Déformation du réseau de tourbillons sous l'effet de courants alternatifs

P. Thorel, R. Kahn

► To cite this version:

P. Thorel, R. Kahn. Déformation du réseau de tourbillons sous l'effet de courants alternatifs. *Revue de Physique Appliquée*, 1973, 8 (4), pp.417-420. 10.1051/rphysap:0197300804041700 . jpa-00243707

HAL Id: jpa-00243707

<https://hal.science/jpa-00243707>

Submitted on 1 Jan 1973

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DÉFORMATION DU RÉSEAU DE TOURBILLONS SOUS L'EFFET DE COURANTS ALTERNATIFS

P. THOREL

Institut Max-Von-Laue-Paul-Langevin
BP 156, 38042 Grenoble Cedex, France

R. KAHN

SPSRM, CEN de Saclay
BP 2, 91190 Gif-sur-Yvette, France

Résumé. — Nous observons grâce à la diffraction de neutrons les modifications de la qualité d'un cristal de tourbillons créé dans le niobium supra-conducteur quand l'échantillon est parcouru par un courant alternatif de fréquence comprise entre 5×10^{-3} et 100 Hz.

Abstract. — With a neutron diffraction method we look at the variations of the quality of a crystal of vortices created in superconducting niobium when an ac current is applied. The frequency varies from 5×10^{-3} Hz to 100 Hz.

Introduction. — Nos premiers résultats qui ont donné lieu à d'autres publications [1] ont été obtenus sur des lames monocristallines de niobium de 25 mm de long et de $1 \times 10 \text{ mm}^2$ de section. Dans les résultats rapportés ici une telle lame est plongée dans un champ magnétique horizontal H_z . Elle est examinée par un faisceau de neutrons N_x de longueur d'onde $\lambda_N = 4,3 \text{ Å}$. Un courant I_y peut être appliqué à cette lame dans le sens de sa longueur. L'axe Oy est parallèle à la direction cristallographique (111) du niobium. Les études du cristal de tourbillons se font par rotation de l'échantillon autour de l'axe Oz parallèle au champ (Fig. 1a). La mesure $N(\alpha)$ de l'intensité diffractée dans

cristal de tourbillons. Cette qualité est mesurée quantitativement par la largeur totale $\Delta\alpha$ à mi-hauteur de cette courbe (Fig. 1b).

FIG. 1a. — Géométrie du dispositif expérimental. Les axes Ox' Oy' Oz' sont liés au laboratoire (Oy' vertical). Les axes Ox Oy Oz sont liés à l'échantillon. Le champ magnétique est parallèle à $Oz = Oz'$.

la position de Bragg en fonction de l'angle α définissant la position de l'échantillon caractérise la qualité du

FIG. 1b. — Courbe $N(\alpha)$ typique. $\Delta\alpha$ est la largeur totale à mi-hauteur. N_{pic} est l'intensité diffractée pour le maximum. Pour un échantillon et une valeur de champ donnée le produit $N_{pic} \times \Delta\alpha$ (qui est approximativement l'intensité intégrée du pic) reste constant quelle que soit la qualité du cristal de tourbillons.

Le monocristal de tourbillons a ses directions de plus proches voisins fortement corrélées aux axes cristallins qui gouvernent l'anisotropie des propriétés supraconductrices [1], [2], [3]. Dans le cas considéré, la hauteur du triangle de base du réseau d'Abrikosov est parallèle à l'axe (111) du niobium. Cela donne des plans de Bragg presque parallèles à Oxz et une posi-

tion de l'échantillon telle que α est presque nul pour la réflexion étudiée. (L'angle de Bragg θ_B est de $8'$ environ pour les valeurs de champ magnétique utilisées.)

La caractéristique courant-tension d'un supraconducteur de 2^e espèce se divise en 3 régions (Fig. 2a) :

- Région de tension nulle.
- $I \gtrsim I_c$ région non linéaire décrite par les théories du « flux creep ».
- Région linéaire décrite par la théorie du « flux flow ».

Ces trois régions se retrouvent dans la structure du monocristal de tourbillons :

- Le cristal n'est pas modifié par le passage du courant.

En particulier $\Delta\alpha$ reste inchangé de l'ordre de $30'$.

- Dès que $I \gtrsim I_c$, $N(\alpha)$ s'élargit ($\Delta\alpha \simeq 60'$).

- Quand on aborde la région linéaire il se produit un affinement qui aboutit à une largeur limite $\Delta\alpha_M$ ($\Delta\alpha_M \simeq 15'$).

1. Courant alternatif. — **1.1 CARACTÉRISTIQUE COURANT-TENSION.** — Une caractéristique typique est montrée sur la figure 2b. La tension alternative est mesurée entre deux points distants de 2 cm. Les valeurs portées sur les figures sont les valeurs efficaces directement lues sur le voltmètre multipliées par $\sqrt{2}$. (Cela correspond aux tensions crêtes dans la partie linéaire.) Le choix de cette grandeur a été imposé par celui du courant crête qui sert de variable.

FIG. 2. — Caractéristiques V-I typiques de nos échantillons de niobium : a) en courant continu $H_0 = 1500$ Oe définissant le paramètre I_c ; b) en courant alternatif $H_0 = 1500$ Oe définissant le paramètre $I_{cA}(f)$. (On a porté les intensités crêtes et les tensions efficaces $\times \sqrt{2}$.)

De façon similaire à la caractéristique continue, on distingue trois régions. Pour chaque fréquence on peut définir le courant critique I_{cA} qui détermine la fin de la région de tension nulle. A 40 Hz dans nos échantillons I_{cA} est de l'ordre du dixième du courant critique continu I_c .

1.2 DÉFORMATION DU RÉSEAU DE TOURBILLONS POUR 40 Hz. — a) Jusqu'à une valeur d'intensité crête I_{cN} il n'y a aucun changement de structure (à 40 Hz $I_{cN} \simeq I_{cA}$).

- Dès que $I_{cr} \gtrsim I_{cN}$ on observe un affinement.

- Cet affinement est limité : lorsque l'amplitude du courant continu d'augmenter, on atteint une largeur limite $\Delta\alpha_M$. Ceci a lieu quand l'intensité crête vaut 2 à 3 fois I_{cN} et est donc largement inférieure à I_c .

- $\Delta\alpha_M$ est plus faible que pour le courant continu. La plus petite largeur obtenue a été de $10'$. Il faut noter que la largeur instrumentale due aux diverses collimations du faisceau est de $4'$ et que la mosaïcité des plaquettes de niobium utilisées est de $5'$ (mesuré par spectroscopie γ). Ces renseignements sont donnés à titre d'information, mais aucune étude systématique de corrélation des deux mosaïcités n'a été entreprise.

1.3 VARIATION AVEC LA FRÉQUENCE (courant sinusoïdal). — Les deux paramètres retenus pour cette étude sont I_{cN} et $\Delta\alpha_M$. Plus ces grandeurs sont petites et plus le courant est efficace dans l'amélioration du cristal de tourbillons (Fig. 3a et 3b). On remarque le comportement différent de I_{cN} et I_{cA} avec la fréquence.

FIG. 3. — Le courant critique neutronique I_{cN} et la largeur limite à mi-hauteur $\Delta\alpha_M$, sont étudiés en fonction de la fréquence.

Cela suggère que la qualité du réseau de tourbillons n'a pas d'influence sur les propriétés de dissipation.

(Une conclusion analogue a été faite pour le courant continu [1].) La dissipation est en effet due d'après Gittleman [4] à une oscillation continuelle des tourbillons autour de leur position d'équilibre. Le réarrangement étant lui un phénomène de changement de ces positions d'équilibre intervient au moment de l'application du courant, la nouvelle structure étant en quelque sorte stable lorsque le temps passe (et même demeurant lorsque le courant est coupé).

L'efficacité de l'affinement est à peu près indépendante de la fréquence dans la gamme considérée. Nous avons le sentiment que la baisse d'efficacité vers les basses fréquences est due à une grande constante de temps d'établissement du régime (proportionnelle à la période du courant) comme cela est montré au paragraphe 1.5. Par contre, vers les « hautes » fréquences, d'autres phénomènes peuvent intervenir. A 100 Hz pour nos échantillons, la profondeur de peau dans l'état normal est de 2 mm et on peut penser que la baisse d'efficacité est due à une plus faible pénétration du courant. On peut remarquer aussi que, à cause de la rapide décroissance de I_{cA} quand la fréquence augmente, pour une même intensité I_{cN} la dissipation est plus grande. Cette dissipation peut contrarier le réarrangement du réseau de tourbillons. Cette explication peut être invoquée aussi au paragraphe suivant pour expliquer la baisse d'efficacité quand la hauteur des impulsions augmente.

1.4 DIFFÉRENTES FORMES DE COURANT. — Des résultats identiques sont observés avec des signaux carrés ou triangulaires. Les impulsions donnent aussi des résultats analogues tant que la durée de l'impulsion est supérieure à 10 ms (100 Hz). Pour des impulsions plus courtes l'efficacité est moindre comme cela a été observé pour des fréquences supérieures au paragraphe précédent. On voit (Fig. 4) qu'après avoir

FIG. 4. — Influence de l'amplitude de l'impulsion sur le maximum de l'intensité diffractée (unités arbitraires). FF_{lim} représente l'intensité diffractée maximale limite, obtenue au cours de l'étude en courant continu. La valeur de I_c dans les mêmes conditions de champ est 5 A.

atteint un affinement maximal quand l'intensité moyenne augmente, cet affinement se détériore et on retourne dans les conditions du « flux flow » quand I atteint I_c courant critique continu.

1.5 TRÈS BASSES FRÉQUENCES. — Notre intention était de voir à quelle fréquence le comportement alternatif s'effaçait devant le comportement continu. Pour cela nous sommes descendus à des fréquences de 10^{-2} et 5×10^{-3} Hz, en signaux carrés. Nous les avons obtenues en pilotant l'ouverture et la fermeture de l'alimentation en courant continu par un générateur d'impulsion avec une période de 100 et 200 s. Le courant variait de $-1,5$ à $+1,5$ A dans des conditions de champ magnétique où le courant critique I_c valait 5,5 A.

Même à ces très basses fréquences et avec un courant aussi faible, il y a affinement des couches $N(\alpha)$. Cependant, cet affinement s'installe de façon progressive comme le montre la figure 5. Le courant restant stable

FIG. 5. — Etablissement progressif du meilleur cristal de tourbillons à très basse fréquence. Les intensités diffractées sont en unités arbitraires. Les points de la courbe 5a sont regroupés par familles correspondant à un même état de courant. La courbe 5b reprend les mêmes résultats en portant $\bar{N}$ qui est la moyenne des comptages pour un même état de courant.

($-1,5$ ou $1,5$ A), il est possible de faire plusieurs mesures de l'intensité neutronique N_{pic} au maximum de $N(\alpha)$. La confusion du nuage de points (qui est due essentiellement au faible comptage) est levée si on fait les moyennes pour chaque état de courant. On voit alors une progression régulière du signal. Si par contre on demeure dans un état de courant, le signal reste constant. On arrive à une saturation de l'effet (multiplication par 2 de l'intensité pic) après une quinzaine de périodes environ. Le perfectionnement du cristal de tourbillons intervient à chaque changement de sens du courant. Le régime transitoire ainsi créé donne une secousse au réseau de tourbillons et contribue à en chasser les dislocations. Le réarrange-

ment a lieu de la même façon que le sable se tasse dans un récipient quand on le secoue, ou de la même façon que les billes placées sur un plan se réarrangent avec les secousses données au support. Après une trentaine de secousses on arrive à une « saturation » de l'effet d'arrangement, les « cristallites » ne croissent plus.

Ce nombre de secousses nécessaires est à peu près indépendant de la fréquence et de l'amplitude du courant appliqué.

Remerciements. — Nous voudrions remercier ici D. Cribier, Y. Simon, J. M. Delrieu pour de nombreuses et fructueuses discussions.

Bibliographie

- [1] THOREL, P., SIMON, Y., Proceeding LT 12, p. 477 (Kyoto 1970).
THOREL, P., KAHN, R., SIMON, Y., CRIBIER, D., *J. Physique* **34** (1973) 447.
 - [2] OBST, B., *Phys. Stat. Sol.* **45b** (1971) 467.
 - [3] SCHELLEN, J., ULLMAIER, H., SCHMATZ, W., *Phys. Stat. Sol.* **48b** (1971) 619.
 - [4] GITTLEMAN, J. I., ROSENBLUM, B., *Phys. Rev. Lett.* **16** (1966) 734.
-