



**HAL**  
open science

# Variation avec la pression des points de transition magnétiques des composés TCo<sub>2</sub> entre le cobalt et les terres rares

J. Voiron, D. Bloch

► **To cite this version:**

J. Voiron, D. Bloch. Variation avec la pression des points de transition magnétiques des composés TCo<sub>2</sub> entre le cobalt et les terres rares. *Journal de Physique*, 1971, 32 (11-12), pp.949-952. 10.1051/jphys:019710032011-12094900 . jpa-00207195

**HAL Id: jpa-00207195**

**<https://hal.science/jpa-00207195v1>**

Submitted on 4 Feb 2008

**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.

Classification  
 Physics Abstracts :  
 17.64

## VARIATION AVEC LA PRESSION DES POINTS DE TRANSITION MAGNÉTIQUES DES COMPOSÉS $TCo_2$ ENTRE LE COBALT ET LES TERRES RARES (\*)

J. VOIRON (\*\*) et D. BLOCH

Laboratoire d'Electrostatique et de Physique du Métal  
 Cédex n° 166, 38, Grenoble-Gare

(Reçu le 21 juin 1971)

**Résumé.** — On décrit un dispositif expérimental permettant de déterminer la variation avec la pression des points de transition magnétiques situés entre 4 et 300 °K, dans le domaine des pressions jusqu'à 100 kbar. On utilise ce dispositif pour l'étude de la variation avec la pression des transitions magnétiques du premier ordre entre les états ferro- ou ferrimagnétique et paramagnétique dans les composés à structure de Laves  $TbCo_2$ ,  $DyCo_2$ ,  $NdCo_2$ ,  $HoCo_2$  et  $ErCo_2$ .

**Abstract.** — An apparatus for the determination of the variation with pressure of the magnetic ordering temperatures in the one hundred kilobar range is described. Temperature can be between 4 and 300 °K. This apparatus is used for the determination of the effect of pressure on the first order magnetic transition temperature between ferro- or ferri-magnetic state and paramagnetic state encountered in the Laves phase compounds  $TbCo_2$ ,  $DyCo_2$ ,  $NdCo_2$ ,  $HoCo_2$  and  $ErCo_2$ .

Les composés intermétalliques, type phases de Laves,  $TCo_2$ , où T désigne une terre rare ou l'yttrium, possèdent des propriétés physiques particulièrement intéressantes. Ainsi, le moment du cobalt est induit par la terre rare. Il est nul dans le composé  $YCo_2$ , et maximum, avec une valeur voisine de  $1,05 \mu_B$ , dans  $GdCo_2$ . La susceptibilité paramagnétique ne suit ni une loi de Curie, ni une loi de Néel [1]. Elle peut cependant s'interpréter [2] selon un modèle simple qui tient compte de la nature induite des moments du cobalt. Dans plusieurs de ces composés les transitions magnétiques entre les états ordonnés et désordonnés sont du premier ordre [2]. Afin de les interpréter, nous avons entrepris de les étudier par des mesures notamment de chaleur spécifique et d'aimantation sous champ fort et sous pression. Nous rendons compte, dans ce Mémoire, de la variation avec la pression jusqu'à 80 kbar de leurs températures d'ordre magnétique. Auparavant nous décrivons l'appareillage mis au point afin de réaliser l'étude de cette variation.

**I. Dispositif expérimental.** — La pression est obtenue au moyen d'une enclume annulaire en carbure de tungstène (Fig. 1), type Basset-D. A. M. Les pistons et la chambre sont frettés par des couronnes en acier à durcissement structural, type maraging. Le

coefficient de dilatation du carbure étant plus faible que celui de l'acier les taux de serrage ont été déterminés de manière à ce que l'enclume fonctionne dans des conditions optimales à très basse température. La cellule porte-échantillon est en pyrophyllite (silicate hydraté d'aluminium). Elle est maintenue à l'intérieur de la chambre par des forces de frottement et grâce à deux bagues réalisées en téflon.

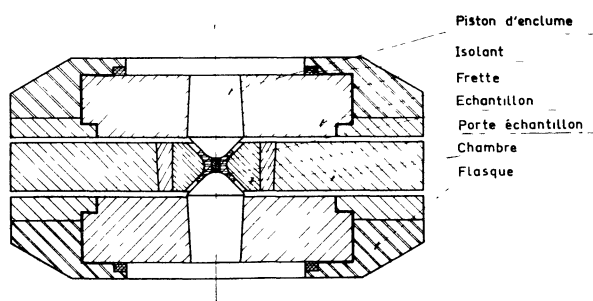


FIG. 1. — Enclume annulaire, type 100 kbar; le diamètre intérieur de la chambre est de 12,5 mm.

L'échantillon a la forme d'un tore de 6 mm de diamètre extérieur et de 4 mm de diamètre intérieur. Il est, suivant les cas, usiné par électro-érosion ou réalisé par compactage, des traces d'araldite étant utilisées comme liant. Il constitue le circuit magnétique d'un petit transformateur. Le circuit électrique est constitué de deux enroulements comportant chacun une vingtaine de spires formant des enroulements

(\*) Etude effectuée avec l'aide de la D. R. M. E.

(\*\*) Ce travail constitue un élément de la thèse de Doctorat d'Etat de J. Voiron, AO. C. N. R. S., N° 3864.

primaire et secondaire. Le fil utilisé a un diamètre de 1/10 mm. Des sorties de fil sont aménagées à travers les joints en téflon. On a obtenu les résultats les plus satisfaisants avec des passages traversés par des fils de cuivre torsadés. La mutuelle impédance présentée par les deux enroulements bobinés sur le tore est proportionnelle à la susceptibilité initiale. Elle est mesurée au moyen d'un pont électronique. La sensibilité est de 0,01  $\mu$ H.

Une presse de 300 tonnes de poussée (Fig. 2) transmet la force nécessaire pour obtenir une pression jusqu'à 100 kbar. Nous avons mis au point un système de régulation à cellule photo-électrique afin d'appliquer sur l'enclume une force ou bien constante ou bien lentement variable. Un capteur de forces, à jauges de contraintes, placé à l'extérieur du cryostat, à la température ordinaire, permet la régulation et

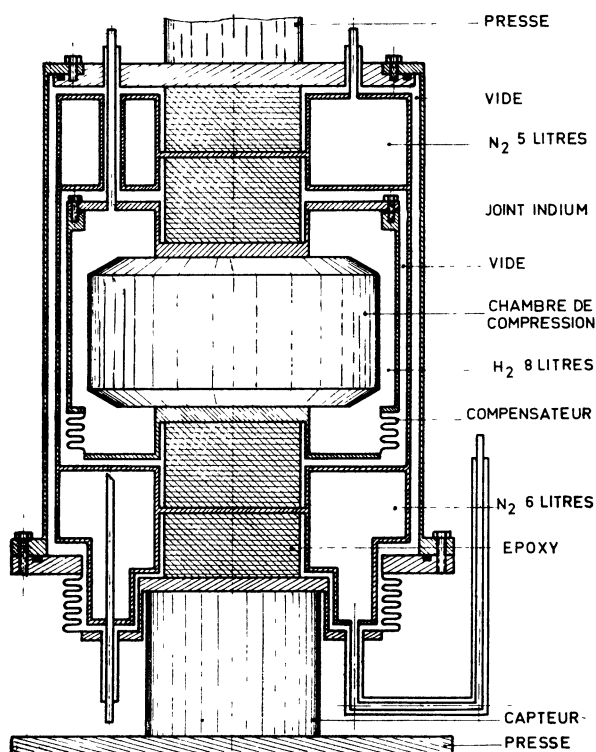


FIG. 2. — Cryostat pour les mesures sous pression jusqu'à 100 kbar, entre 4 et 300 °K.

la mesure de la force. L'enclume est placée dans un cryostat flexible. La force est transmise à travers un ensemble de disques de verre epoxy stratifié [3], possédant une faible conductibilité thermique et une bonne résistance mécanique. On notera que 80 litres d'azote liquide sont nécessaires pour porter l'ensemble à 77 °K. Il faut ensuite 30 litres d'hydrogène pour le refroidir jusqu'à 20 °K. On utilise enfin de l'hélium liquide. Une résistance de chauffage permet d'évaporer entièrement l'azote ou l'hydrogène avant d'introduire l'hydrogène ou l'hélium.

**II. Etalonnage de la pression.** — La pression dans la cellule d'expérience est définie à partir de la force appliquée sur l'enclume. Afin de déterminer la relation pression-force, on a mesuré la variation avec la force appliquée de la résistance de fils de bismuth, de thallium et de baryum placés dans la cellule de mesure. Celle-ci présente en effet, dans le domaine des pressions pouvant être obtenues dans la cellule des transitions de phase caractérisées par des discontinuités dans la résistivité. Celles-ci se produisent à des pressions assez bien connues. Nous avons adopté les valeurs suivantes : bismuth I-bismuth II ( $25,5 \pm 0,1$ ) kbar [4], thallium II-thallium III ( $37 \pm 0,4$ ) kbar [5], baryum I-baryum II ( $55 \pm 0,5$ ) kbar [6], bismuth III-bismuth V ( $77,5 \pm 1$ ) kbar [7] (Fig. 3). La reproductibilité de l'étalonnage pression-force appliquée est de l'ordre de 7 % à 25,5 kbar. Elle s'améliore lorsque la pression croît et atteint 1,5 % à 77 kbar. Afin de vérifier le bon fonctionnement du dispositif expérimental, nous avons déterminé la variation avec la pression de la température de Néel du terbium. On observe, vers 45 kbar, une discontinuité déjà signalée par ailleurs [8]. La variation de la température de Néel avec la pression est linéaire. Le taux de variation obtenu est de  $-0,87$  °K/kbar, à comparer à  $-0,84$  °K/kbar pour un monocristal de terbium [9] et  $-1,08$  °K/kbar obtenu par MacWhan et Stevens [8] au moyen d'un appareillage de conception voisine de celui que nous avons mis au point.

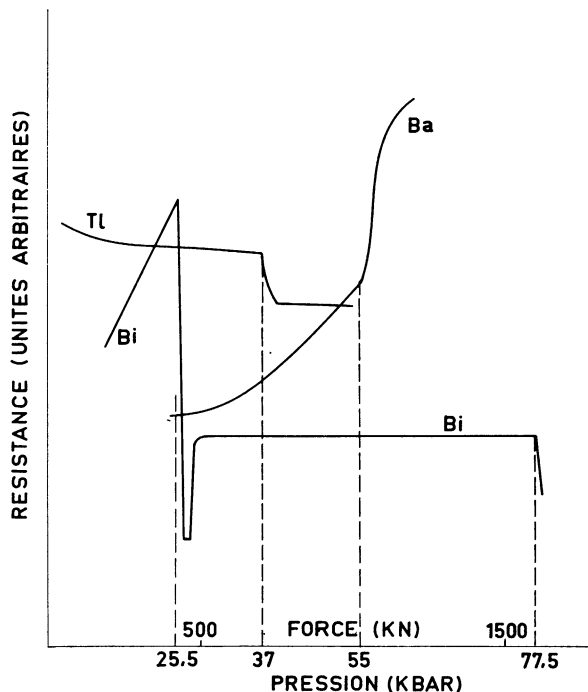


FIG. 3. — Variation avec la pression de la résistance du bismuth, du thallium et du baryum.

**III. Résultats expérimentaux.** — Nous avons étudié la variation avec la pression jusqu'à 80 kbar des tem-

pératures de transition magnétiques des composés  $\text{ErCo}_2$ ,  $\text{HoCo}_2$ ,  $\text{NdCo}_2$ ,  $\text{DyCo}_2$  et  $\text{TbCo}_2$ . Ces composés ont été préparés au four à induction par une méthode de lévitation qui supprime toute contamination due au creuset. Après une trempe rapide les échantillons ont été recuits à  $800^\circ\text{C}$  pendant 24 heures sous vide secondaire. Leur pureté cristallographique a été vérifiée aux rayons X.

Au voisinage de la température de transition la courbe de variation thermique de la susceptibilité magnétique des échantillons étudiés présente un maximum suivi d'une décroissance rapide, vers le domaine paramagnétique. Nous avons confondu la variation avec la pression de la température à laquelle la susceptibilité est maximale, avec la variation avec la pression de la température de transition magnétique. Les variations obtenues (Fig. 4 et 5) ne sont pas fonctions linéaires de la pression appliquée. On note dans tous les cas un changement de courbure entre 30 et 50 kbar. On a représenté, en traits discontinus, le résultat des expériences dans lesquelles ont été mesurées, dans des conditions de pression hydrostatique jusqu'à 4 kbar, les températures de transition des mêmes composés. L'accord entre les deux types d'expériences est satisfaisant.

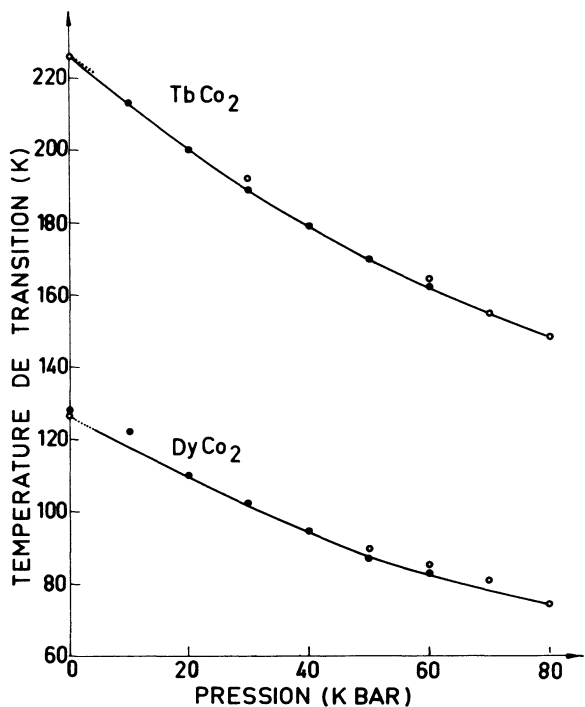


FIG. 4. — Variation avec la pression de la température de transition entre les états ferri- et para-magnétique de  $\text{TbCo}_2$  et  $\text{DyCo}_2$ . Les signes ● ou ○ représentent le résultat d'expériences réalisées sur des échantillons différents.

On pourrait attribuer l'écart à la linéarité à la variation de la compressibilité elle-même avec la pression.

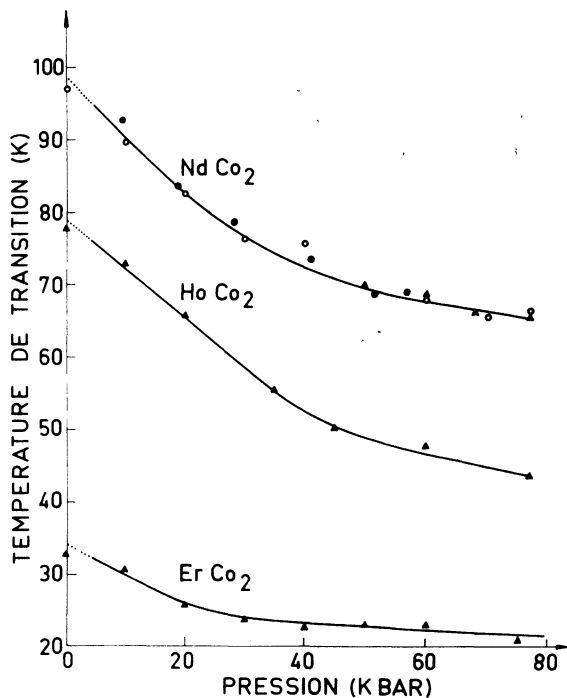


FIG. 5. — Variation avec la pression de la température de transition entre les états ferro- et para-magnétique de  $\text{NdCo}_2$  et ferri- et para-magnétique de  $\text{HoCo}_2$  et  $\text{ErCo}_2$ . Les signes ●, ○ ou Δ représentent le résultat d'expériences réalisées sur des échantillons différents.

Afin d'en tenir compte, on peut utiliser la relation empirique de Murnaghan [10]

$$p = \frac{B_0}{B'_0} \left[ \left( \frac{V_0}{V} \right)^{B'_0} - 1 \right]. \quad (1)$$

Dans cette expression,  $B_0$  désigne l'inverse de la compressibilité initiale ;  $V$  est le volume obtenu, à partir de  $V_0$ , sous l'action de la pression  $p$ .

La valeur de  $B'_0$  peut être obtenue à partir de la valeur de la constante de Grüneisen  $\gamma$  au moyen de la relation de Dudgale-MacDonald [11]

$$B'_0 = 2\gamma + 1. \quad (2)$$

La valeur de  $\gamma$  peut être calculée en utilisant la relation de Grüneisen :

$$\gamma = \frac{B_0 \beta_0 V_0}{C_0} \quad (3)$$

où  $\beta_0$  est le coefficient de dilatation volumique et  $C_0$  la chaleur spécifique à volume constant relevés à la pression ordinaire. La valeur de  $B_0$  pour  $\text{H}_0\text{Co}_2$  mesurée [12] à la température ordinaire est de  $1,05 \times 10^6$  bar. On supposera cette valeur indépendante de la température et de la terre rare considérée dans les composés  $\text{ACo}_2$ . Au-dessus du point de Curie le coefficient de dilatation thermique  $\beta_0$  de  $\text{GdCo}_2$  est voisin de  $35 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{K}^{-1}$  [13]. On supposera cette valeur indépendante de la température

et du composé  $\text{ACo}_2$  considéré. La chaleur spécifique  $C_0$  peut cependant être prise égale à  $9 R$ , la température de Debye étant voisine de  $200 \text{ }^\circ\text{K}$  [14]. Comme  $V_0$  est voisin de  $28 \text{ cm}^3$ ,  $\gamma$  est environ égal à  $1,5$ , d'où l'on déduit  $B'_0 \approx 4$ . La relation (1) permet alors de calculer la variation de la température de

transition en fonction de la variation relative du volume de l'échantillon. On a reporté les résultats obtenus figures 6 et 7. Sous l'effet d'une pression de  $80 \text{ kbar}$ , la variation de volume est supérieure à  $6 \%$  et la diminution de la température de transition magnétique est voisine de  $30 \%$ .

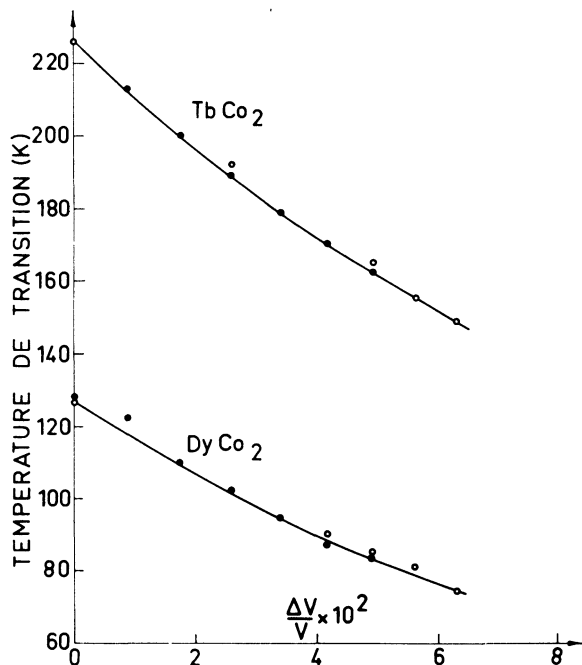


FIG. 6. — Variation avec le volume de la température de transition entre les états ferri- et para-magnétique de  $\text{TbCo}_2$  et  $\text{DyCo}_2$ .

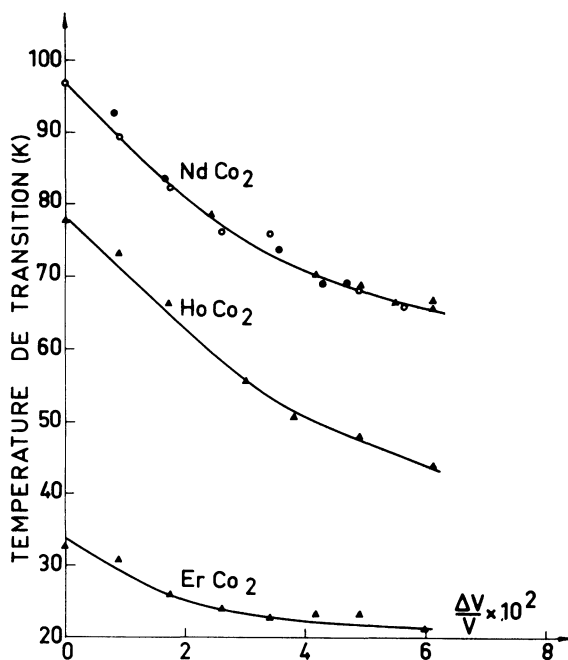


FIG. 7. — Variation avec le volume de la température de transition entre les états ferro- et para-magnétique de  $\text{NdCo}_2$  et ferri- et para-magnétique de  $\text{HoCo}_2$  et  $\text{ErCo}_2$ .

### Bibliographie

- [1] BLOCH (D.), CHAISSÉ (F.), GIVORD (F.), VOIRON (J.) et BURZO (E.), *J. Physique*, 1971, **32**, C1-659.
- [2] a) BLOCH (D.) et LEMAIRE (R.), *Phys. Rev.*, 1970, **B**, **2**, 2648.  
b) LEMAIRE (R.), *Cobalt*, 1966, **33**, 201.
- [3] LYON (D. N.), MacWHAN (D. B.) et STEVENS (A. L.), *Rev. Scientif. Inst.*, 1967, **38**, 1234.
- [4] HEYDEMANN (P. L. M.), *J. Appl. Phys.*, 1967, **38**, 2640.
- [5] VERESCHAGIN (L. E.), ZUBOVA (E. V.), BUJMOVA (I. P.) et BURDINA (K. P.), *Dokl. Akad. Nank. SSSR*, 1966, **169**.
- [6] HAYGARTH (J. C.), GETTING (I. C.) et KENNEDY (G. C.), *J. Appl. Phys.*, 1967, **38**, 4557.
- [7] HAYGARTH (J. C.), GUEDMANN (H. D.), GETTING (I. C.) et KENNEDY (G. C.), *J. Phys. Chem. Solids*, 1969, **30**, 1417.
- [8] MacWHAN (D. B.) et STEVENS (A. L.), *Phys. Rev.*, 1965, **139**, A682.
- [9] BARTHOLIN (H.) et BLOCH (D.), *J. Phys. Chem. Solids*, 1968, **29**, 1063.
- [10] MURNAGHAN (F. D.), *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 1944, **30**, 244.
- [11] DUDGALE (J. S.) et MacDONALD (D. K. C.), *Phys. Rev.*, 1953, **89**, 832.
- [12] MAURY (R.), *C. R. Acad. Sci., Paris*, 1970, **271**, 950.
- [13] MANSEY (R. C.), RAYNOR (G. V.) et HARRIS (I. R.), *J. Less Common Metals*, 1968, **14**, 329.
- [14] McDERMOTT (M. J.) et MARKLUND (K. K.), *J. Appl. Phys.*, 1969, **40**, 1007.