

L'effet Nernst et la supraconductivité

Alexandre Pourret

(Groupe de Kamran Behnia)

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



Plan de l'exposé

i. Effet Nernst et dispositif expérimental

ii. Etude des fluctuations supraconductrices dans $\text{Nb}_{0.85}\text{Si}_{0.15}$

iii. Etude des fluctuations supraconductrices dans InOx

Coefficients thermoélectriques

$$S = \frac{-E_x}{\nabla_x T}$$

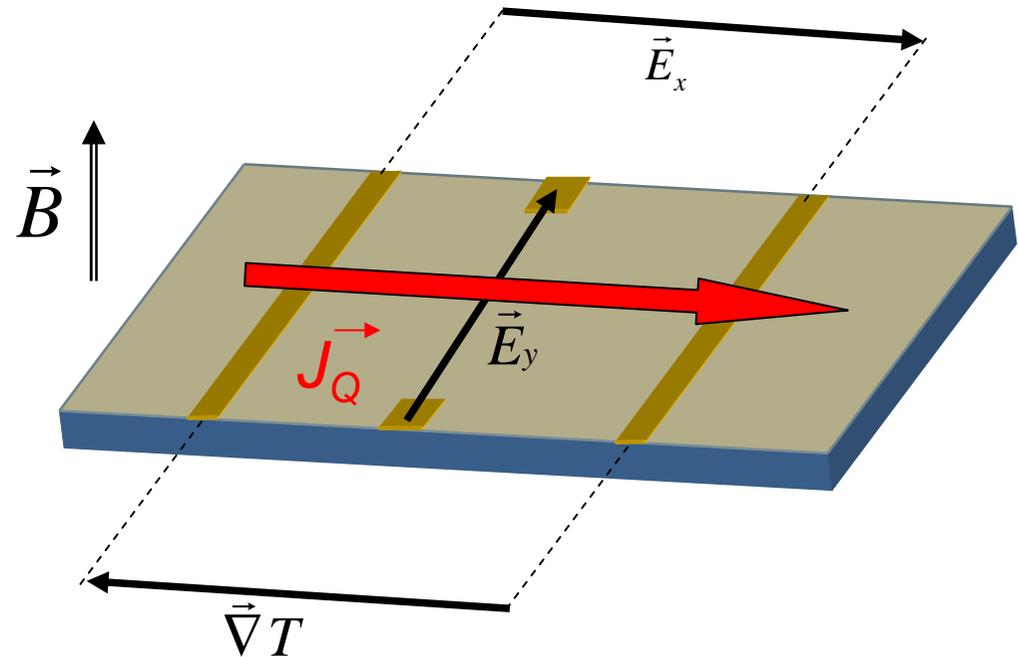
Pouvoir thermoélectrique

$$N = \frac{-E_y}{\nabla_x T}$$

Signal Nernst

$$v = \frac{-E_y}{B_z \nabla_x T}$$

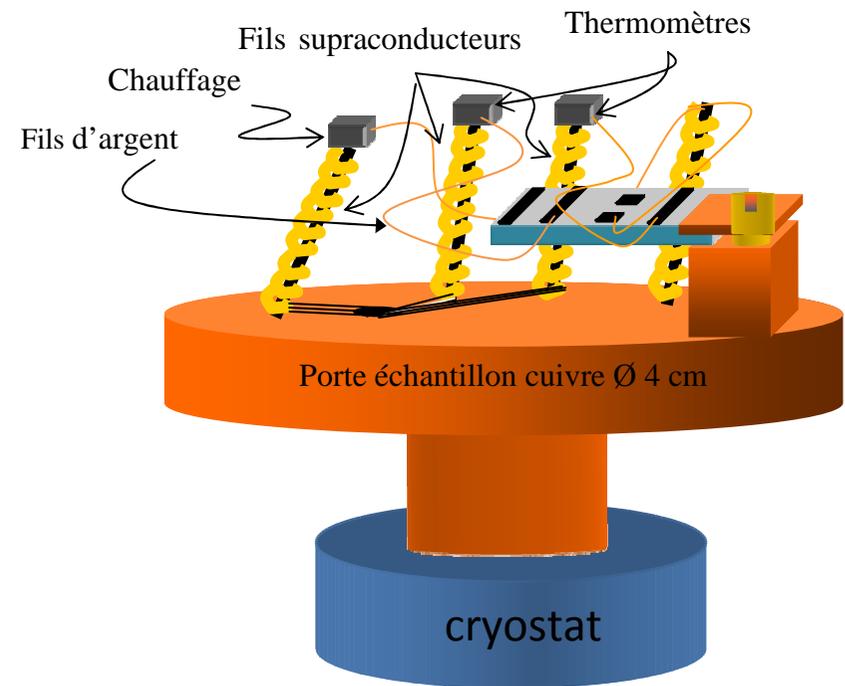
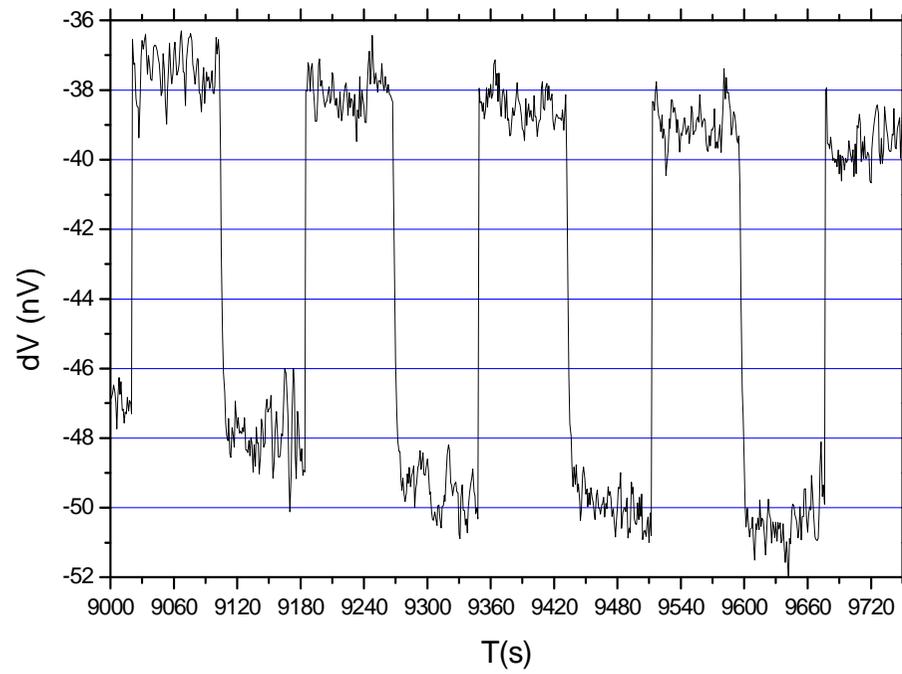
Coefficient Nernst



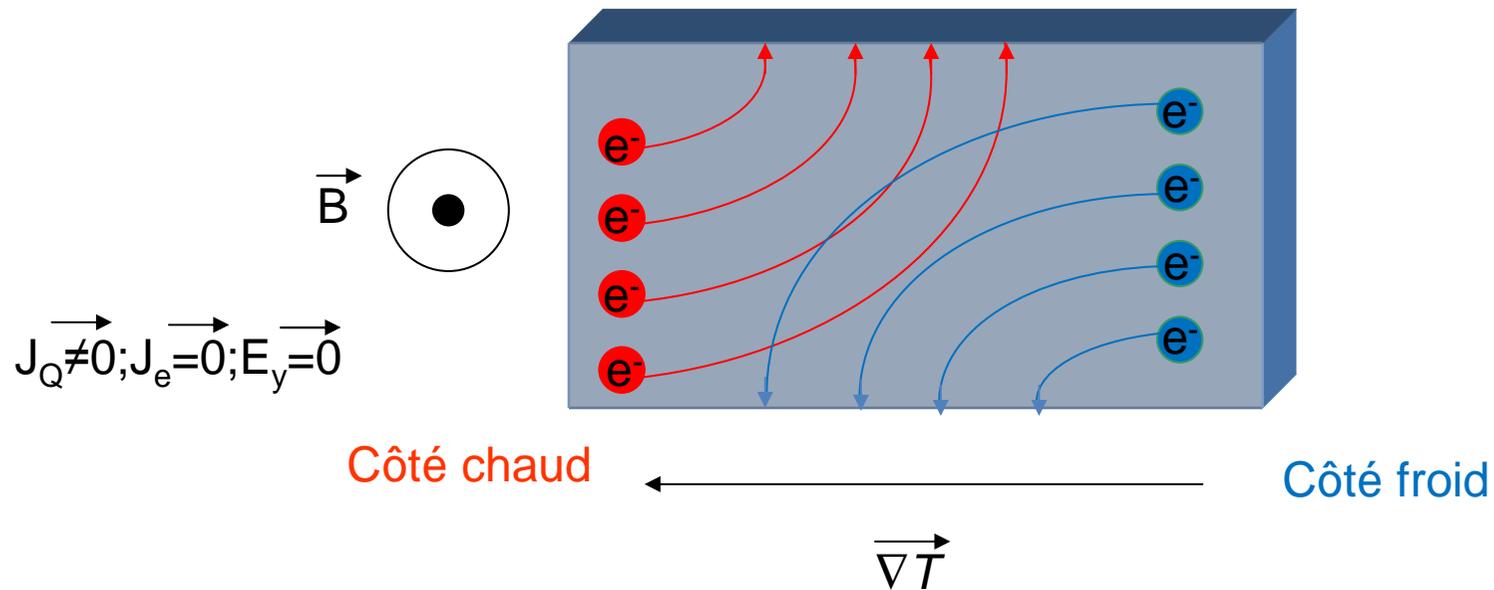
$$\begin{pmatrix} \vec{J}_e \\ \vec{J}_Q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sigma & \alpha \\ \alpha T & \kappa \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \vec{E} \\ -\vec{\nabla} T \end{pmatrix}$$

$$v = \frac{1}{B} \frac{\alpha_{xy} \sigma_{xx} - \alpha_{xx} \sigma_{xy}}{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{xy}^2}$$

Dispositif expérimental



La compensation de Sondheimer (1948) dans un métal avec une seule bande



Dans un métal « simple » il n'y a pas d'effet Nernst .

Que signifie la compensation de Sondheimer ?

$$\vec{J}_e = \sigma \vec{E} - \alpha \vec{\nabla} T$$

$$\vec{J}_Q = \alpha T \vec{E} - \kappa \vec{\nabla} T$$

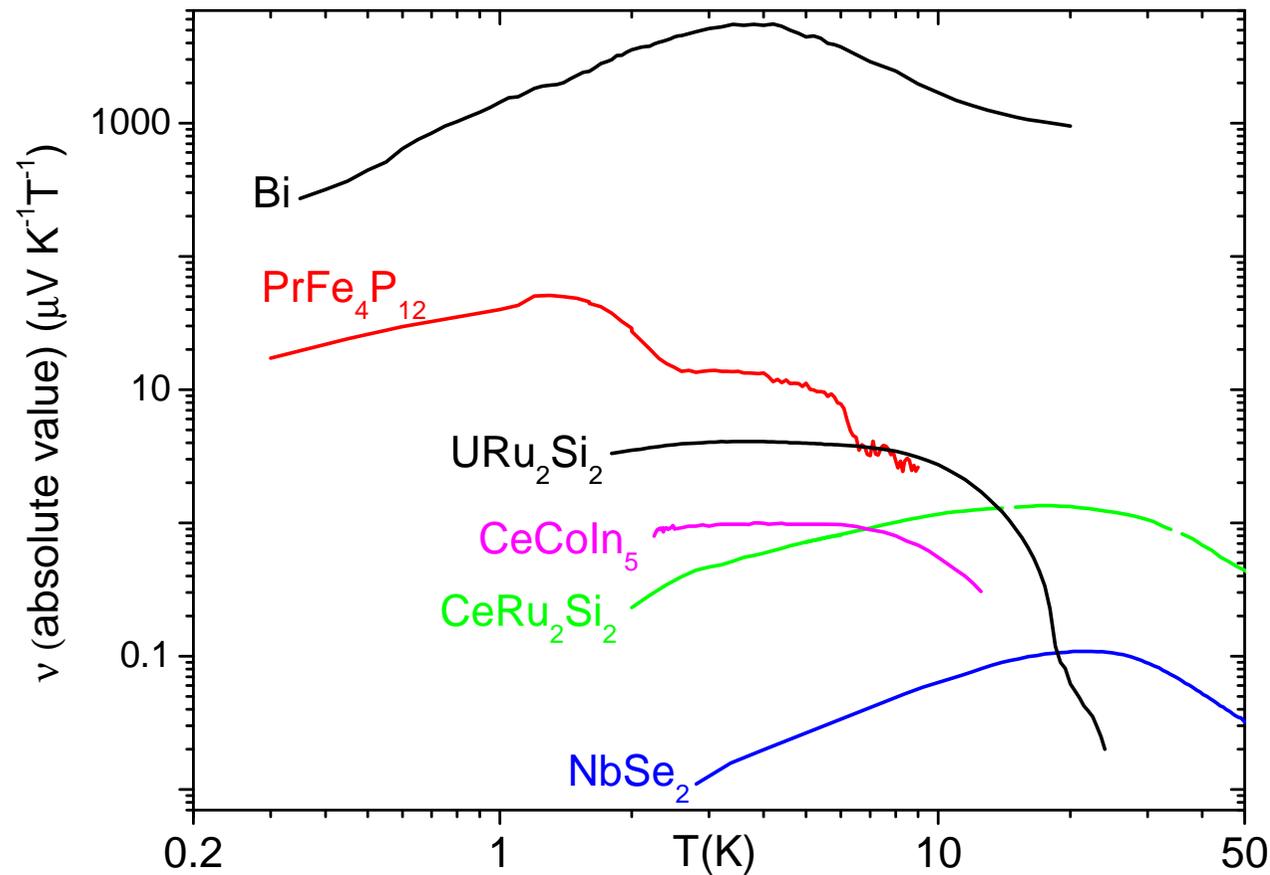
coefficient Nernst :

$$N = \frac{\alpha_{xy} \sigma_{xx} - \alpha_{xx} \sigma_{xy}}{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{xy}^2}$$

$$\bar{\alpha} = \frac{\pi^2 k_B^2 T}{3 e} \frac{\partial \bar{\sigma}}{\partial \epsilon} \Big|_{\epsilon_F} \longrightarrow N = \frac{\pi^2 k_B^2 T}{3 e} \frac{\partial \Theta_H}{\partial \epsilon} \Big|_{\epsilon_F}$$

Si lorsque l'on change l'énergie de Fermi l'angle de Hall ne change pas, il n'y a pas de signal Nernst.

Le coefficient Nernst dans la phase normale



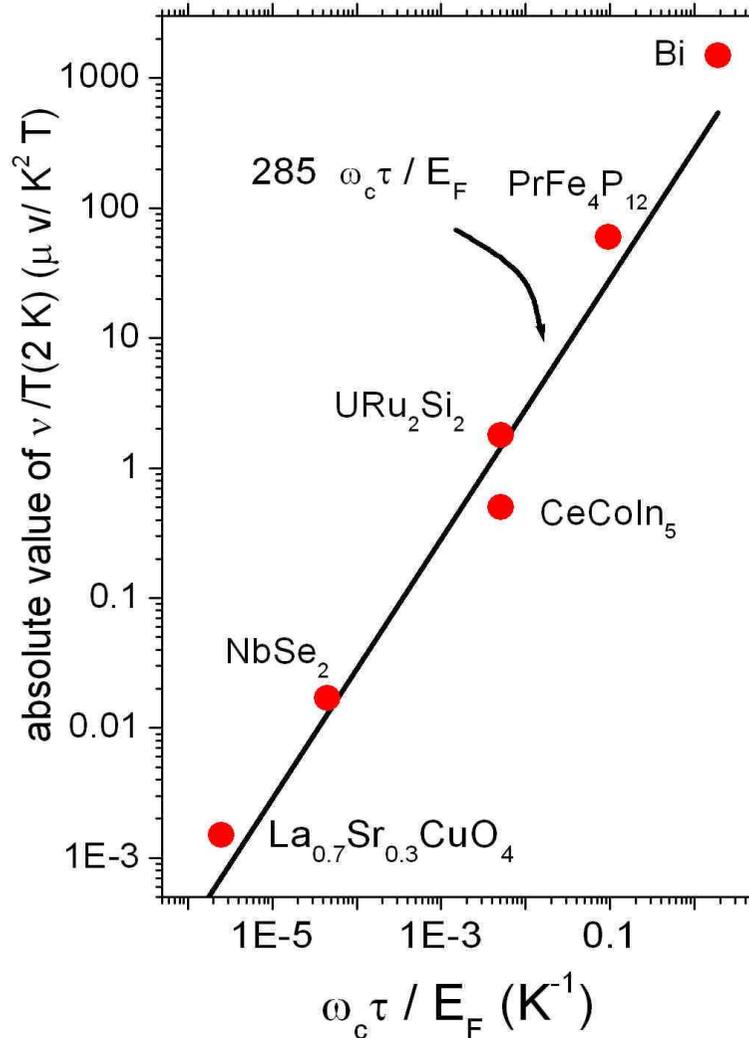
$$N = \frac{\pi^2}{3} \frac{k_B^2 T}{e} \left. \frac{\partial \Theta_H}{\partial \epsilon} \right|_{\epsilon_F}$$

$$N \sim \pi^2/3 \times k_B^2 T/e \times \omega_c \tau / E_F$$

Le coefficient Nernst est grand lorsque la mobilité est grande et lorsque l'énergie de Fermi est faible !

... il devient grand dans les semi-métaux

$$N \sim \pi^2/3 \times k_B^2 T/e \times \omega_c \tau / E_F$$



	Bismuth	URu ₂ Si ₂	PrFe ₄ P ₁₂
k_F (nm ⁻¹)	0.14	1.1	0.7
m^* (m_e)	0.06	25	10
n (per f.u.)	10 ⁻⁵	0.03	0.005-0.018
$\omega_c \tau$ (1T)	420	0.08	0.85
E_F (K)	310	22	9
$285\omega_c \tau / E_F$	1400	1.03	27

Le signal Nernst généré par les vortex

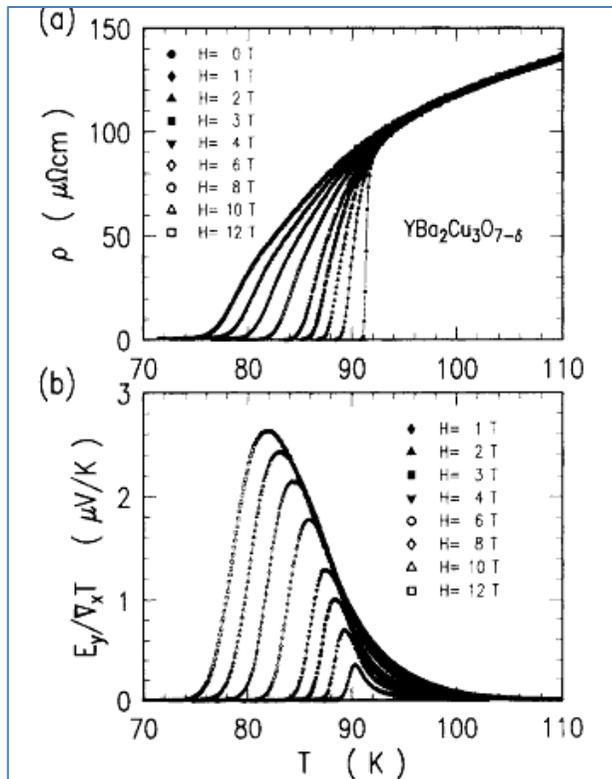
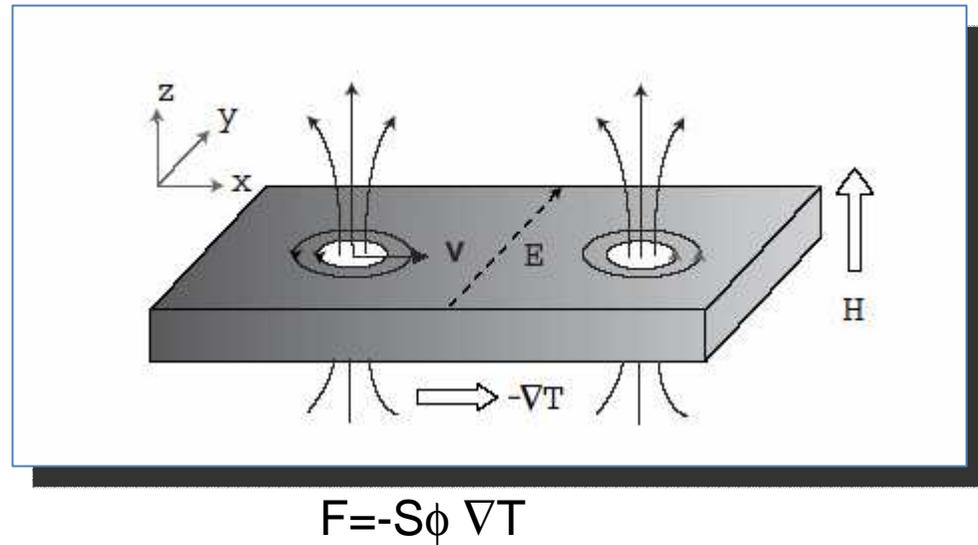


FIG. 3. Resistivity ρ (a) and normalized Nernst electric field $E_y/\nabla_x T$ (b) versus temperature for an epitaxial, c-axis-oriented $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ film at different magnetic fields applied parallel to the c axis of the film.



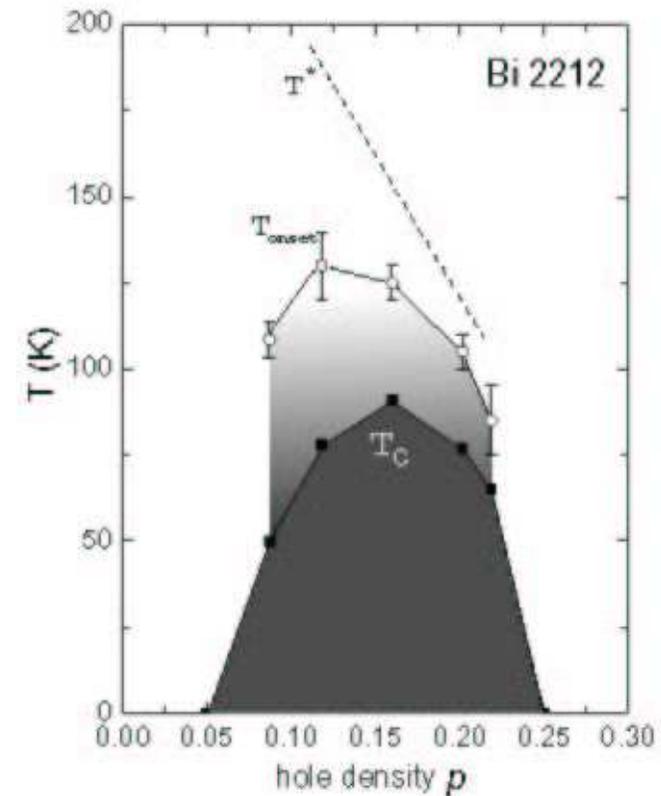
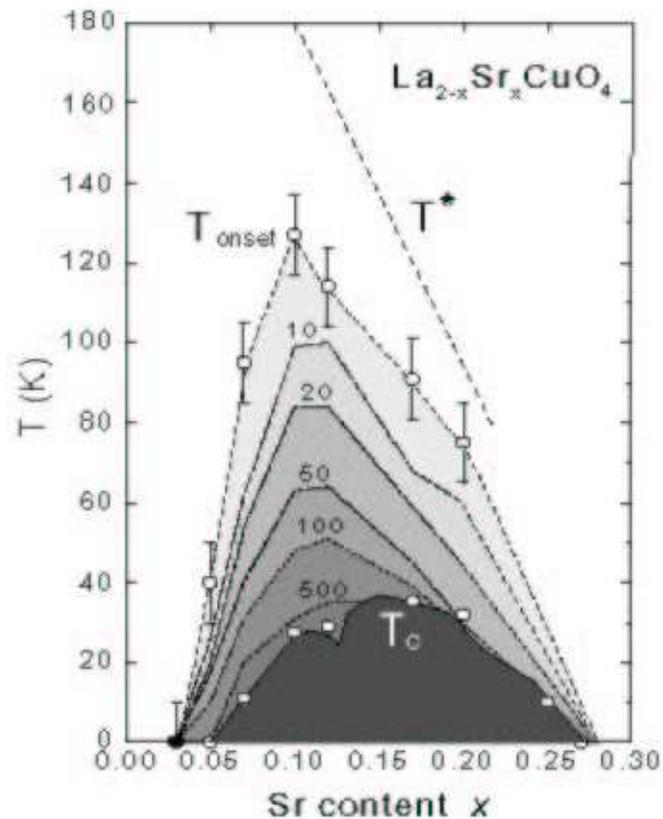
Le déplacement des vortex par le courant de chaleur produit un champ électrique transverse.

Ri. H.-C et al

Phys. Rev. B 50, 3312–3329 (1994)

Les excitations de type vortex dans la phase normale au-dessus de T_c ?

Wang, Li & Ong, '06



Un signal Nernst fini au dessus de T_c

Plan de l'exposé

i. Effet Nernst et dispositif expérimental

ii. Etude des fluctuations supraconductrices dans $\text{Nb}_{0.85}\text{Si}_{0.15}$

iii. Etude des fluctuations supraconductrices dans InOx

Pourquoi mesurer le signal Nernst dans un supraconducteur désordonné ?

 L'effet Nernst est une sonde expérimentale importante depuis la découverte d'un signal Nernst fini au-dessus de T_c dans les cuprates sous-dopés. Nous avons besoin d'étudier un supraconducteur conventionnel.

 Fluctuations supraconductrices intéressantes

Transition de type Kosterlitz-Thouless

Transition quantique supraconducteur -isolant

Les échantillons de $\text{Nb}_{0.15}\text{Si}_{0.85}$

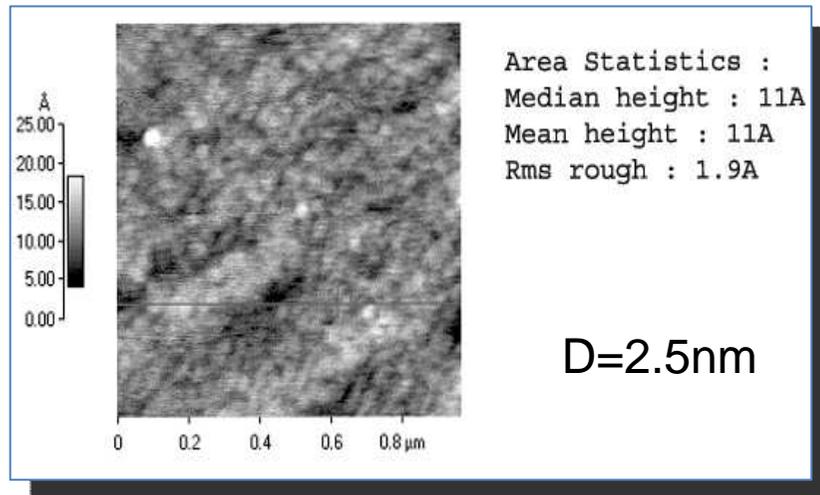
Films amorphe et homogène de $\text{Nb}_{0.15}\text{Si}_{0.85}$

Co-évaporation de Nb et Si.

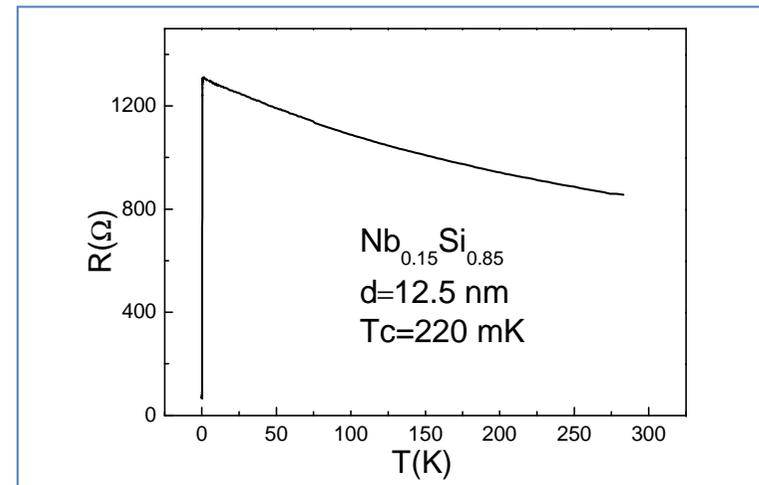
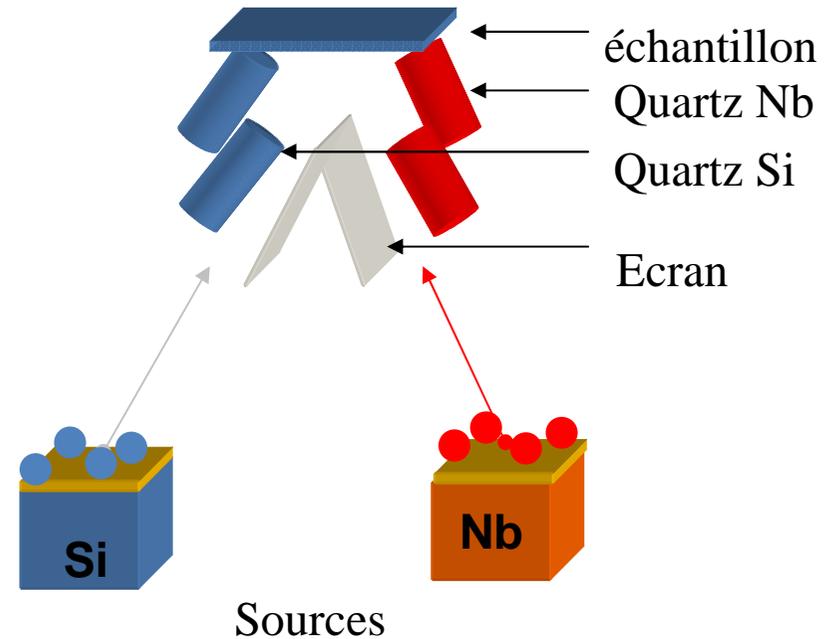
Pas de granularité observé par AFM.

La résistivité ($\rho=1.5 \text{ m}\Omega\text{cm}$) est indépendante de l'épaisseur de l'échantillon.

Deux échantillons d'épaisseurs 12.5nm et 35 nm

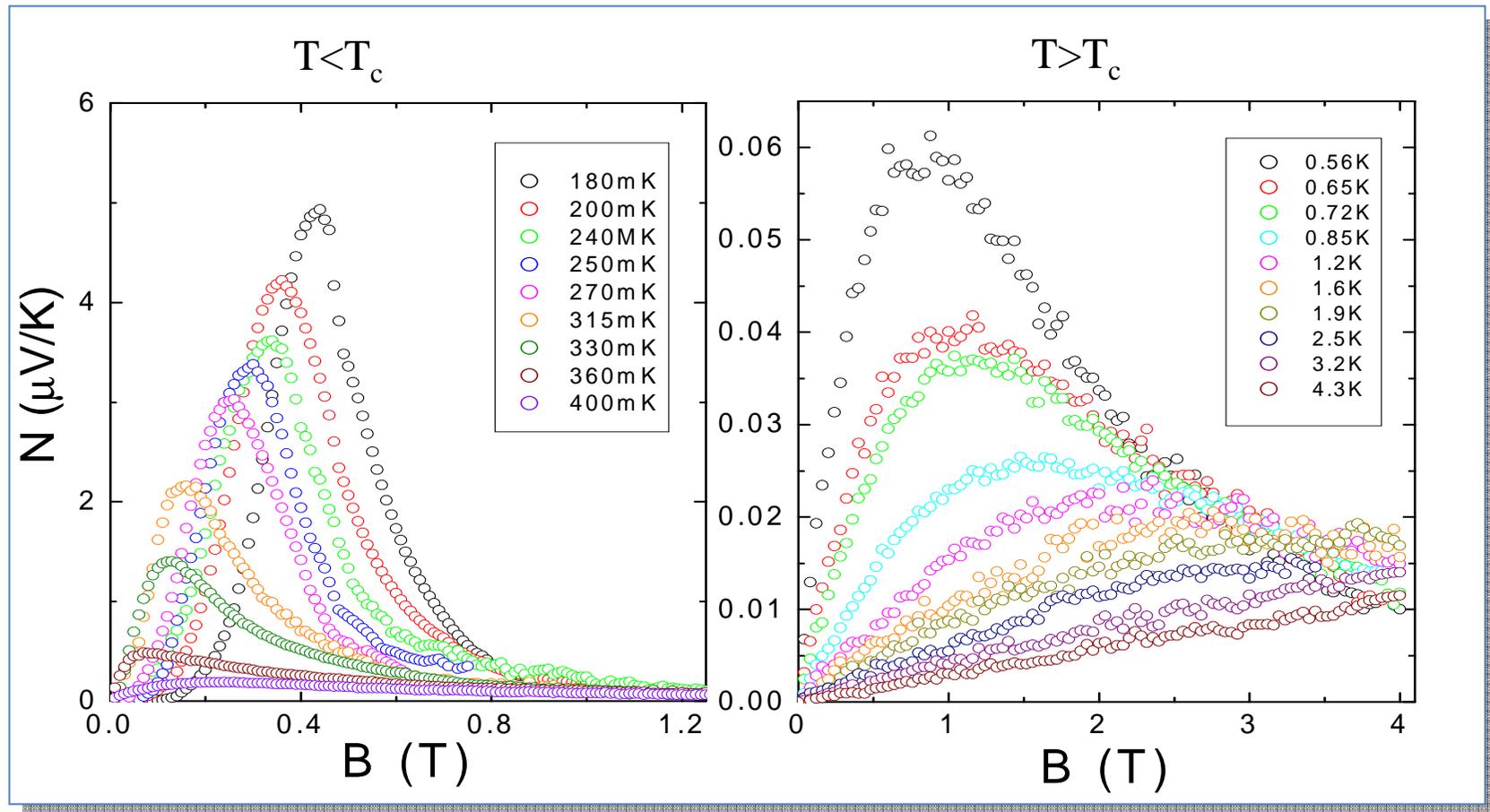


L. Dumoulin, CSNSM

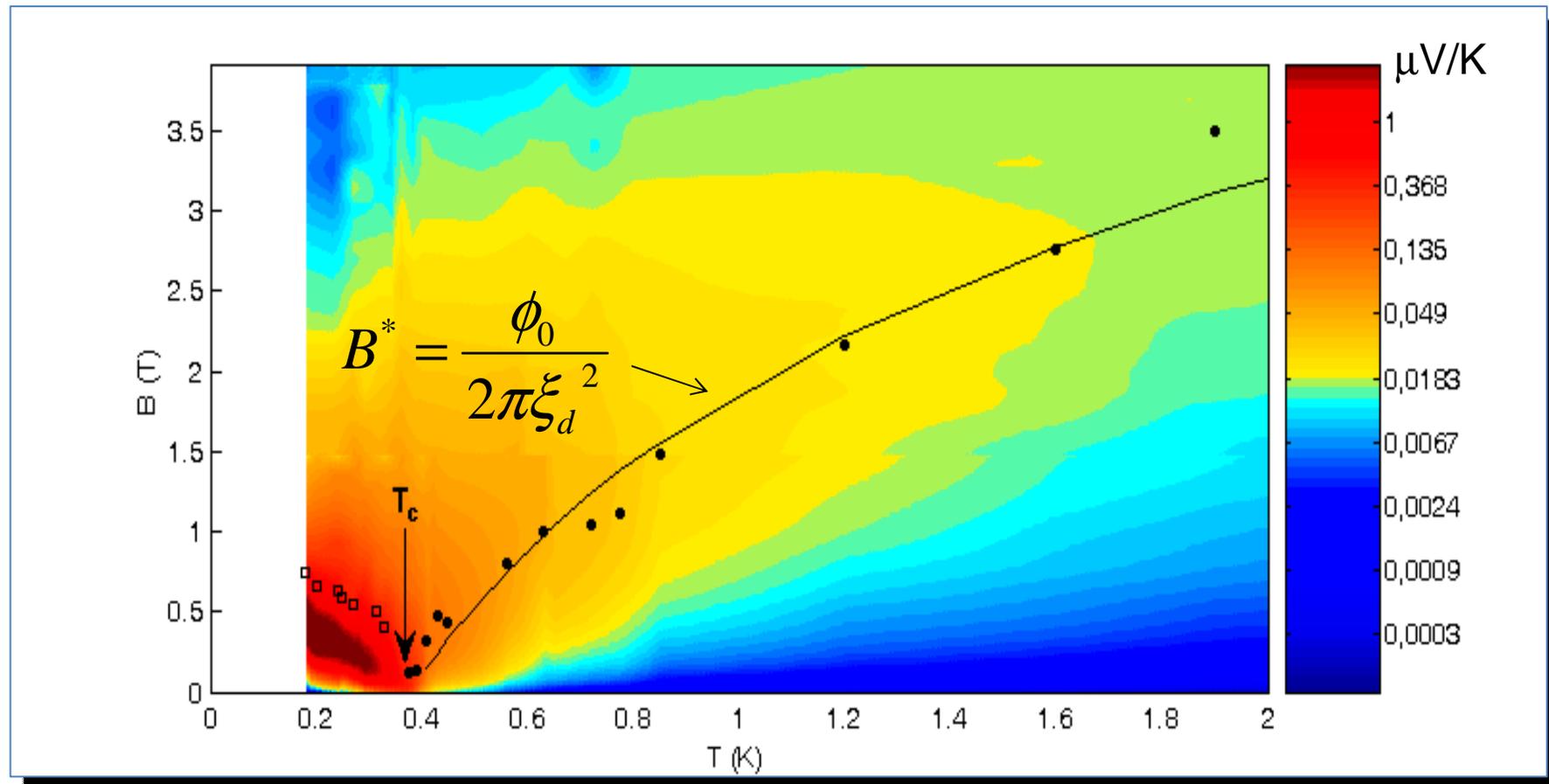


Signal Nernst en dessous et au-dessus de T_c

(Echantillon 2, $T_c = 380\text{mK}$)

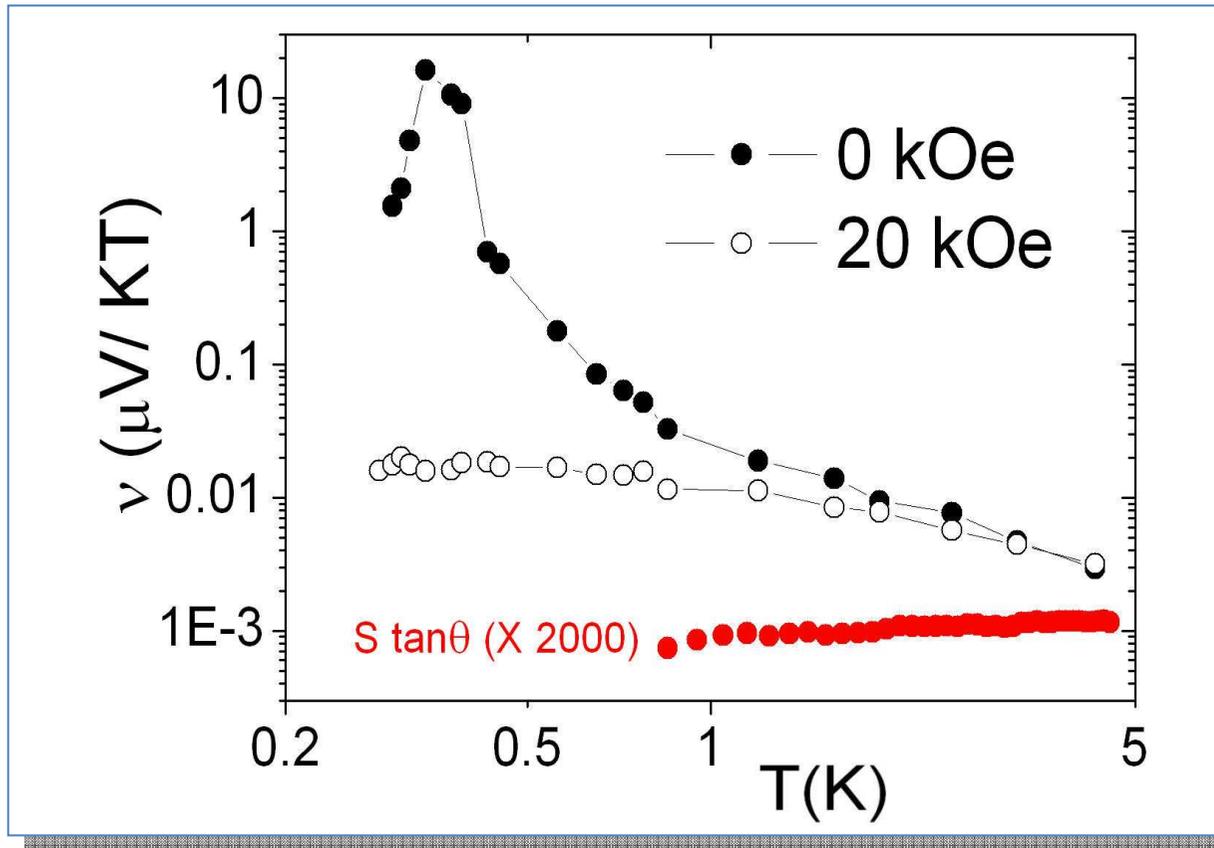


Deux échelles de champs symétriques par rapport à T_c



En dessous de T_c : B_{c2}
Au-dessus de T_c : B^*

L'effet Nernst de l'état normal est négligeable



$$\nu_n < S \tan \Theta,$$

Θ angle de Hall

Le temps de vie des paires de Cooper fluctuantes :

$$\tau_{GL} = \tau_{qp} \left(\frac{\xi}{l_e} \right)^2$$

Source de l'effet Nernst au-dessus de T_c

- La dépendance en température du maximum dans le signal Nernst est contrôlé par la longueur de corrélation.
- Nous avons vérifié que la contribution des électrons normaux est négligeable.
- Il n'y a aucune raison de croire qu'il existe, au-dessus de T_c , un régime contrôlé uniquement par les fluctuations de phase.
- Les paires de Cooper fluctuantes, décrites par des théories dans l'approximation Gaussienne, semblent être à l'origine du signal Nernst observé.

Théorie des fluctuations d'amplitude et de phase du paramètre d'ordre dans l'approximation gaussienne

(I. Ussishkin et al. Phys. Rev. Lett. 89, 287001 (2002))

En dimension 2 et à faibles champs magnétiques :

$$\alpha_{xy}^{SC} = \frac{1}{6\pi} \frac{k_B e}{\hbar} \frac{\xi_d^2}{\ell_B^2}$$

Quantum de conductivité thermoélectrique
(21 nA/K)

Nous avons $\sigma_{xx} > 10^3 \sigma_{xy}$ et $\sigma^{SC} < 10^{-1} \sigma_{xx}$ donc $\frac{\nu}{R_{square}} = \frac{\alpha_{XY}^{SC}}{B}$

On utilise la longueur de corrélation BCS :

avec $v_F \ell = 4.35 \times 10^{-5} m^2 s^{-1}$

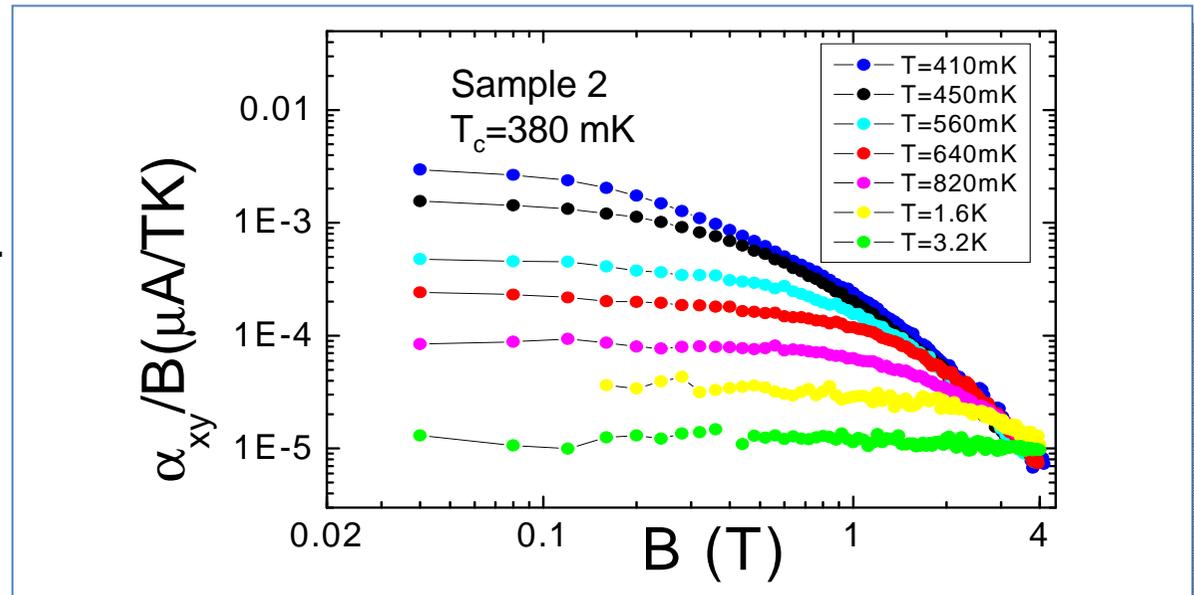
Marnieros (2000)

Donc nous avons une prédiction précise

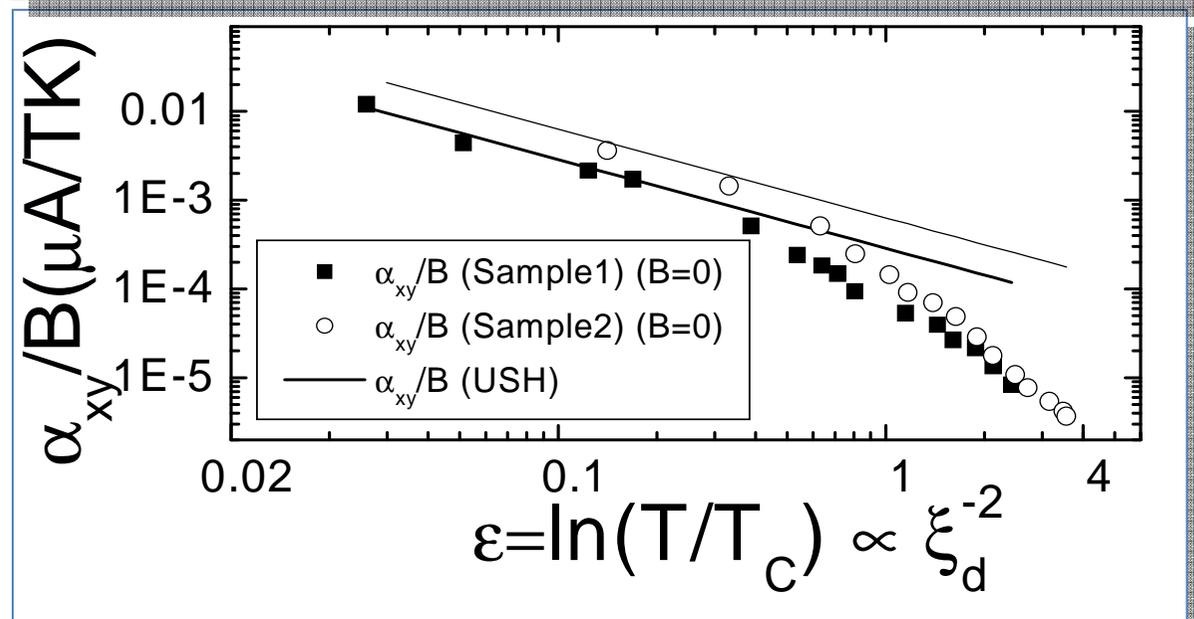
$$\frac{\alpha_{xy}}{B}_{USH} = \left(\frac{k_B e^2}{6\pi \hbar^2} \right) \cdot \xi_d^2$$

Comparaison avec la théorie

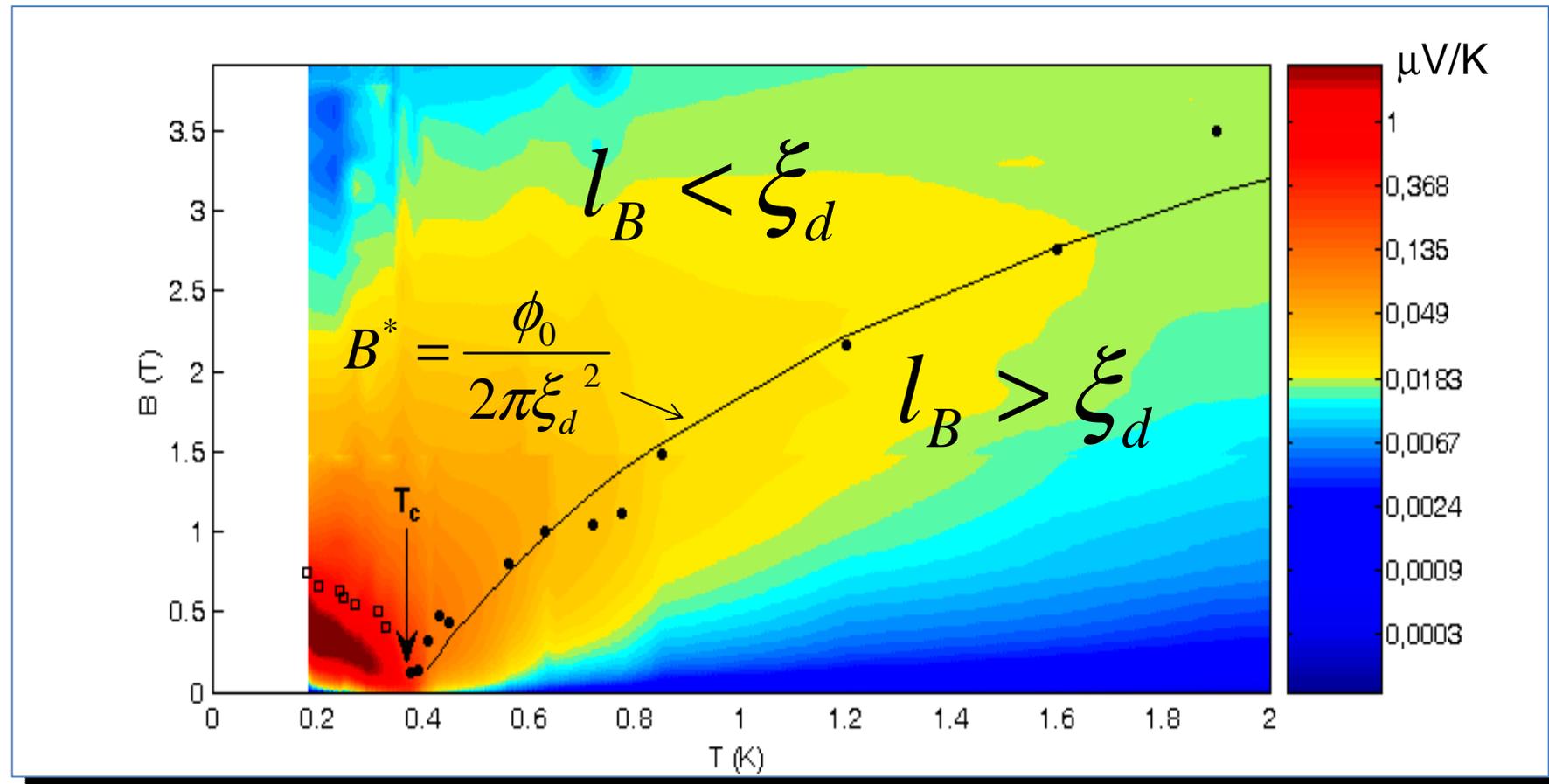
$\frac{\alpha_{XY}^{SC}}{B}$ est indépendant du champ magnétique à bas champ.



L'amplitude du signal est en accord avec la théorie USH près de T_c pour $B=0$.



Le champ caractéristique B^*



$$l_B = \sqrt{\frac{\phi_0}{2\pi B}} \quad B = \frac{\phi_0}{2\pi l_B^2}$$

Plan de l'exposé

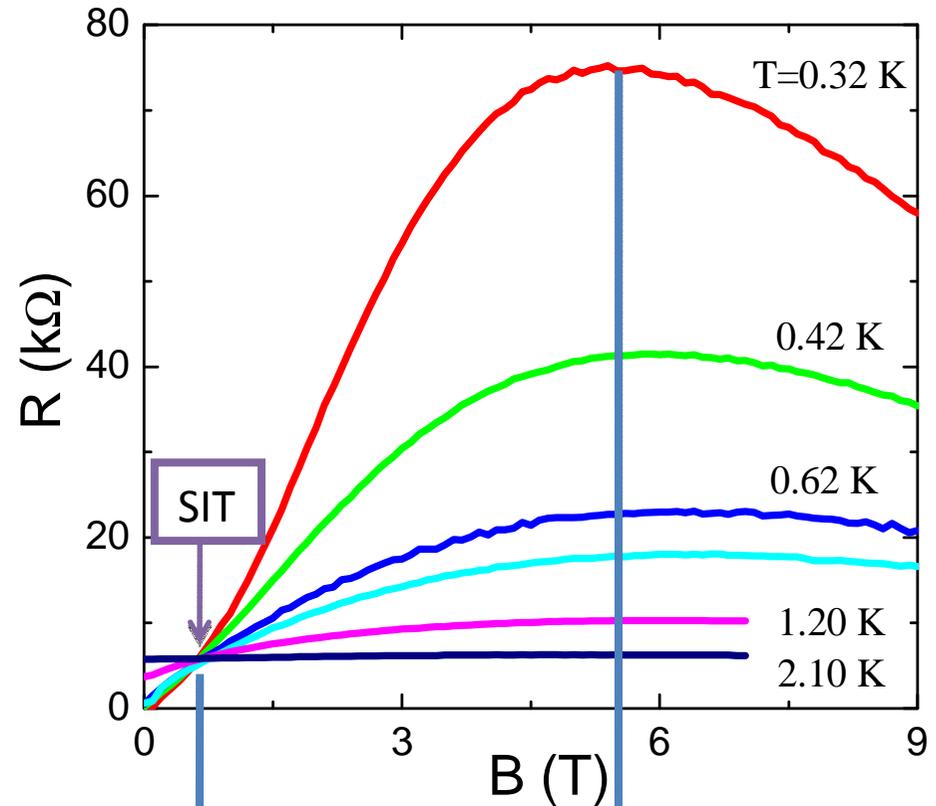
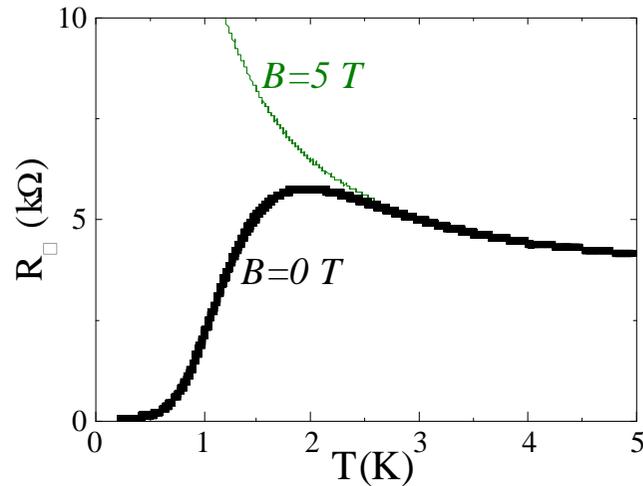
i. Effet Nernst et dispositif expérimental

ii. Etude des fluctuations supraconductrices dans $\text{Nb}_{0.85}\text{Si}_{0.15}$

iii. Etude des fluctuations supraconductrices dans InOx

Effet Nernst dans InO_x

- M. A. Paalanen et al. Phys. Rev.Lett. 69, 1604 (1992).
- V. F. Gantmakher et al. JETP Lett. 61, 606 (1995).
- G. Sambandamurthy et al. Phys. Rev. Lett. 92, 107005 (2004).
- V. F. Gantmakher, et al. JETP Lett. 71, 160 (2000).



■ Faible densité de porteurs : $n=10^{21} \text{ cm}^{-3}$

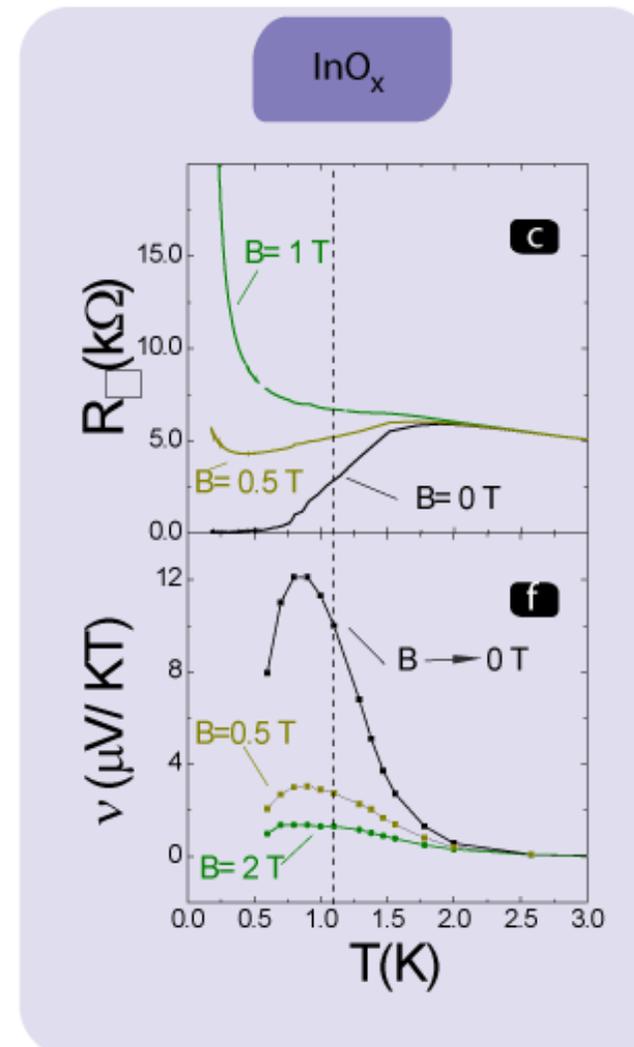
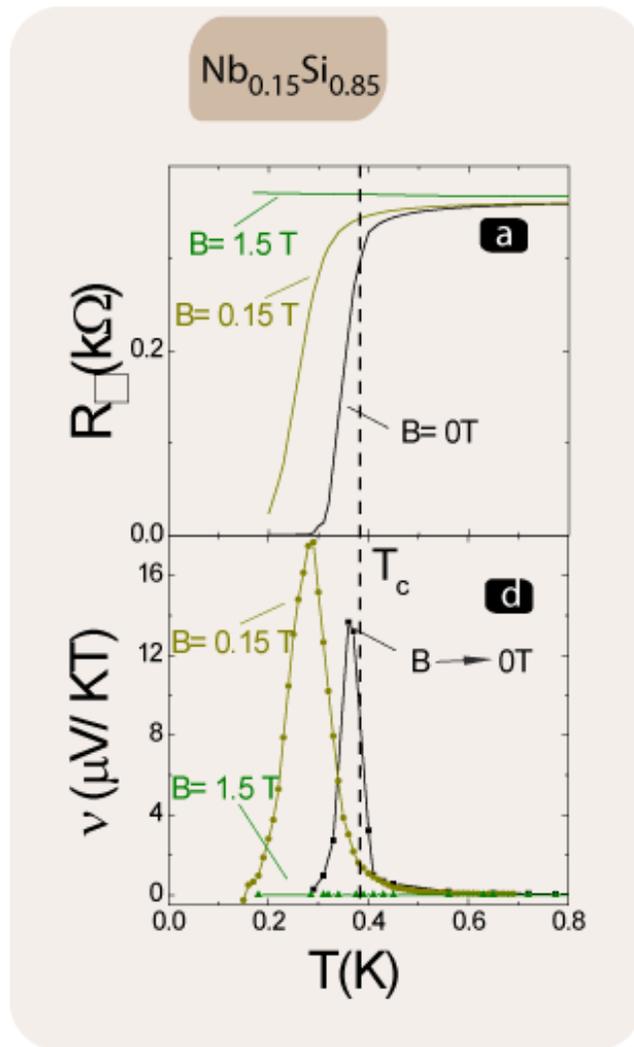
■ Résistance carrée élevée



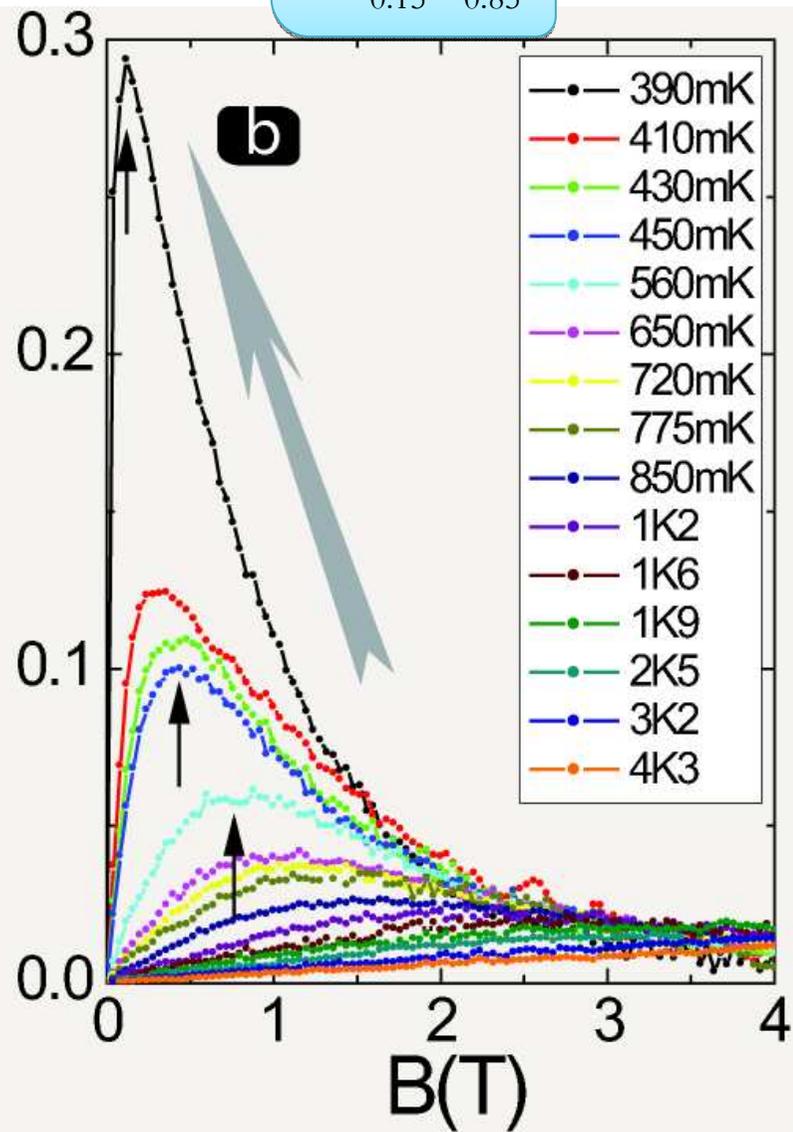
Faible rigidité de phase



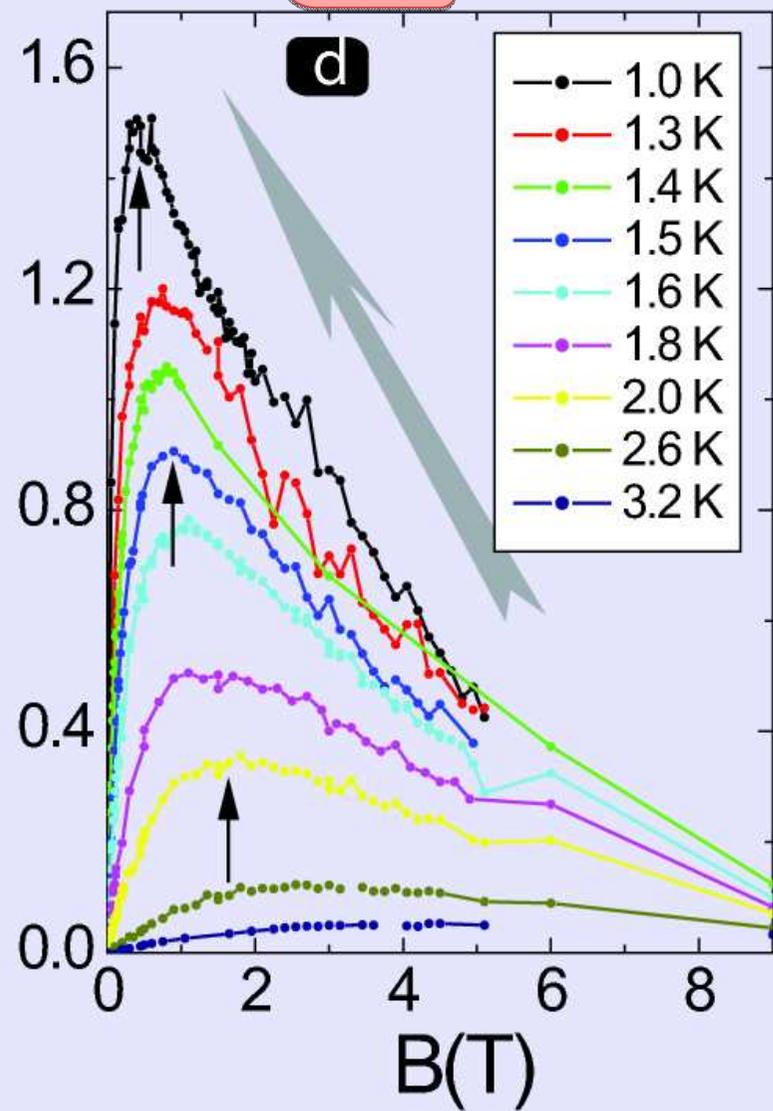
Comparaison d' InO_x avec $\text{Nb}_{0.15}\text{Si}_{0.85}$



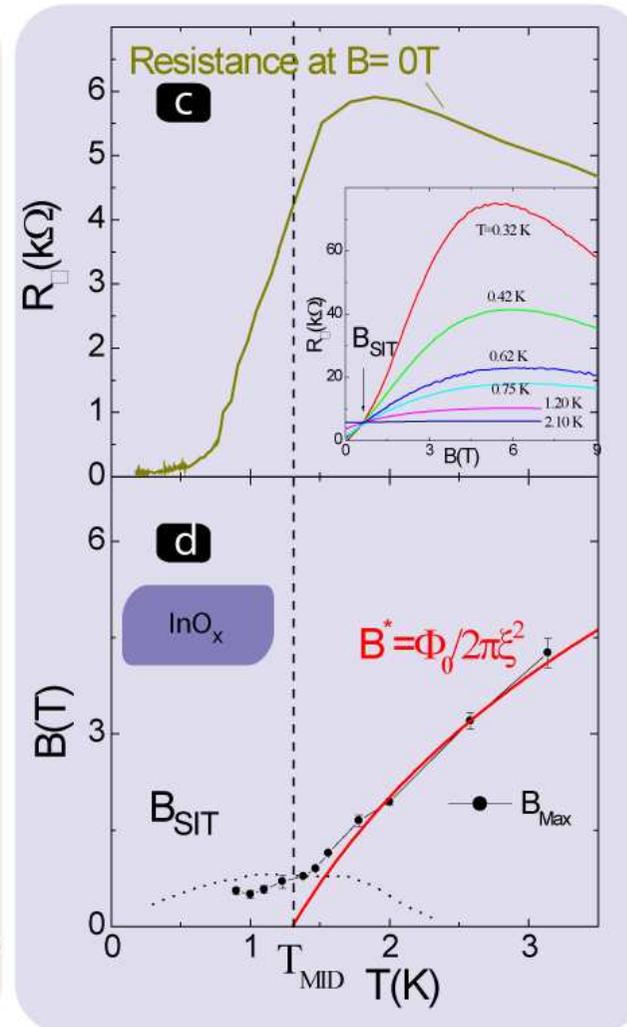
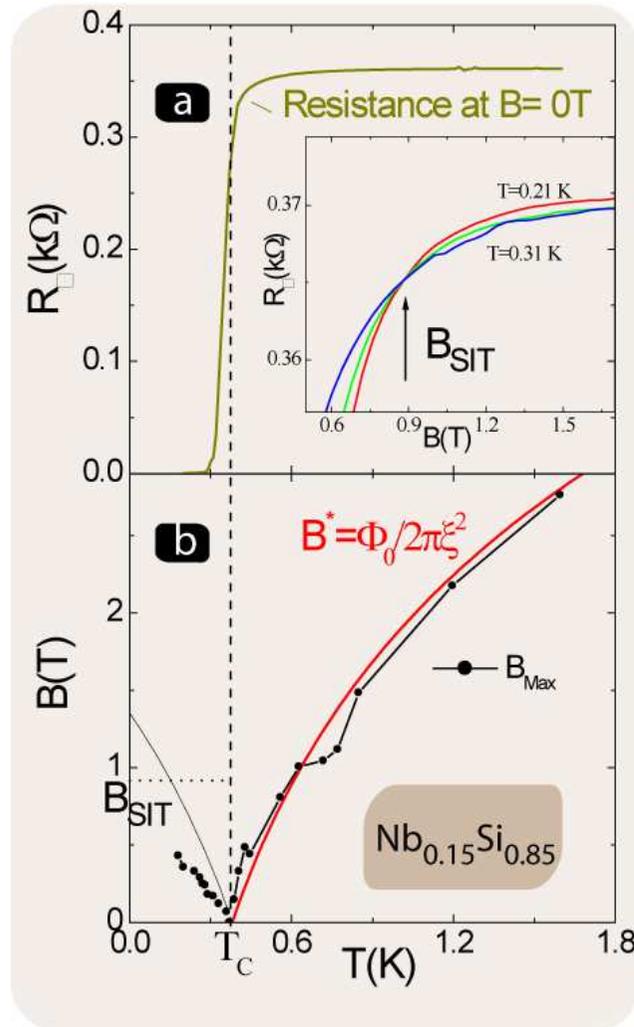
$\text{Nb}_{0.15}\text{Si}_{0.85}$



InO_x



InO_x : La longueur de corrélation ne diverge pas à T_c



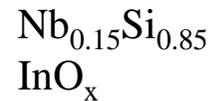
$$\xi_0 = 8.4 \pm 0.2 \text{ nm and } T_c = 1.2 \text{ K}$$

Conclusion

L'effet Nernst permet de suivre les fluctuations supraconductrices jusqu'à $10T_c$ et $4H_{C2}$.

La théorie basée sur les fluctuations d'amplitude du paramètre d'ordre décrit qualitativement les données.

Le champ critique fantôme est facilement identifiable dans :



InO_x : grand régime de fluctuations pas de signal associé au liquide de vortex.

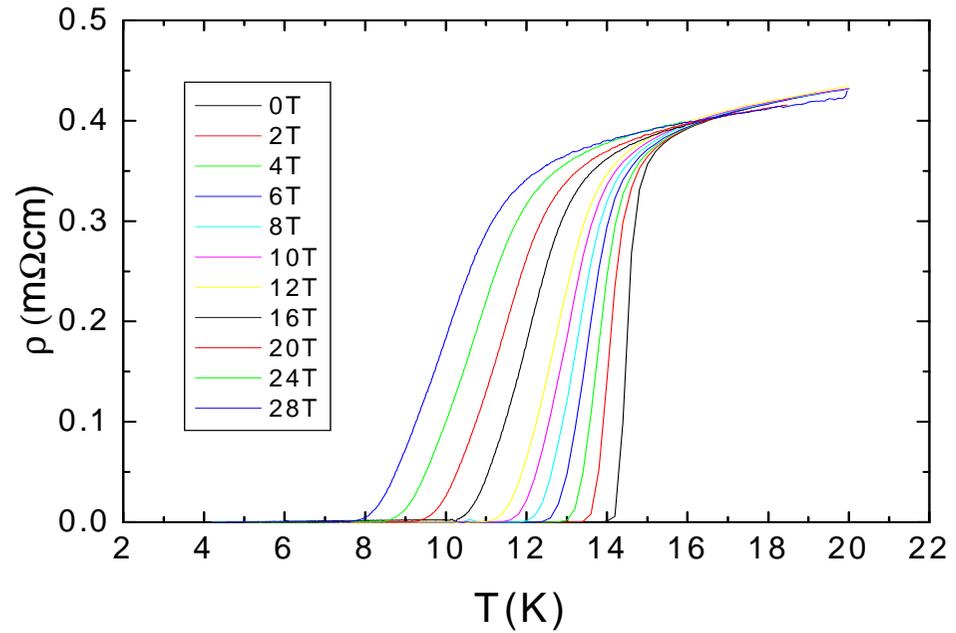
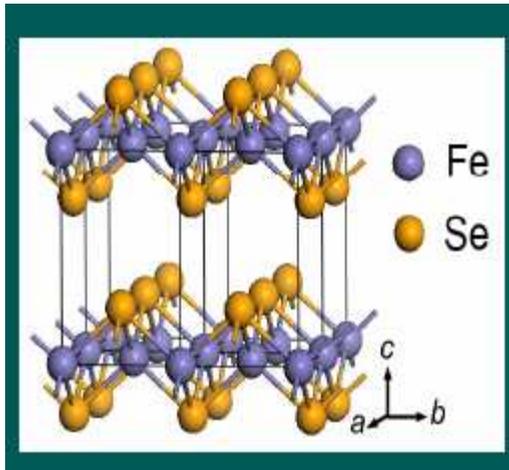
Plan de l'exposé

i. Effet Nernst et dispositif expérimental

ii. Etude des fluctuations supraconductrices dans $\text{Nb}_{0.85}\text{Si}_{0.15}$

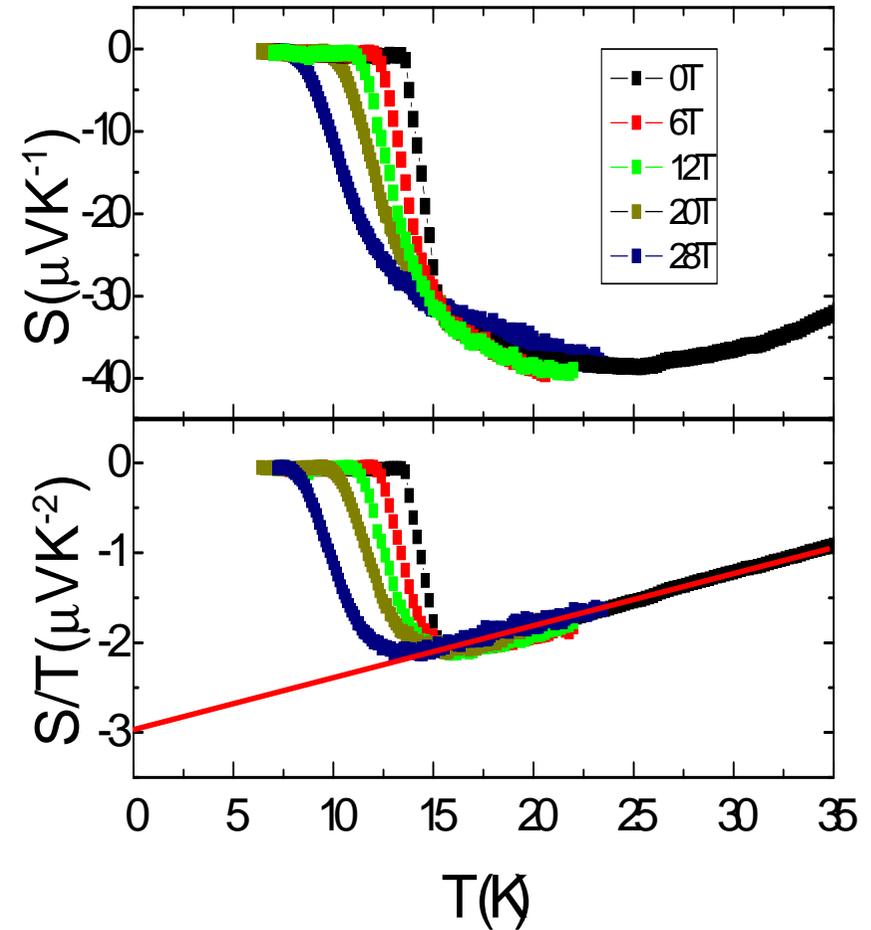
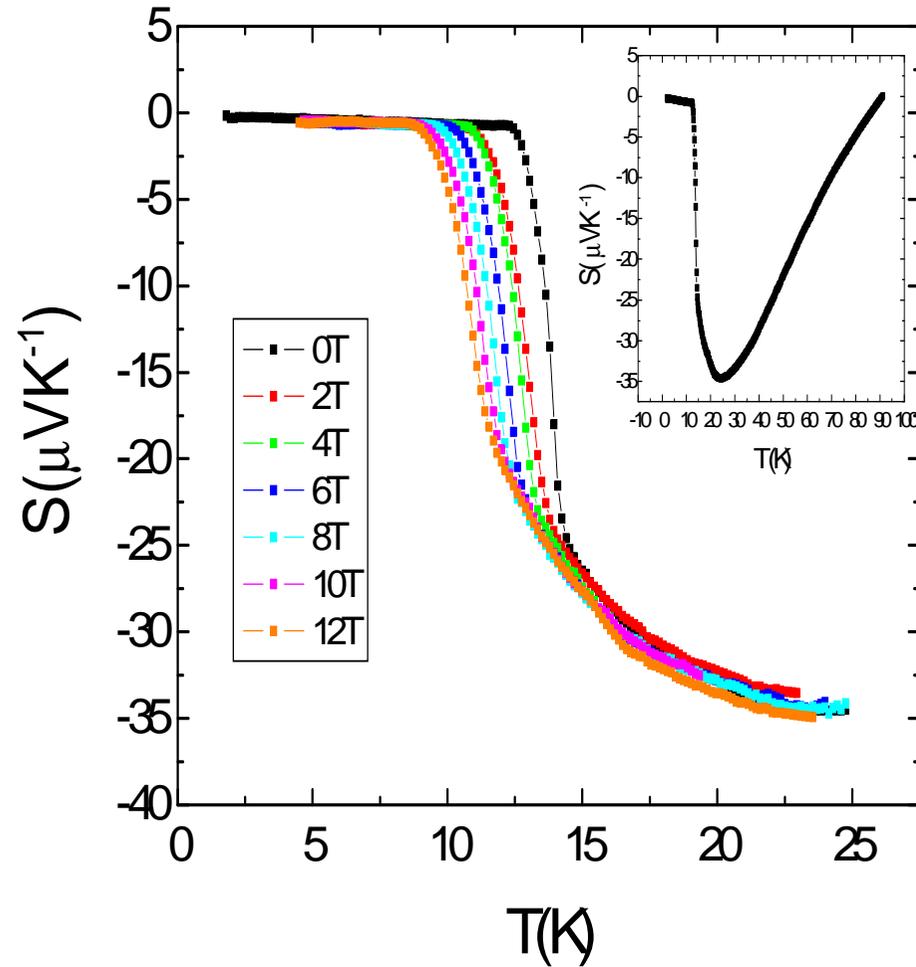
iii. Etude des fluctuations supraconductrices dans InOx

iv. Mesures thermoélectriques dans $\text{FeSe}_{0.4}\text{Te}_{0.6}$



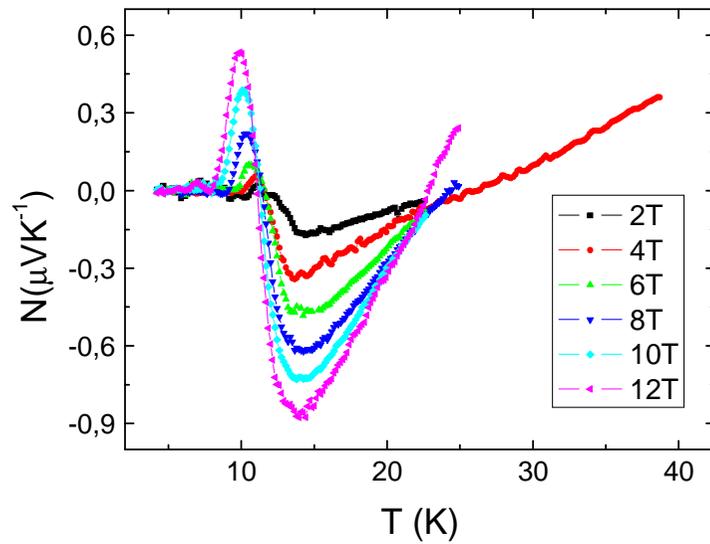
Dr. C.S.Yadav
Dept. of Condensed Matter Physics &
Material Science
Tata Institute of Fundamental Research
Mumbai

Coefficient Seebeck



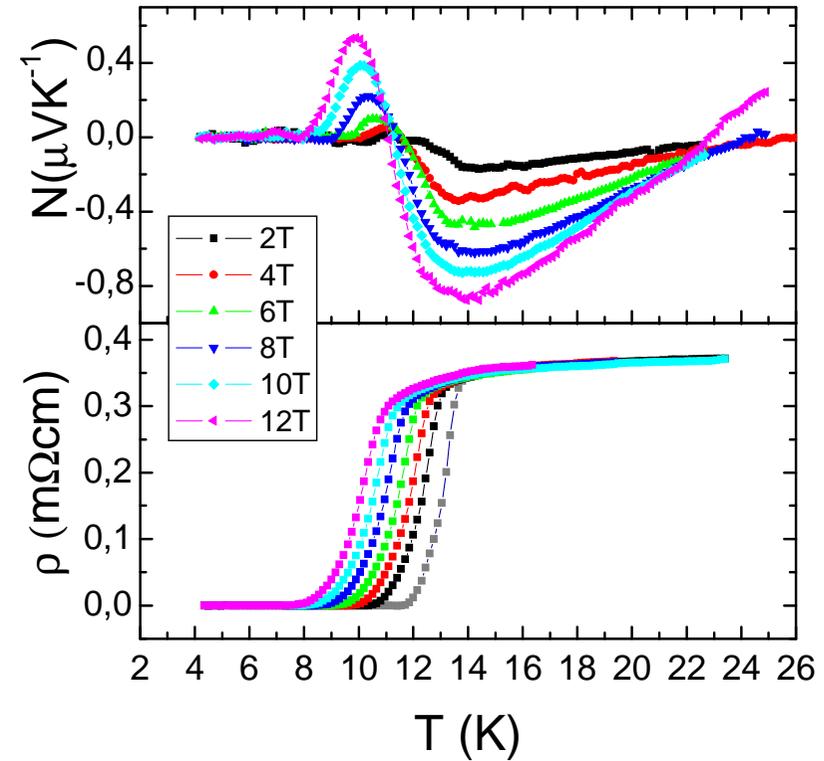
S/T est proportionnel à $1/T_F$
L'extrapolation à 0K donne -3 (μVK^{-2}), $T_F=150\text{K}$

Coefficient Nernst



-observation d'un signal Nernst positif dû au mouvement des vortex.

-le signal Nernst de la phase normal est négatif et augmente linéairement avec le champ magnétique.



Résistivité

