Sur le ferromagnétisme des ferrites, ou ferrimagnétisme

Louis Néel

► To cite this version:

Louis Néel. Sur le ferromagnétisme des ferrites, ou ferrimagnétisme. *Physica*, 1950, 16 (3), pp.350–352. 10.1016/0031-8914(50)90034-6 . hal-02888382

HAL Id: hal-02888382

<https://hal.science/hal-02888382>

Submitted on 29 Jul 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.

LETTRE À LA RÉDACTION

Sur le ferromagnétisme des ferrites, ou ferrimagnétisme

Les travaux de A. S e r r e s ¹⁾ et surtout ceux de J. L. S n o e k ²⁾ ont attiré l'attention sur les remarquables propriétés ferromagnétiques des ferrites à structure de spinelle. Dans ces corps, les ions métalliques occupent soit les sites tétraédriques, ou sites *A*, entourés de 4 atomes d'oxygène, soit les sites octaédriques, ou sites *B*, entourés de 6 atomes d'oxygène: on compte 1 site *A* et 2 sites *B* par molécule $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{MO}$. Dans les *ferrites normaux*, les ions Fe^{+++} sont en *B* et l'ion M^{++} en *A*. B a r t h et P o s n j a k ³⁾ ont montré qu'il existait aussi des *ferrites inverses* dans lesquels un ion Fe^{+++} est en *A*, tandis que les deux autres ions Fe^{+++} et M^{++} sont en *B*. V e r w e y et H e i l m a n n ⁴⁾ ont prouvé que les ferrites ferromagnétiques sont inverses tandis que les ferrites de zinc et de cadmium, paramagnétiques, sont normaux.

Récemment, J. H. G i s o l f ⁵⁾ a proposé une interprétation selon laquelle seuls les ions métalliques sur les sites *A*, c'est-à-dire les ions Fe^{+++} , contribueraient au ferromagnétisme. Cette hypothèse soulève quelques difficultés. En premier lieu, elle donne un moment moléculaire à saturation M_s égal au moment de l'ion Fe^{+++} , soit $5\mu_B$ (μ_B = magnéton de B o h r), tandis que de nombreuses expériences indépendantes (E. W. G o r t e r ⁶⁾ à Eindhoven, C. G u i l l a u d ⁷⁾ à Bellevue, L. W e i l, L. B o c h i r o l et R. P a u t h e n e t ⁸⁾ à Grenoble) ont respectivement donné $5,00 \mu_B$, $4,06 \mu_B$, $3,35 \mu_B$, $2,25 \mu_B$, $1,37 \mu_B$ en choisissant successivement Mn, Fe, Co, Ni, Cu pour jouer le rôle de l'ion M^{++} . Ces valeurs montreraient plutôt que c'est l'ion *M* qui occupe le site *A* mais alors ces ferrites ne seraient pas inverses mais normaux, en contradiction avec les résultats de V e r w e y. En second lieu, l'hypothèse de G i s o l f, appliquée aux ferrites mixtes $\text{Fe}_2\text{O}_3, x\text{MO}, (1-x)\text{ZnO}$, indique que M_s décroît linéairement de 5 à $0 \mu_B$ lorsque x croît de 0 à 1, tandis que E. W. G o r t e r (loc. cit.) a montré que pour $\text{M} = \text{Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Li}_{0,5} + \text{Fe}_{0,5}^{++}$, le moment commence par croître lorsque x diminue, la tangente initiale à la courbe $M_s = f(x)$ s'extrapolant vers $10 \mu_B$ pour $x = 0$. En troisième lieu, dans le ferrite de cuivre, qui est un ferrite inverse assez proche de la limite des ferrites normaux, les ions métalliques tendent à haute température à se répartir statistiquement sur les sites *A* et les sites *B*: cet état peut être partiellement conservé par trempe. Si M_s provient des ions situés en *A*, il doit être à l'état trempé plus petit qu'à l'état recuit puisque le nombre des ions Fe^{+++} y est moindre: les expériences de E. W. G o r t e r indiquent le contraire. Enfin, dans la même hypothèse, la variation thermique de la susceptibilité magnétique χ

au dessus du point de Curie θ_f devrait être analogue à celle des autres ferromagnétiques, soit en gros une variation linéaire de $1/\chi$ en fonction de la température T , avec au voisinage de θ_f une convexité vers l'axe des T . L'expérience donne au contraire une courbe d'allure hyperbolique avec sa concavité vers l'axe des T . L'interprétation de G i s o l f ne paraît donc pas admissible.

J'avais antérieurement proposé une autre hypothèse ⁹⁾ selon laquelle les interactions d'échange prépondérantes sont essentiellement des interactions *negatives* entre les ions placés sur les sites A et les ions placés sur les sites B . Il en résulte qu'à basse température les moments des ions situés en A s'alignent parallèlement entre eux pour donner une résultante M_a et que les moments des ions situés en B s'alignent en sens inverse avec une résultante M_b : le moment résultant observable M_s est égal à la différence $M_b - M_a$. Ainsi, les moments des deux ions Fe^{+++} d'un ferrite inverse s'annulent puisqu'ils sont situés, l'un en A et l'autre en B . Le moment M_s est donc simplement égal à celui de l'ion M^{++} . On rend alors compte quantitativement des valeurs de M_s pour les ferrites de Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Li. On interprète aussi les variations de M_s avec la concentration dans les ferrites mixtes $M\text{--Zn}$ ainsi que l'extrapolation vers $10 \mu_B$ de la tangente initiale à la courbe $M_s = f(x)$: en effet, le remplacement d'un ion M de moment m , placé en B , par un ion Zn de moment nul, placé en A , provoque une variation de moment égale à $(10 - m) \mu_B$, le premier terme provenant du retournement du moment de l'ion Fe^{+++} qui passe de A en B , le second du départ de l'ion M . L'augmentation du moment du ferrite de cuivre par la trempe s'explique aussi aisément. Enfin, l'extension de la théorie du champ moléculaire de W e i s s permet de montrer que la susceptibilité au dessus du point de Curie obéit à la relation

$$\frac{1}{\chi} = \frac{T}{C} + \frac{1}{\chi_0} - \frac{\sigma}{T - \theta},$$

où C est la constante de Curie relative à tous les ions présents et χ_0 , σ , θ sont trois coefficients calculables en fonction des trois coefficients de champ moléculaire n_{aa} , n_{ab} , n_{bb} qui définissent les interactions. Effectivement, on représente ainsi convenablement les résultats expérimentaux et on en déduit n_{aa} , n_{ab} et n_{bb} . Ces coefficients une fois connus, il est alors possible de calculer sans autres données la variation thermique de l'aimantation spontanée: c'est ainsi qu'on a trouvé pour $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{FeO}$ des résultats en accord avec l'expérience.

Ainsi le ferromagnétisme des ferrites est lié à la présence d'ions magnétiques sur deux catégories de sites, cristallographiquement différents, et à l'existence d'intégrales d'échange *negatives*: il s'agirait plutôt d'un anti-ferromagnétisme imparfait que d'un ferromagnétisme et c'est pourquoi il paraîtrait justifié de ranger ces substances dans une catégorie spéciale, celle des *ferrimagnétiques*.

LOUIS NÉEL.

Reçu 21-2-50.

Laboratoire d'Electrostatique et de Physique
du Métal, Grenoble.

LITERATURE

- 1) A. Serres, Ann. de Physique, 1932, **17**, 53.
- 2) J. L. Snoek, Physica, 1936, **3**, 463; New developments in Ferromagnetic Materials Elsevier, Amsterdam, 1947.
- 3) T. F. W. Barth et E. Posnjak, Z. Krist., 1932, **82**, 325.
- 4) E. J. W. Verwey et E. L. Heilmann, J. chem. Physics, 1947, **15**, 174.
- 5) J. H. Gisolf, Physica, 1949, **15**, 677.
- 6) E. W. Gorter, C. R. Ac. Sc., Paris, 1950, **230**, 192; Nature, sous presse.
- 7) C. Guillaud, C. R. Ac. Sc., Paris, 1949, **229**, 1133.
- 8) encore inédit.
- 9) L. Néel, Ann. de Physique, 1948, **3**, 137; C. R. Ac. Sc., Paris, 1950, **230**, 190; L. Néel et P. Brochet, C. R. Ac. Sc., Paris, 1950, **230**, 280; L. Néel, C. R. Ac. Sc., Paris, 1950, **230**, 375.