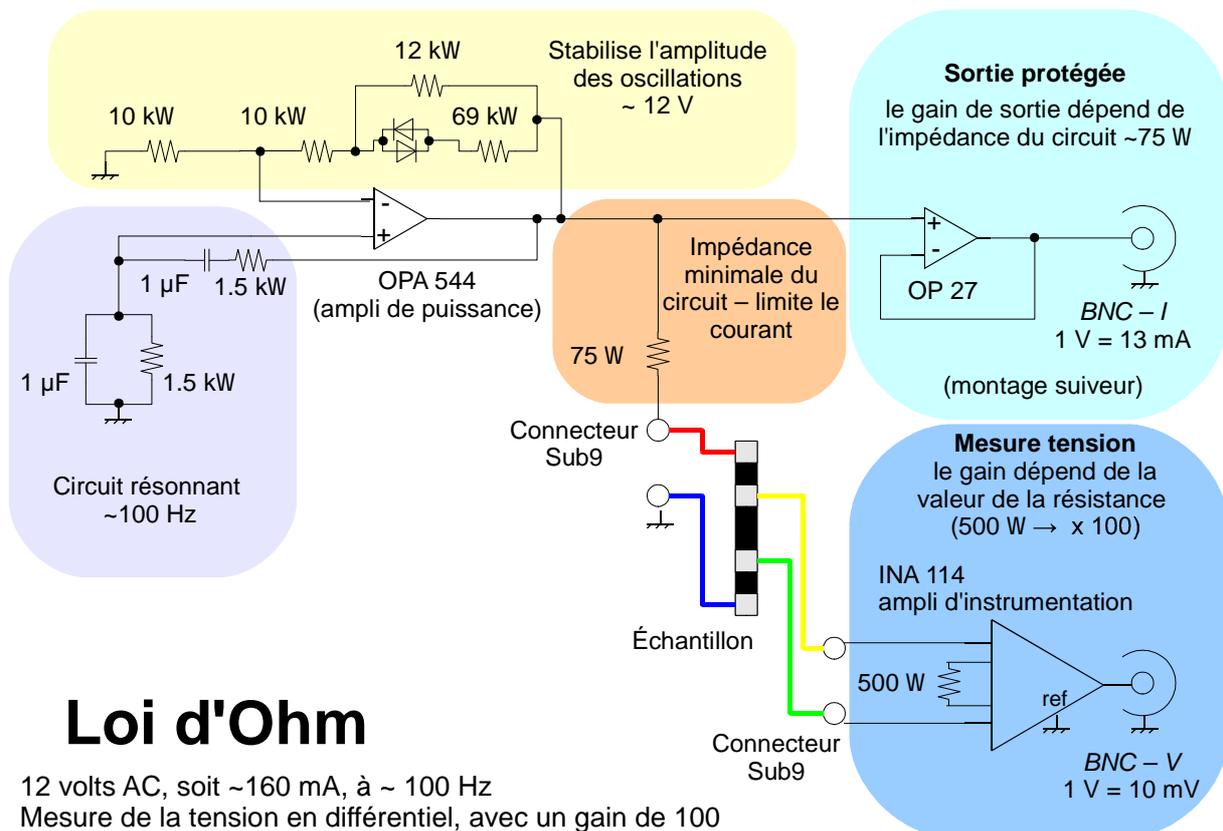
Pour les présentations devant un public nombreux, l'utilisation d'un oscilloscope numérique USB, avec affichage à l'écran d'un ordinateur, couplée à l'utilisation d'un vidéoprojecteur, assure une bonne visibilité à tous.



On peut utiliser par exemple l'Oscilloscope USB "DS1M12" ci dessus, de chez « USB Instruments » en vente à environ 270 €, pour utilisation avec un ordinateur (possibilité de vidéoprojection de la courbe). Nous avons testé cet oscilloscope sous WinXP, mais nous avons rencontré des problèmes sous windows7, vérifiez la compatibilité des drivers avec le revendeur. D'autres oscillos existent, que nous n'avons pas testés.

DESCRIPTION TECHNIQUE

Le schéma électrique est le suivant :



Description : un ampli de puissance est utilisé pour générer une tension sinusoïdale à 100 Hz et 12 volts. L'ampli utilisé peut délivrer jusqu'à 2 ampères ; la résistance de 75 Ω mise en série permet de limiter ce courant à 160 mA. L'échantillon est mis en série ; sa résistance et celle des fils sont normalement faibles, et ne vont pas influencer sur la valeur du courant. Un montage suiveur permet de sortir sur une BNC la valeur de la tension d'excitation de façon protégée. Dans la mesure où l'impédance du circuit peut être considérée comme constante et valant 75 Ω , ce signal sera proportionnel au courant circulant dans le circuit, 1 volt mesuré à l'oscillo correspondant à 13 mA. La tension mesurée varie de -12 à +12 volts, soit un courant variant de -160 à +160 mA. La tension générée par le passage du courant à travers l'échantillon est amplifiée par un facteur 100 par un ampli d'instrumentation, monté en différentiel, et cette tension est envoyée sur une seconde BNC. Ce signal est donc proportionnel à la tension développée dans l'échantillon, 1 volt mesuré correspondant à 10 mV réels.

L'échantillon doit être monté en mesure 4 fils, avec deux fils pour le courant, et deux fils pour la tension, de façon à ne mesurer que la résistance de l'échantillon. Ces quatre fils sont reliés à un connecteur standard au circuit électronique. Les éléments actifs du circuit sont alimentés en +15/-15V par une alime à découpage ; cette alimentation doit être éloignée du circuit pour éviter des problèmes de bruit parasite.

Un affichage à l'oscillo, en mode XY, des deux BNC affiche directement la courbe I-V de l'échantillon.

REFERENCES MATERIEL

Matériel électrique et consommables

Tous les composants électroniques sont assez courants et peuvent être achetés sans trop de problèmes. Nous avons passé nos commandes chez radiospares (<http://radiospares-fr.rs-online.com>).

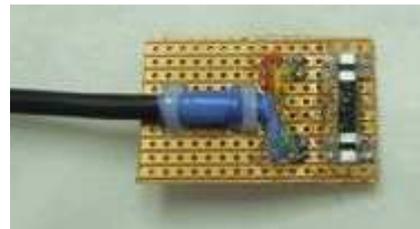
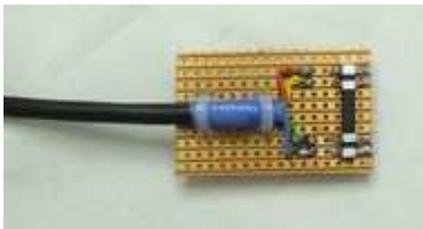
Échantillon



La solution la plus simple, pour mesurer un échantillon, est d'utiliser la référence CSB-2/3/20 Superconducting Bar de la société Can Superconductors (<http://shop.can-superconductors.com>). Ce barreau de dimension 2x3x20 mm³ coûte environ 40 €, et possède quatre zones laquées qui permettent des soudures sans trop de difficultés. Le supraconducteur est un cuprate à base de bismuth, avec une température de transition supérieure à 100 K. Les deux contacts les plus extérieurs sont destinés aux fils d'amenée de courant, les deux contacts intérieurs aux fils de mesure de tension.

Attention : la laque d'argent déposée sur le barreau ne supporte pas des efforts mécaniques trop importants. Il faut solidariser mécaniquement l'échantillon et les fils pour que le montage puisse être utilisé longtemps. La solution que nous avons adoptée est de noyer l'échantillon et les fils soudés dans de la colle adaptée à la cryogénie (stycast blanche). Une autre solution qui fonctionne est de

souder l'échantillon et les fils sur une plaque à trous (voir photos). Pour protéger l'échantillon, une couche de joint silicone translucide suffit (les tubes de joints silicones du commerce conviennent, comme ceux pour faire l'étanchéité dans les salles de bain). Ce montage est très facile à réaliser par rapport au premier, car il ne nécessite aucun matériel difficile à trouver.



Échantillon monté sur une plaque à trous, avec bandes métallisées, sans (à gauche) et avec (à droite) la couche de joint silicone en protection. Le câble est solidarisé à la plaque par deux colliers autobloquants en plastique.

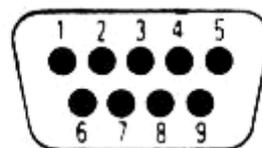
Boitier

Si vous ne pouvez pas reproduire facilement le schéma électronique ci-dessus, le service d'instrumentation du LPS est prêt à fabriquer quelques unités supplémentaires. Le coût facturé pour l'un de ces boitiers est estimé à 450 €. En revanche, l'échantillon et son câblage ne sont pas assurés par ce service.

Connecteur

Le connecteur est un sub-D à 9 broches standard (male sur le câble, femelle sur le boitier). Les connections sont les suivantes :

- 1 : i +
- 2 : i - , (c'est-à-dire la masse)
- 4 : u -
- 5 : u +



Plus d'infos : <http://www.manipsupra.fr>

SOUTIENS

Le développement de l'électronique à été fait par le service électronique du laboratoire de physique des solides, unité mixte CNRS / université Paris Sud 11, avec un soutien financier du conseil général de l'Essonne.