



**HAL**  
open science

## Sur l'interprétation des propriétés magnétiques des ferrites de terres rares

Louis Néel

### ► To cite this version:

Louis Néel. Sur l'interprétation des propriétés magnétiques des ferrites de terres rares. Comptes Rendus Hebdomadaires Des Seances De L Academie Des Sciences, 1954, 239 (1), pp.8–11. <hal-02878460>

**HAL Id: hal-02878460**

**<https://hal.science/hal-02878460v1>**

Submitted on 23 Jun 2020

**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.



HAL Authorization

pertes de charge demeurent négligeables, malgré les valeurs accrues de la vitesse  $W$ .

6° Si l'on intervertit l'ordre des manœuvres, en partant d'un régime permanent initial de débit  $Q_0$ , interrompu à l'instant zéro par une fermeture, suivie d'une succession d'ouvertures et de fermetures alternées, décalées d'une demi-période l'une par rapport à l'autre, on obtient des valeurs entièrement symétriques des précédentes.

*Conclusion.* — Les résultats précédents sont établis en négligeant l'important facteur d'amortissement que constituent les pertes de charges dans le canal d'amenée et, lorsqu'un tel dispositif existe, l'étranglement placé à la base de la chambre d'équilibre. Ils soulignent toutefois le danger que peut faire courir à l'ouvrage la simple succession de deux manœuvres instantanées, dans les conditions précisées par notre étude, ainsi que les conséquences extrêmement graves d'une série de manœuvres effectuées en résonance avec la période du système canal d'amenée chambre d'équilibre.

MAGNÉTISME. — *Sur l'interprétation des propriétés magnétiques des ferrites de terres rares.* Note (\*) de M. LOUIS NÉEL.

On interprète les propriétés magnétiques des ferrites de terres rares par la méthode du champ moléculaire en décomposant le réseau principal en un sous-réseau ferrimagnétique des ions de fer faiblement couplé à un sous-réseau paramagnétique des ions de terre rare. A très basse température, le sous-réseau paramagnétique devient probablement à son tour ferrimagnétique.

Les ferrites de terres rares découverts récemment (1) et étudiés (2) par H. Forestier et G. Guiot-Guillain possèdent des propriétés magnétiques extrêmement curieuses et compliquées dont l'analyse plus approfondie vient d'être reprise, en ce qui concerne le ferrite de gadolinium, par R. Pauthenet et P. Blum (3).

Nous nous proposons de montrer qu'on peut interpréter ces propriétés en divisant le réseau des ions magnétiques ( $Fe^{+++}$  et  $M^{+++}$  où  $M$  est l'ion de terre rare) en deux sous-réseaux primaires, l'un A relatif aux ions  $Fe$ , l'autre B relatif aux ions  $M$ . Nous examinerons d'abord séparément les propriétés de chacun de ces sous-réseaux, supposé isolé de l'autre, puis nous introduirons un couplage entre A et B sous la forme d'un champ moléculaire. Les aimantations seront toujours rapportées à la molécule-gramme  $Fe_2O_3M_2O_3$ . Les notations des points de transformation sont celles de Pauthenet et Blum (3).

(\*) Séance du 28 juin 1954.

(1) *Comptes rendus*, 230, 1950, p. 1844.

(2) *Comptes rendus*, 235, 1952, p. 48.

(3) *Comptes rendus*, 239, 1954, p. 33.

En ce qui concerne le sous-réseau primaire A, nous le supposons divisé, au-dessous d'un point de Curie ferromagnétique  $\theta_f$ , en deux sous-réseaux secondaires A' et A'' à aimantations spontanées antiparallèles, un peu différentes l'une de l'autre, de manière à donner naissance à un ferrimagnétisme, voisin de l'antiferromagnétisme parfait. L'aimantation J de A dans un champ H s'écrit dans ces conditions :

$$J = \sigma_A + aH.$$

La susceptibilité  $a$  est très voisine de celle qui correspond à un arrangement antiferromagnétique parfait des ions Fe, supposé réalisé avec les mêmes interactions : il s'agit plus précisément de la susceptibilité mesurée parallèlement à la direction d'antiferromagnétisme, puisque celle-ci est automatiquement alignée suivant la direction du champ H, sous l'action de H sur  $\sigma_A$ . Il en résulte que  $a$ , d'abord nul au zéro absolu <sup>(1)</sup>, commence par croître jusqu'au point de Curie  $\theta_f$ , puis décroît au delà en obéissant à une loi de Curie-Weiss.

D'après la théorie du ferrimagnétisme <sup>(2)</sup>, la variation thermique de l'aimantation spontanée  $\sigma_A$  peut appartenir soit au type Q caractéristique des ferromagnétiques normaux, soit au type N caractérisé par l'existence d'une température  $\theta_c$  dite température de compensation à laquelle  $\sigma_A$  s'annule en changeant de signe, soit au type P pour lequel  $\sigma_A$  commence par croître et passe par un maximum avant de disparaître au point  $\theta_f$ . Il faut d'ailleurs remarquer que les types N ou P n'apparaissent que pour des ferrimagnétiques, voisins de l'antiferromagnétisme, comme le montre la théorie, aussi bien que les expériences de E. W. Gorter <sup>(3)</sup>.

Considérons maintenant le sous-réseau primaire B; nous le considérons comme paramagnétique avec une susceptibilité  $b$  donnée par

$$(1) \quad b = \frac{C}{T - nC},$$

où C est la constante de Curie moléculaire de deux ions M (15,76 pour M = Gd) et  $n$  un coefficient de champ moléculaire, probablement petit, qui représente les interactions M — M, à l'intérieur de B.

Introduisons finalement les interactions entre A et B par un champ moléculaire de coefficient  $m$ . Les aimantations  $J_A$  et  $J_B$  de A et B deviennent alors :

$$\begin{aligned} J_A &= \sigma_A + a(H + mJ_B), \\ J_B &= b(H + mJ_A). \end{aligned}$$

L'aimantation résultante  $J = J_A + J_B$  prend la forme

$$(2) \quad J = \sigma_s + \chi_s H,$$

<sup>(1)</sup> F. BITTER, *Phys. Rev.*, 54, 1938, p. 79.

<sup>(2)</sup> L. NÉEL, *Ann. Phys.*, 3, 1948, p. 137.

<sup>(3)</sup> *Thèse*, Leyden, 1954, à paraître dans *Philips Research Reports*.

où l'aimantation spontanée  $\sigma_s$  et la susceptibilité  $\chi_s$  sont données par les formules

$$(3a) \quad \sigma_s = \sigma_A \frac{1 + bm}{1 - abm^2},$$

$$(3b) \quad \chi_s = b + \frac{a(1 + bm)^2}{1 - abm^2}.$$

La formule (3a) montre que  $\sigma_s$  s'annule d'abord aux mêmes points que  $\sigma_A$ , c'est-à-dire à  $\theta_f$  et éventuellement à  $\theta_c$ , mais aussi, si  $m$  est négatif, à la température  $\theta'_c$  correspondant à  $1 + bm = 0$ . Cette température  $\theta'_c$  est aussi une température de compensation : elle correspond au moment où les ions Fe induisent dans les ions M une aimantation exactement égale et opposée à la leur.

Les formules (2) et (3) peuvent constituer les bases de l'interprétation des propriétés magnétiques des ferrites de terres rares. Il faut admettre pour cela que la variation thermique de l'aimantation spontanée  $\sigma_A$  du sous-réseau A appartient au type N et que les deux températures caractéristiques  $\theta_c$  et  $\theta_f$  correspondantes doivent être identifiées avec les deux températures  $\theta_1$  et  $\theta_2$  de Forestier et Guiot-Guillain<sup>(2)</sup>,<sup>(1)</sup>. Ces deux auteurs ont montré que  $\theta_1$  et  $\theta_2$  variaient très régulièrement avec le diamètre ionique de M et ne dépendaient visiblement pas des propriétés magnétiques des ions M : ces faits s'interprètent aisément dans le cadre de notre hypothèse puisque les causes de variation de  $\theta_1$  et de  $\theta_2$  sont alors les variations du paramètre du réseau et non pas la nature de M. De plus, comme  $\theta_1$  est une température de compensation, aucune aimantation thermorémanente ne doit lui être attachée conformément aux résultats expérimentaux.

Le point  $\theta_3$  de  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Gd}_2\text{O}_3$ , situé<sup>(3)</sup> à 306°K, doit être identifié avec le point  $\theta_c$ . On en déduit, si  $n$  est négligeable, la valeur  $m = -20$ . Il résulte de cette interprétation qu'une aimantation rémanente préalablement communiquée au ferrite doit changer de sens quand, dans un champ nul, la température traverse  $\theta_3$ . Ce phénomène n'a pas été observé avec le ferrite de gadolinium, probablement à cause d'inhomogénéités, mais MM. Guiot-Guillain et Forestier m'ont signalé qu'ils avaient observé une telle inversion dans le ferrite de dysprosium de propriétés voisines. La formule (3a) montre que  $\sigma_s$  varie en dessous de  $\theta_3$ , à peu près comme  $1/T$ , conformément aux résultats expérimentaux.

D'après (3b),  $\chi_s$  s'obtient en ajoutant un terme correctif à la susceptibilité  $b$  des ions M supposés non couplés avec les ions Fe. Lorsque  $a$  est petit, on obtient aux basses températures la formule approchée

$$\chi_s = \frac{C}{T - C(n + am^2)} + \dots$$

(1) G. GUIOT-GUILLAIN, *Comptes rendus*, 237, 1953, p. 1554.

Cette loi de Curie-Weiss représente bien les résultats expérimentaux; le point de Curie  $\theta_c$  est situé à  $-8^\circ\text{K}$ , pour  $M = \text{Gd}$ , d'où l'on déduit  $n = -0,5$ , en négligeant  $am^2$  devant  $n$ , ce qui est légitime, puisque  $a$  tend vers zéro au zéro absolu comme nous l'avons vu plus haut.

Comme  $n$  est négatif, il faut s'attendre à ce qu'aux très basses températures le sous-réseau primaire B se fragmente lui aussi en deux sous-réseaux secondaires B' et B'' aimantés en sens inverse. Comme les sous-réseaux A' et A'' sont légèrement dissymétriques, il doit en être de même pour les deux sous-réseaux B' et B'' de sorte que les ions Gd seraient alors légèrement ferrimagnétiques. Dans ces conditions, les deux directions d'antiferromagnétisme des réseaux A et B doivent s'aligner parallèlement au champ appliqué de sorte que la susceptibilité doit tendre vers zéro vers le zéro absolu, conformément aux résultats de l'expérience. Dans cette interprétation, la température  $\theta_c$  est le point de Curie du réseau ferrimagnétique des ions Gd : il est situé entre 4 et 14° K. On pourrait aussi supposer que B' et B'' forment un réseau antiferromagnétique parfait mais cette hypothèse ne permet pas d'expliquer aussi bien que la précédente le fait que la susceptibilité à 4° K est au moins cinq fois plus petite qu'à 14° K, selon Pauthenet et Blum.

Pour conclure, il semble bien que le schéma proposé donne une interprétation d'ensemble assez satisfaisante des propriétés magnétiques du ferrite de gadolinium. Il reste à savoir pourquoi les ions Fe, et peut-être aussi à plus basse température les ions Gd, adoptent un arrangement légèrement ferrimagnétique plutôt qu'un arrangement antiferromagnétique parfait. S'agit-il d'un défaut du réseau ou d'une propriété spécifique de celui-ci? La question est ouverte et se pose également (\*) à propos des propriétés magnétiques de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  : on ne saurait lui donner une réponse précise avant de connaître beaucoup mieux que maintenant la structure cristalline de ces ferrites de terres rares : on sait seulement qu'elle se rattache à la structure des pérovskites (°).

PHYSIOLOGIE. — *Effets de l'hypoxie associée à une hypercapnie modérée sur les facultés intellectuelles de l'Homme*. Note (\*) de MM. LÉON BINET, MAURICE V. STRUMZA et JACQUES LÉVY.

L'hypoxie modérée entraîne une perturbation manifeste des facultés intellectuelles de l'Homme normal, mais une rapide adaptation survient pour des taux d'oxygène égaux ou supérieurs à 16,4 % dans l'air inhalé, à la pression

(°) L. NÉEL et R. PAUTHENET, *Comptes rendus*, 234, 1952, p. 2172; L. NÉEL, *Ann. Phys.*, 4, 1949, p. 249.

(°) G. GUIOT-GUILLAIN, *Comptes rendus*, 232, 1951, p. 1832.

(\*) Séance du 28 juin 1954.