

## Etude de la magnétorésistance de composés ferromagnétiques $\text{Cr}_3\text{Se}_{4-x}\text{Te}_x$ ( $x = 2,5$ et $x = 3$ )

D. BABOT ET M. CHEVRETON

*Laboratoire d'Etude des Matériaux, ERA 602, Bâtiment 303, INSA, 20, avenue Albert-Einstein, 69621 Villeurbanne Cédex, France*

Received October 15, 1979

On étudie les magnétorésistances longitudinale et transversale de deux composés ferromagnétiques de la famille  $\text{Cr}_3\text{Se}_{4-x}\text{Te}_x$ . Les mesures, qui portent sur un échantillon polycristallin ( $x = 3$ ) et sur une plaquette monocristalline ( $x \approx 2,5$ ), sont effectuées par la méthode des pointes entre 5 et 300 K, dans un champ magnétique de 0 à 50 kOe. Les magnétorésistances observées sont négatives quelles que soient les valeurs de la température et du champ. Les différentes courbes obtenues  $-(\Delta\rho_{\perp}/\rho) = f(T)$  et  $-(\Delta\rho_{\parallel}/\rho) = f(T)$  comportent toutes un pic très prononcé au voisinage de la température de Curie. Ce maximum approche  $10^{-1}$  pour  $H = 49$  kOe. Les résultats sont discutés en fonction de l'évolution de la composante magnétique  $\rho_m$  de la résistivité. La réduction de la résistivité électrique sous l'action du champ magnétique est étroitement liée à la diminution du désordre thermique des spins.

Longitudinal and transverse magnetoresistances are studied on two ferromagnetic compounds in the  $\text{Cr}_3\text{Se}_{4-x}\text{Te}_x$  series. Measurements are carried out on a polycrystalline sample ( $x = 3$ ) and on a small monocrystalline plate ( $x \approx 2.5$ ), with the four-point probe method, at temperatures between 5 and 300 K in a variable 0-50 kOe magnetic field. For each temperature, in the whole magnetic field range, both magnetoresistances are negative. All curves  $-(\Delta\rho_{\perp}/\rho_0) = f(T)$  and  $-(\Delta\rho_{\parallel}/\rho_0) = f(T)$  have a pronounced peak in the vicinity of the Curie temperature. This maximum approaches  $10^{-1}$  for  $H = 49$  kOe. The results are discussed in terms of the magnetic component variation of the resistivity. The electrical resistivity reduction is closely related to decrease of the thermal spin disorder.

### Introduction

A partir du composé binaire  $\text{Cr}_3\text{Se}_4$ , nous avons montré qu'il est possible de substituer en toutes proportions le tellure au sélénium (1, 2) en conservant la même structure lacunaire ordonnée  $M_3 \square X_4$  (3).

En étudiant la résistivité électrique entre 4,2 et 320 K (4), on a mis en évidence un brusque changement de pente sur les courbes  $\rho = f(T)$  des différents composés  $\text{Cr}_3\text{Se}_{4-x}\text{Te}_x$  ( $0 < x \leq 4$ ). Les mesures d'aimantation par la méthode d'extraction axiale ont montré que les anomalies de

résistivité électrique sont situées au voisinage immédiat des températures de transition: températures de Curie pour  $x > 0,5$ , températures de Néel pour  $x \leq 0,5$  (4, 5). Avec les composés ternaires  $\text{Cr}_3\text{Se}_{4-x}\text{Te}_x$  on dispose de produits ferromagnétiques dont on peut choisir la température  $T_c$  entre 75 et 319 K en jouant sur la teneur  $x$  en tellure. Nos résultats montrent également que dans ces composés les porteurs responsables des propriétés électriques sont sensibles à l'établissement de l'ordre magnétique.

Nous avons approfondi l'étude de cette

dernière propriété par des mesures électriques sous champ magnétique et nous présentons ici les résultats obtenus en magnétorésistance transversale et longitudinale sur deux échantillons, dont un monocristal, au voisinage de la composition  $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$ .

### Technique expérimentale

Nous avons conçu et construit entièrement un appareillage permettant d'étudier la magnétorésistance (et l'effet Hall) à des températures comprises entre 5 et 320 K dans un champ magnétique pouvant atteindre 50 kOe, obtenu à l'intérieur d'un solénoïde supraconducteur.

#### 1. Enceintes cryogéniques (Fig. 1)

Le cryostat à hélium est complété par un anticryostat dont le rôle est de maintenir l'échantillon étudié à des températures supérieures à celle de l'hélium liquide. Le corps du cryostat est composé d'une double enveloppe en acier inoxydable austénitique, ménageant une garde de vide, et d'un écran en cuivre poli, nickelé, très bon conducteur thermique. Un pot d'azote liquide de 5 litres permet, par convection, de refroidir le pot à hélium qui contient la bobine supraconductrice. L'entretien de l'alimentation en azote liquide est contrôlé automatiquement grâce à deux sondes de niveau. L'anticryostat comprend une double enveloppe en acier inoxydable, non magnétique. La cellule de mesure est située au fond de l'enveloppe interne où règne une faible pression d'hélium, destinée à homogénéiser la température au niveau de l'échantillon.

#### 2. Solénoïde supraconducteur

Le matériau supraconducteur utilisé est un alliage niobium-titane (60% de niobium, 40% de titane). Le champ maximal que nous avons obtenu à 4,2 K est de 53,2 kOe; son homogénéité au centre est de  $10^{-3}$  dans une sphère de  $1 \text{ cm}^3$ .

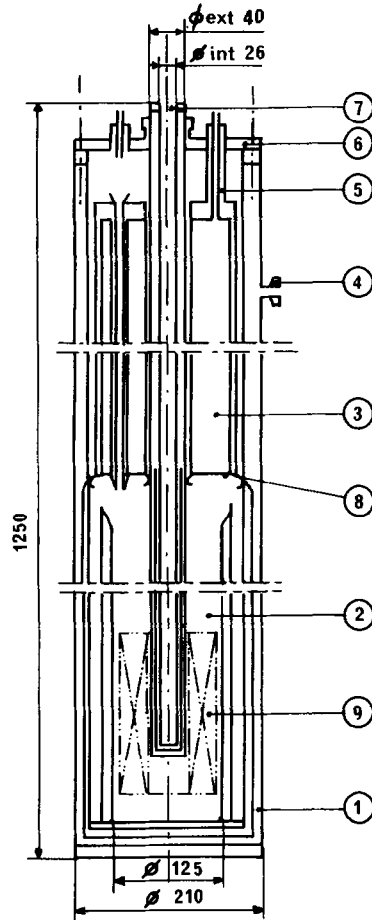


FIG. 1. Enceintes cryogéniques: (1) enveloppe extérieure avec écran thermique; (2) pot à hélium liquide; (3) pot à azote liquide; (4) raccord de pompage; (5) orifice d'alimentation en azote liquide; (6) bride supérieure du cryostat; (7) anticryostat; (8) contact thermique à 77 K; (9) solénoïde supraconducteur.

#### 3. Régulation de la température

En agissant d'une part sur les échanges thermiques à travers la garde de vide de l'anticryostat, d'autre part sur la puissance (10 W au maximum) dissipée dans une résistance bobinée sur la cellule de mesure (Fig. 2), nous avons résolu le problème du contrôle de la température et de sa stabilisation. La stabilité au niveau de l'échantillon est assurée à 0,2 degrés près, aussi bien à 4,2 K qu'à 300 K.

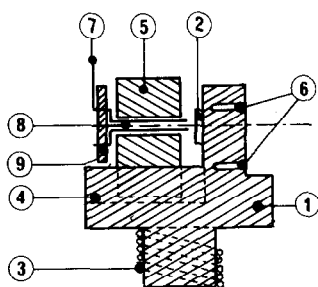


FIG. 2. Cellule de mesure de la magnétorésistance sur monocristaux: (1) socle; (2) monocristal; (3) élément chauffant; (4) glissière; (5) cavalier; (6) trous borgnes pour thermocouples; (7) électrode; (8) perle d'alumine; (9) disque de téflon.

#### 4. Préparation et forme des échantillons

Les composés étudiés sont préparés à partir du mélange des éléments très purs, scellés dans des tubes de silice qui subissent deux traitements thermiques de quelques jours à  $1000^\circ\text{C}$ , séparés par un broyage d'homogénéisation. Par compression sous 8000 bars et frittage à  $1000^\circ\text{C}$  des produits en poudre obtenus, on réalise des échantillons polycristallins en forme de prismes carrés ( $3, 5 \times 3, 5 \times 5$  mm) qui sont utilisés pour mesurer la magnétorésistance. Ils servent également à des mesures d'effet Seebeck pour lesquelles les dimensions choisies satisfont aux conditions d'échange thermique. Les monocristaux, obtenus principalement par transport en phase vapeur, sont des plaquettes de quelques  $\text{mm}^2$  et d'épaisseur assez faible, de l'ordre de 0,1 mm.

#### 5. Cellules de mesure

Les mesures sont effectuées par la méthode des pointes. Deux cellules ont été réalisées, l'une pour étudier la magnétorésistance sur des échantillons polycristallins, l'autre sur des monocristaux. Leur conception a été étroitement conditionnée par la taille et la forme des échantillons.

(a) *Méthode des pointes.* Pour les mesures de magnétorésistance, la disposition des électrodes est identique à celle que

nous avons utilisée pour étudier la résistivité électrique (7, 8). Dans le cas de la magnétorésistance transversale on injecte par les pointes A et B (Fig. 3) un courant  $\vec{i}$  perpendiculaire au champ  $\vec{H}$  et on étudie la variation de la tension aux bornes des pointes C et D. Pour la mesure de la magnétorésistance longitudinale, le courant  $\vec{i}$  est injecté parallèlement à  $\vec{H}$ , par les pointes A et D.

(b) *Cellule pour monocristaux.* Cette cellule (Fig. 2) est constituée par l'assemblage de deux pièces en cuivre très pur "O.F.H.C." Un socle supporte le monocristal sur sa face verticale plane. L'échantillon est collé par un vernis, isolant électrique mais bon conducteur thermique (General Electric 7031). Une glissière à section carrée guide et fixe au socle un cavalier qui permet d'approcher les électrodes au contact de l'échantillon. Les pointes, constituées par des fils de tungstène de 0,2 mm de diamètre, sont guidées par une perle en alumine à quatre trous dont les centres sont répartis aux sommets d'un carré de 0,375 mm de côté. Le contact électrode-échantillon, réalisé en faisant glisser les pointes dans les canaux de la perle, est maintenu par une pression exercée en bout des pointes. Deux coudes à angle droit, sans raccord soudé, forment un ressort assurant une pression

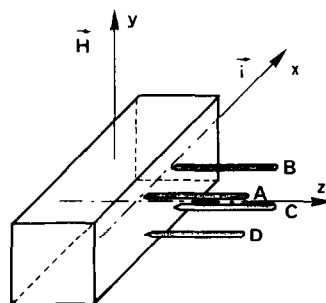


FIG. 3. Disposition des électrodes pour la mesure de la magnétorésistance transversale. Le courant est injecté par les électrodes A et B; la tension est mesurée par les électrodes C et D.

constante à partir d'un réglage initial effectué à l'aide d'un disque de téflon et de quatre vis.

(c) *Cellule pour échantillons polycristallins.* Dans cette seconde cellule, l'échantillon est collé sur la face plane horizontale du socle. Le cavalier, en forme de U, guidé par la glissière, entoure l'échantillon et le bloque contre la face verticale. Le système d'électrodes portées par le cavalier est identique à celui de la cellule pour monocristaux.

(d) *Conditions opératoires.* Pour la mesure et la régulation de la température, on utilise des thermocouples Au-0,03%Fe/chromel. Le courant continu est fourni par une alimentation stabilisée (0-200 mA). On détecte une variation  $\Delta\rho/\rho_0$  de l'ordre de  $10^{-5}$  en opposant au signal fourni par les électrodes de tension une tension calibrée, affichable par paliers de  $1 \mu\text{V}$ , produite par un générateur basse tension (Keithley 260).

### Etude de $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$ polycristallin

#### 1. Etude de la magnétorésistance en fonction du champ appliqué: isothermes

$$\Delta\rho/\rho_0 = (\rho_H - \rho_0)/\rho_0$$

Dans l'intervalle de température 5-300 K, les magnétorésistances longitudinale ( $\Delta\rho_{||}/\rho_0$ ) et transversale ( $\Delta\rho_{\perp}/\rho_0$ ) observées sont négatives.

Au-dessous de la température de Curie ( $T_c = 214 \text{ K}$ ), les variations de ces deux magnétorésistances présentent certaines différences. Sur les isothermes  $\Delta\rho_{||}(H)/\rho_0$  (Figs. 4, 5) on a une variation de type  $H^n$  avec  $0 < n < 1$  dans un large domaine de température. Une telle loi ne s'observe que dans un intervalle de température réduit pour  $\Delta\rho_{\perp}(H)/\rho_0$  (Figs. 6, 7). Pour les isothermes tracées au-dessous de 122 K,  $\Delta\rho_{\perp}/\rho_0$  varie comme  $H^n$  avec  $0 < n < 1$  en champs faibles et intermédiaires, puis comme  $H^n$  avec  $1 < n < 2$  en champs forts. Une variation de  $\Delta\rho/\rho_0 = f(H)$  de type  $H^n$

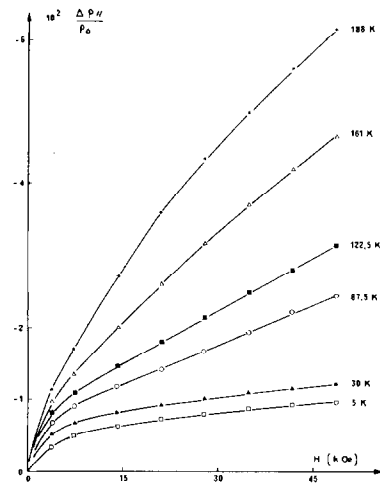


FIG. 4. Isothermes  $\Delta\rho_{||}/\rho_0$  obtenues sur  $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$  polycristallin pour  $T \leq 188 \text{ K}$ .

avec  $0 < n < 1$  a déjà été observée dans d'autres composés magnétiques, au-dessous de la température de transition  $T_c$  ou  $T_N$  (9 à 12).

Pour des températures plus élevées, à partir des isothermes 242,5 K (Fig. 7) et 243 K (Fig. 5), on observe des variations de type  $H^n$  avec  $1 < n < 2$ .

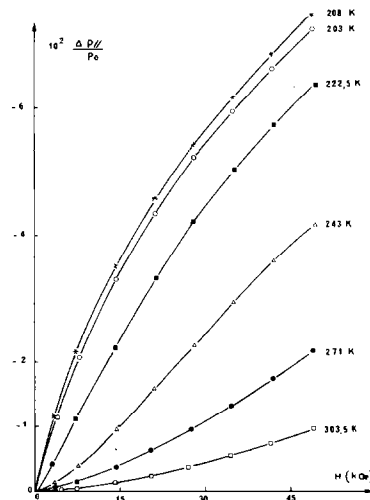


FIG. 5. Isothermes  $\Delta\rho_{||}/\rho_0$  obtenues sur  $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$  polycristallin au voisinage et au-dessus de la température de Curie ( $T_c = 214 \text{ K}$ ).

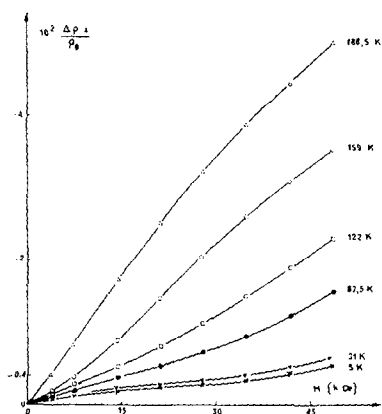


FIG. 6. Isothermes  $\Delta\rho_L/\rho_0$  obtenues sur  $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$  polycristallin pour  $T \leq 188,5$  K.

## 2. Etude de la magnétorésistance en fonction de la température

A partir des isothermes  $\Delta\rho(H)/\rho_0$  on peut tracer les courbes de variation de la magnétorésistance en fonction de la température (Figs. 8, 9). On met ainsi en évidence pour  $-(\Delta\rho_L(T)/\rho_0)$  comme pour  $-(\Delta\rho_{||}(T)/\rho_0)$  un maximum très prononcé à la température de transition magnétique. Les valeurs absolues des pentes de  $\Delta\rho(T)/\rho_0$  sont sensiblement différentes de part et d'autre de ce

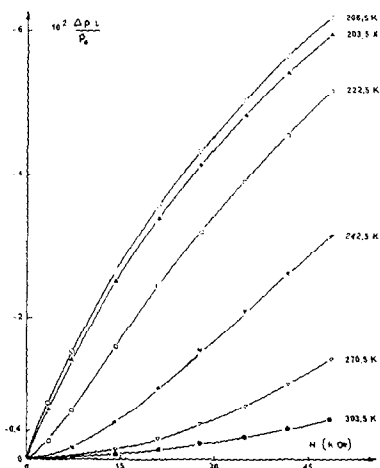


FIG. 7. Isothermes  $\Delta\rho_L/\rho_0$  obtenues sur  $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$  polycristallin au voisinage et au-dessus de la température de Curie ( $T_c \approx 214$  K).

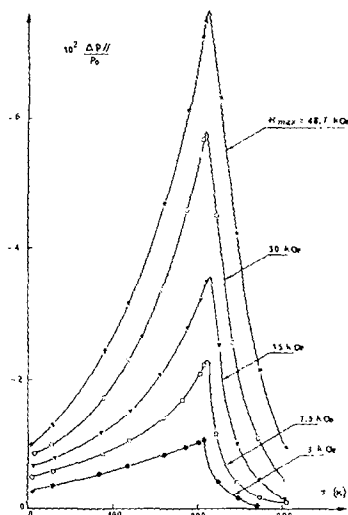


FIG. 8. Variation en fonction de  $T$ , de  $\Delta\rho_{||}/\rho_0$  observée sur  $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$  polycristallin entre 5 et 300 K, pour différentes valeurs du champ magnétique appliqué.

pic. Au-dessous de  $T_c$ , la décroissance est moins rapide et  $\Delta\rho(T)/\rho_0$  tend vers une limite non nulle quand  $T$  tend vers 0 K.

## Etude d'un échantillon monocristallin

Nous avons pu réaliser une étude de magnétorésistance sur un monocristal en

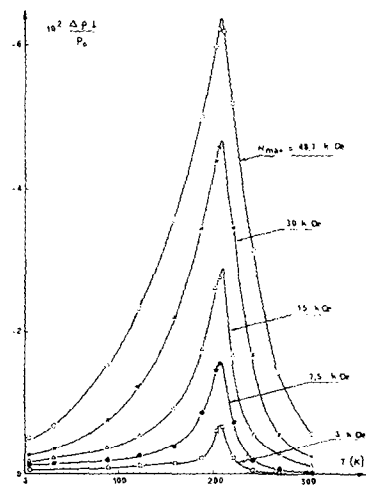


FIG. 9. Variation en fonction de  $T$  de  $\Delta\rho_L/\rho_0$  observée sur  $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$  polycristallin entre 5 et 300 K, pour différentes valeurs du champ magnétique appliqué.

forme de plaquette hexagonale, d'apparence non maclée, de 1,8 mm dans la plus grande dimension, obtenu par transport en phase vapeur à l'aide de chlorure d'ammonium. Le mélange de départ était constitué de 1,9 g de poudre de  $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$  et de 35 mg de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . L'ampoule de silice ( $\phi = 12$  mm,  $L = 20$  cm) était chauffée pendant 9 jours dans un gradient de température (1050–950°C) et les cristaux étaient recueillis à l'extrémité froide de l'ampoule après un transport inverse.

### 1. Etude de la résistivité électrique

Nous avons mesuré la résistivité  $\rho$  du monocristal au cours de remontées en température entre 5 et 300 K. Sur la courbe  $\rho = f(T)$  (Fig. 10) on observe un changement brusque de la pente. Les prolongements des parties quasi linéaires, de part et d'autre de cette rupture, se coupent en un point correspondant à une température  $T_R = 162$  K. D'après les observations antérieures sur les composés  $\text{Cr}_3\text{Se}_{4-x}\text{Te}_x$  (4) nous savons que  $T_R$  se trouve au voisinage de la température de Curie, et la courbe  $T_c = f(x)$  nous montre que l'échantillon monocristallin étudié ici est moins riche en tellure que la poudre de départ. Sa composition correspond sensiblement à la formule  $\text{Cr}_3\text{Se}_{1,5}\text{Te}_{2,5}$ .

L'influence de la polycristallinité sur la résistivité n'apparaît vraiment qu'aux très basses températures. Au-dessus de 80 K,

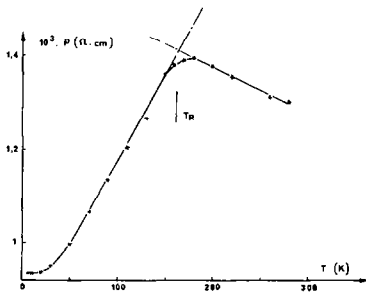


FIG. 10. Variation de la résistivité électrique, entre 5 et 300 K, du monocristal ( $\text{Cr}_3\text{Se}_{1,5}\text{Te}_{2,5}$ ) étudié en magnétorésistance.

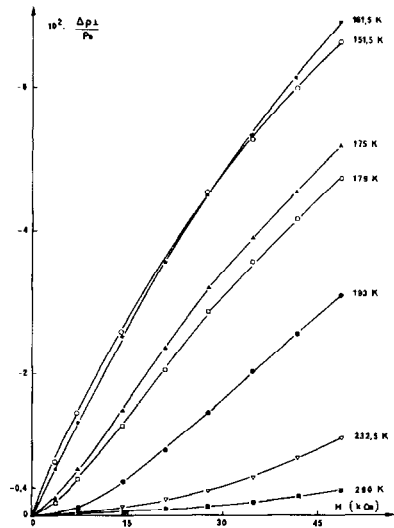


FIG. 11. Isothermes  $\Delta\rho_{\perp}/\rho_0$  obtenues sur le monocristal  $\text{Cr}_3\text{Se}_{1,5}\text{Te}_{2,5}$  au voisinage et au-dessus de la température de Curie ( $T_c \approx 162$  K).

la valeur de  $\rho$  est du même ordre de grandeur pour le monocristal que pour les poudres de composition voisine (4). A 4,2 K, par contre, la résistivité résiduelle est beaucoup plus faible dans le monocristal.

### 2. Etude de la magnétorésistance

Très au-dessus du point de Curie ( $T \geq 193$  K) les magnétorésistances  $\Delta\rho_{\perp}(H)/\rho_0$  et  $\Delta\rho_{\parallel}(H)/\rho_0$  varient comme  $H^n$  avec  $1 < n < 2$ . Sur la figure 11 sont représentées les isothermes  $\Delta\rho_{\perp}(H)/\rho_0$ . Dès que l'on s'approche de  $T_c$  (voisin de 162 K) elles suivent d'abord en champs faibles une loi en  $H^n$  avec  $1 < n < 2$  puis, après un point d'inflexion, une loi en  $H^n$  avec  $0 < n < 1$  pour  $H > 15$  kOe.

Au-dessous du point de Curie (Fig. 12) les isothermes sont de type  $H^n$  avec  $0 < n < 1$  dans tout l'intervalle de champ utilisé.

Les courbes  $-(\Delta\rho_{\perp}(T)/\rho_0)$  et  $-(\Delta\rho_{\parallel}(T)/\rho_0)$  à champ constant présentent un maximum très prononcé à 160 K (Figs. 13, 14) et confirment ainsi la présence d'une transition ferro-paramagnétique au voi-

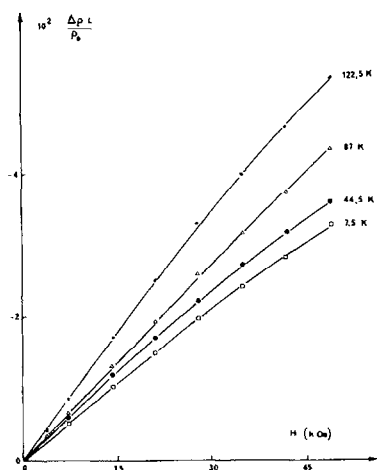


FIG. 12. Isothermes  $\Delta\rho_L/\rho_0$  obtenues sur le monocristal  $\text{Cr}_3\text{Se}_{1,5}\text{Te}_{2,5}$  au-dessous de la température de Curie ( $T_C \approx 162$  K).

sinage de cette température, comme le laissait déjà prévoir la courbe  $\rho = f(T)$ .

### 3. Etude aux rayons X

A partir d'un fragment du cristal étudié en résistivité et en magnétorésistance, nous avons déterminé le paramètre  $b$  de la maille

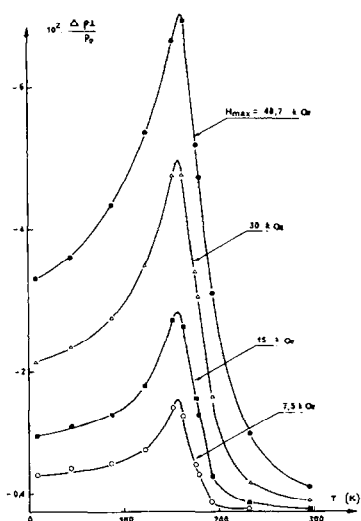


FIG. 13. Variation de  $\Delta\rho_L/\rho_0$  du monocristal  $\text{Cr}_3\text{Se}_{1,5}\text{Te}_{2,5}$  entre 5 et 300 K, pour différentes valeurs du champ magnétique appliqué.

monoclinique  $I$  à l'aide d'un diagramme d'oscillation autour de l'axe  $\vec{b}$ . Les paramètres  $a$ ,  $c$  et l'angle  $\beta$  ont été obtenus à partir d'un diagramme de Weissenberg de la strate équatoriale. Les valeurs obtenues sont:

$$\begin{aligned} a (\approx a'3^{1/2}) &= 6,64 \pm 0,01 \text{ \AA}; \\ b (\approx a') &= 3,82 \pm 0,015 \text{ \AA}; \\ c (\approx 2c') &= 12,19 \pm 0,01 \text{ \AA}; \\ \beta &= 90^\circ 30' \pm 15'. \end{aligned}$$

D'après les courbes  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $\beta = f(x)$ , obtenues pour différentes valeurs de  $x$  dans la famille de composés  $\text{Cr}_3\text{Se}_{4-x}\text{Te}_x$  (4), les valeurs précédentes conduisent à attribuer au monocristal étudié une composition correspondant sensiblement à la formule  $\text{Cr}_3\text{Se}_{1,5}\text{Te}_{2,5}$ , en accord avec les résultats obtenus en résistivité et en magnétorésistance.

### Discussion

#### 1. Influence du désordre des spins

L'évolution de la magnétorésistance dans  $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$  polycristallin indique nettement la présence de la transition ferro-paramagnétique. Nous avons montré (4) que dans ces composés comportant des

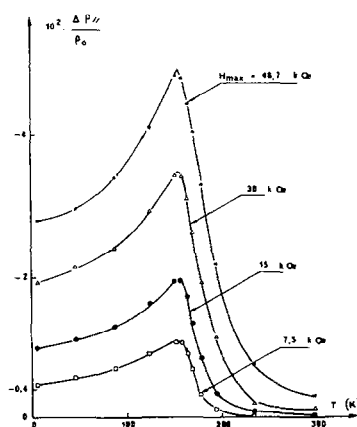


FIG. 14. Variation de  $\Delta\rho_{||}/\rho_0$  du monocristal  $\text{Cr}_3\text{Se}_{1,5}\text{Te}_{2,5}$  entre 5 et 300 K, pour différentes valeurs du champ magnétique appliqué.

ions magnétiques, les porteurs de charge sont diffusés non seulement par les impuretés et les vibrations du réseau, mais aussi par les hétérogénéités magnétiques.

La magnétorésistance négative traduit une diminution de la résistivité électrique, provoquée par une augmentation de la mobilité des porteurs. Le champ magnétique réduit en effet le désordre magnétique et la diffusion des porteurs.

A partir de 300 K, au fur et à mesure que  $T$  diminue et s'approche de  $T_c$ , l'augmentation de la susceptibilité magnétique  $\chi$  (loi de Curie-Weiss) rend plus efficace l'action du champ dans l'alignement des spins qui diffusent alors d'autant moins les porteurs de charge.

Dès que la température devient inférieure à  $T_c$  il apparaît des domaines qui, en l'absence de champ, possèdent une aimantation spontanée  $M_s$ . A l'intérieur de ces domaines subsiste une proportion de spins qui, sous l'action de l'agitation thermique, ne sont pas orientés parallèlement à  $\vec{M}_s$ . Leur alignement peut être provoqué par un champ magnétique appliqué qui entraîne alors une augmentation de l'aimantation suivant une loi (4)

$$M = M_s + \chi H, \quad (1)$$

dans laquelle  $\chi$  est une susceptibilité de type paramagnétique qui diminue avec  $T$  quand on s'écarte de  $T_c$ . Dans le domaine des températures intermédiaires, aux environs de 100 K, l'aimantation suit une loi de type

$$M = M_s + \chi H - \frac{a}{H^2}. \quad (2)$$

Aux plus basses températures et dans les champs élevés les isothermes  $M(H)$  sont de la forme:

$$M = M_s - \frac{a}{H^2}. \quad (3)$$

Ces deux dernières lois de variation témoignent de l'orientation progressive des

domaines ferromagnétiques (13) dont découlent une diminution de la diffusion des porteurs et une magnétorésistance négative, jusqu'aux températures les plus basses.

## 2. Etude de $\Delta\rho/\rho_m$

En admettant que la variation  $\Delta\rho = \rho_H - \rho_0$  était due essentiellement, dans les composés magnétiques, à la variation de la composante magnétique  $\rho_m$  de la résistivité, Kikoin et Igosheva (14, 15) ont montré qu'à partir de l'expression  $\rho_m(M)$  on pouvait obtenir une relation universelle pour  $\Delta\rho/\rho_m$ . En effet, si l'on admet la relation

$$\rho_m = a(M_{s,0}^2 - M_s^2) \quad (4)$$

on obtient dans le domaine paramagnétique:

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_m} = \frac{\rho_{m,H} - \rho_m}{\rho_m} = - \frac{M^2}{M_{s,0}^2}. \quad (5)$$

$M$  et  $M_{s,0}$  étant respectivement l'aimantation sous champ  $H$  et l'aimantation spontanée à 0 K.

A partir de la courbe  $\rho = f(T)$  (Fig. 15) de l'échantillon polycristallin, et en extrapolant dans le domaine ferromagnétique la partie linéaire observée pour  $T > 210$  K, on a ici la possibilité de déterminer la composante magnétique  $\rho_m$ . En considérant que la

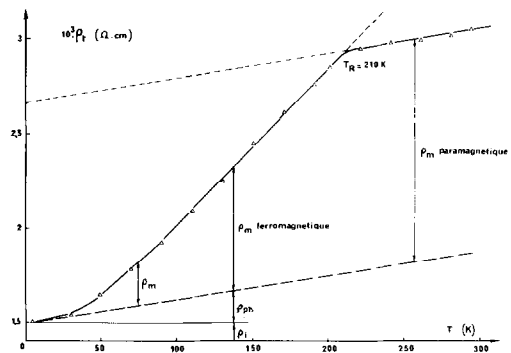


FIG. 15. Variation de la résistivité électrique entre 5 et 300 K de  $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$  polycristallin; détermination de la composante magnétique  $\rho_m$  de la résistivité totale  $\rho_t$ .



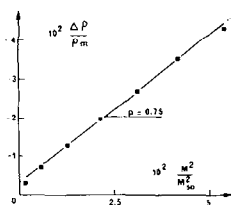


FIG. 16. Variation de  $(\rho_m - \rho_0)/\rho_m$  en fonction de  $M^2/M_{s,0}^2$  dans  $\text{Cr}_3\text{SeTe}_3$  polycristallin ( $T = 271$  K).

variation de la résistivité au-dessus de  $T_c$  est due seulement à la contribution des phonons, on peut séparer les différentes composantes de la résistivité totale  $\rho_t$ .

Nous avons calculé la variation  $\Delta\rho/\rho_m$  à 271 K en fonction de  $M^2/M_{s,0}^2$ . Dans l'intervalle de champ étudié (0–48 kOe) on obtient une droite ne passant pas par l'origine, de pente  $p = 0,75$  (Fig. 16). Il ne semble donc pas que la relation proposée par Kikoin *et al.* soit universelle comme l'avaient d'ailleurs montré Koshay et Maksimov (16).

### 3. Comparaison des résultats obtenus sur les deux types d'échantillons

En superposant les courbes  $-(\Delta\rho/\rho_0) = f(T)$  de façon à faire coïncider les températures où apparaît le pic, on met en évidence pour les deux échantillons étudiés des décroissances très voisines de  $-(\Delta\rho/\rho_0)$  au-dessus de  $T_c$ . Dans le domaine ferromagnétique, par contre, la décroissance de  $-(\Delta\rho/\rho_0)$  est beaucoup plus lente pour le monocristal que pour l'échantillon polycristallin.

### Conclusion

Dans tout l'intervalle de température où ont porté nos mesures (5–300 K), les magnétorésistances des composés  $\text{Cr}_3\text{Se}_{4-x}\text{Te}_x$  étudiés sont négatives. Les courbes  $\Delta\rho/\rho_0 = f(T)$  montrent nettement l'existence des transitions ferro-paramagnétiques. Le maximum de  $-(\Delta\rho/\rho_0) = f(T)$ , obtenu pour une température très voisine de  $T_c$ , peut être

interprété par la réduction maximale du désordre thermique des spins sous l'influence du champ magnétique appliqué.

Bien que la composition exacte du cristal étudié soit sensiblement différente de celle de l'échantillon polycristallin, cette étude, par la comparaison qu'elle permet entre le comportement des poudres et celui des monocristaux, confirme tout à fait la validité de nos résultats antérieurs (4, 7) obtenus avec des pastilles comprimées et frittées.

### Bibliographie

1. D. BABOT, Thèse, Lyon (1975).
2. D. BABOT ET M. CHEVRETON, "Communications, International Conference on Solid Compounds of Transition Elements, 3rd, Oslo, 16–20 juin 1969."
3. M. CHEVRETON, *Bull. Soc. Fr. Minéral. Cristallogr.* **90**, 592 (1967).
4. D. BABOT, M. WINTENBERGER, B. LAMBERT-ANDRON, ET M. CHEVRETON, *J. Solid State Chem.* **8**, 175 (1973).
5. D. BABOT, M. CHEVRETON, M. WINTENBERGER, ET B. LAMBERT-ANDRON, "Communications, International Conference on Solid Compounds Transition Elements, 4th, Genève, 9–13 avril 1973."
6. G. PEIX, Thèse Docteur-Ingénieur, Lyon (1976).
7. D. BABOT ET M. CHEVRETON, *J. Solid State Chem.* **8**, 166 (1973).
8. J. LAPLUME, *L'onde Élec.* **35**, 113 (1955).
9. C. F. VAN BRUGGEN, M. B. VELLINGA, ET C. HASS, *J. Solid State Chem.* **2**, 303 (1970).
10. E. SCHMIDBAUER, *Solid State Commun.* **12**, 507 (1973).
11. E. V. TALALAEVA, *Fiz. Tverd. Tela* **3** (2), 441 (1961); traduction: *Sov. Phys. Solid State* **3** (2), 322 (1961).
12. A. AMITH ET G. L. GUNSALUS, *J. Appl. Phys.* **40**, 1020 (1969).
13. A. HERPIN, "Théorie du Magnétisme," p. 831, Presses Univ. de France, Paris (1968).
14. I. K. KIKOIN ET T. N. IGOSHEVA, *J. Exp. Theor. Phys. USSR* **46**, 67 (1964); traduction: *Sov. Phys. JETP* **19** (1), 48 (1964).
15. I. K. KIKOIN ET T. N. IGOSHEVA, *J. Exp. Theor. Phys. USSR* **46**, 1923 (1964); traduction: *Sov. Phys. JETP* **19**, 1296 (1964).
16. G. KOSHAY ET L. MAKSIMOV, *Fiz. Metal. Metalloved.* **27** (6), 976 (1969); traduction: *Phys. Metals Metallogr.* **27** (6), 16 (1969).