

**Zeitschrift:** Archives des sciences [1948-1980]  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 11 (1958)  
**Heft:** 7: Colloque Ampère

**Artikel:** Sur une étude expérimentale de la résonance gyromagnétique des oxydes Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>  
**Autor:** Bluet, J.-C. / Epelboin, I.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-738865>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 13.01.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Sur une étude expérimentale de la résonance gyromagnétique des oxydes $\text{Fe}_2\text{O}_3 \gamma$

par J.-C. BLUET et I. EPELBOIN

Laboratoire de Physique (enseignement). Faculté des Sciences de Paris.

Une méthode utilisée fréquemment pour déterminer le rapport gyro-magnétique  $\gamma$  d'une substance ferromagnétique consiste à provoquer une résonance induite en appliquant deux champs magnétiques perpendiculaires, l'un hyperfréquence, l'autre continu et en faisant varier ce dernier [1]. En général, on mesure la variation de l'une des composantes de la perméabilité complexe  $\mu = \mu_1 - j\mu_2$  ou bien celle d'une de leurs combinaisons  $|\mu| = \sqrt{\mu_1^2 + \mu_2^2}$ , ou  $\mu_R = |\mu| + \mu_2$ . Nous avons établi une méthode basée sur la mesure des deux composantes  $\mu_1$  et  $\mu_2$  et nous montrerons ici qu'elle apporte une meilleure précision dans la détermination de  $\gamma$  et par conséquent du facteur de Lande  $g = \frac{\gamma^2 mc}{e}$  où  $e$  et  $m$  désignent la charge et la masse de l'électron et  $c$  la vitesse de la lumière.

Soit un champ magnétique hyperfréquence de pulsation  $\omega$ , de composantes  $h_x$ , 0, 0 et un champ continu de composantes 0, 0,  $H_z$  appliqués simultanément à une sphère ferromagnétique. A partir de la formule classique de Landau et Lifschitz:  $-\frac{1}{\gamma} \frac{d\vec{M}}{dt} = \vec{M} \wedge \vec{H} - \frac{\nu}{M} [\vec{M} \wedge (\vec{M} \wedge \vec{H})]$  on déduit que la susceptibilité  $\chi_x$  est égale [2] à:

$$\chi_x = \frac{M_x}{H_x} = \chi_0 \frac{\gamma^2 M_z^2 + \nu^2 + j\omega\nu\chi_0}{\gamma^2 M_z^2 + \nu^2 - \omega^2\chi_0^2 + 2j\omega\chi_0} \quad (1)$$

où  $\chi_0 = \frac{M_z}{H_z}$ ;  $M_x$  et  $M_z$  sont les deux composantes du moment magnétique de la substance et  $\nu$  la fréquence de relaxation. S'il y a saturation,  $M_z$  est égal à l'aimantation à saturation  $M_s$ . Dans le cas de poudres, le champ  $H_z$  appliqué à chaque grain se déduit du champ  $H_a$  appliqué globalement par la formule  $H_z = H_a + p \frac{4\pi}{3} M_s$ , adoptée par la plupart des auteurs [2].

Le terme  $p \frac{4\pi}{3} M_s$  provient de l'influence des grains voisins;  $p$  désigne la charge, c'est-à-dire le rapport du volume de poudre au volume total de l'échantillon. Posons:

$$u = \frac{\omega \chi_0}{\sqrt{\gamma^2 M_s^2 + v^2}} \quad (2) \quad v_1 = \frac{v}{\sqrt{\gamma^2 M_s^2 + v^2}} \quad (3)$$

$$K = \frac{\omega \sqrt{1 - v_1^2}}{4\pi \sqrt{\gamma^2 M_s^2 + v^2}} \quad (4) \quad z = \frac{1 + j v_1 \omega}{u \sqrt{1 + v_1^2}} \quad (5)$$

D'après (5), le point  $z$  décrit une demi-droite  $D$  parallèle au demi axe réel positif; le point  $\frac{1}{z}$  décrit donc un cercle  $G$  et celui d'affixe  $\left(z - \frac{1}{z}\right)$  une courbe  $\Gamma'$  déduite de  $D$  et  $G$ . La courbe  $\Gamma$  représentative de  $\frac{1}{\mu - 1}$  se déduit de  $\Gamma'$  par une homothétie. Dans l'hypothèse généralement vérifiée où  $v_1$  est très inférieur à 1,  $\Gamma'$  tend à se confondre avec l'axe réel et  $\Gamma$  avec une droite. Une inversion montre que les lieux de  $\mu - 1$  et donc de  $\mu$  sont des cercles. D'après cette théorie élémentaire, ce sont les mêmes valeurs des champs  $H_z''$  et  $H_z'''$  qui rendent simultanément  $|\mu|$  et  $\mu_R$  soit nuls, soit infinis. En fait, il n'en est pas ainsi car ces perméabilités sont les perméabilités globales des échantillons et non les perméabilités vraies des grains eux-mêmes. Comme  $\mu_R$  seul représente l'énergie dissipée sous forme magnétique, c'est à partir de ce paramètre que nous déterminons les coefficients des équations permettant le calcul de  $\gamma$ . Soit  $H_z'$  la valeur du champ telle que  $\delta_m$ , angle de perte magnétique  $\text{Arc tg } \frac{\mu_2}{\mu_1}$  soit maximum, et  $H_z'''$  et  $H_z''$  ses valeurs telles que  $\mu_R$  soit minimum et maximum; les considérations précédentes nous permettent d'écrire [2]:

$$\omega = \gamma \sqrt{H_z' (H_z' + 2\pi M_s)} \quad (6)$$

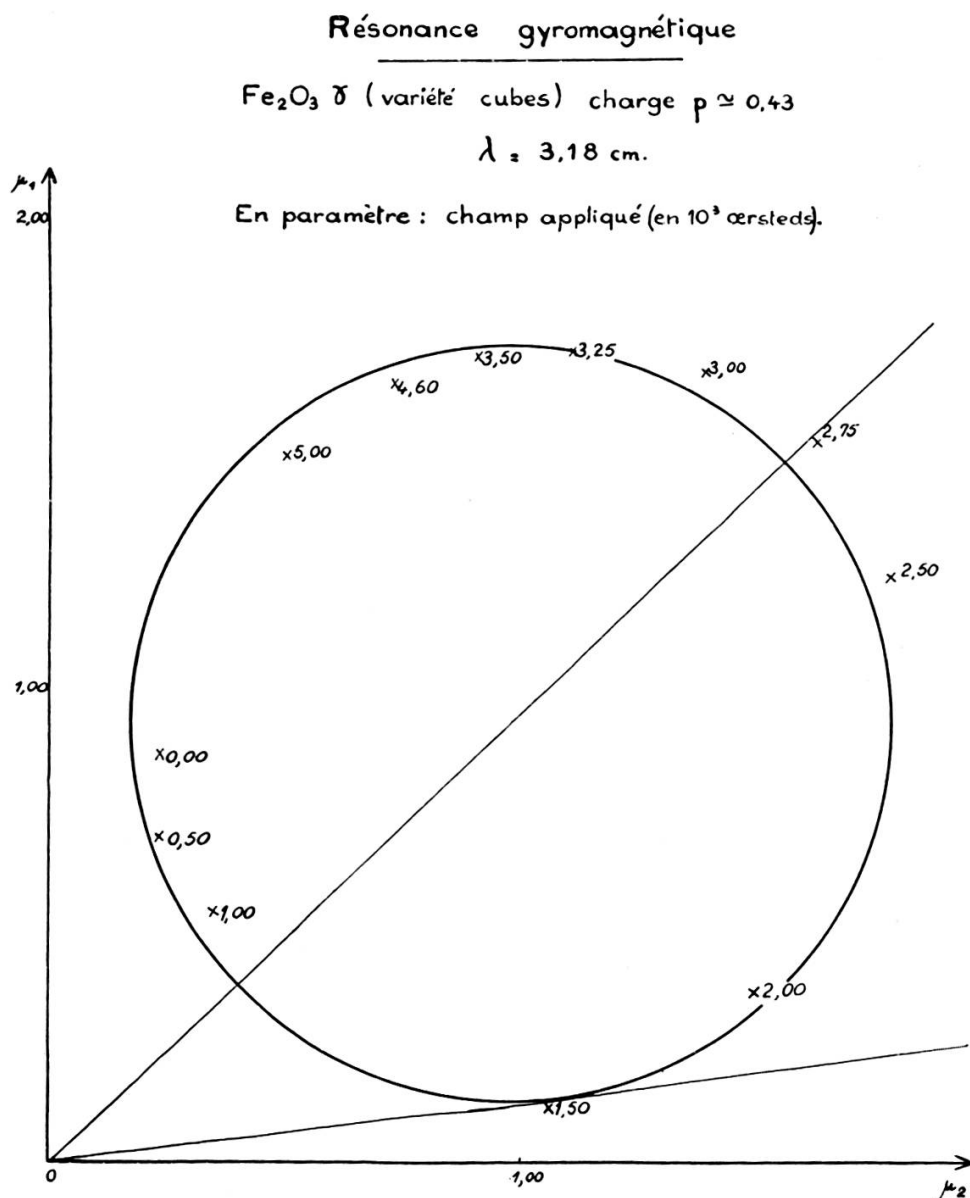
$$\omega = \gamma H_z'' \quad (7)$$

$$\omega = \gamma \sqrt{H_z''' (H_z''' + 4\pi M_s)} \quad (8)$$

Les relations (6), (7), (8) constituent un système de trois équations à deux inconnues  $\gamma$  et  $M_s$ . On peut déterminer ces deux constantes avec deux

des équations et utiliser la troisième pour vérifier les valeurs de  $\gamma$  ou de  $M_s$ .

Cette représentation circulaire ne constitue pas à proprement parler une vérification théorique des résultats expérimentaux. La perméabilité



mesurée n'est qu'apparente puisqu'elle présente un caractère tensoriel en milieu gyromagnétique. De plus les formules données ci-dessus ne font pas intervenir explicitement la charge. Il s'agit donc essentiellement d'un procédé qui permet de calculer  $g$  par trois équations différentes, et

se justifie *a posteriori*, comme nous allons le voir, par la concordance des valeurs trouvées.

Des mesures effectuées au laboratoire sur des poudres métalliques [2, 3] montrent que les courants de Foucault compliquent les phénomènes de résonance ferromagnétique naturelle (spectre magnétique) ou induite (variation d'un champ magnétique continu). Leur résonance gyromagnétique n'est pas importante: au cours des phénomènes, la variation de  $|\mu|$  est inférieure à 30%.  $H_z'''$  étant faible, on commet une grande erreur relative et l'équation (8) est inutilisable dans la plupart des cas. Au contraire, certains oxydes de forte résistivité présentent des courants de Foucault négligeables. Ils donnent lieu à des phénomènes gyromagnétiques très importants et leur perméabilité  $|\mu|$  varie de plusieurs fois sa valeur [4].

A titre d'exemple, nous analysons ici les résultats concernant un échantillon de  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \gamma$  obtenu par oxydation de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ , lui-même préparé en phase liquide à partir du sulfate ferreux en milieu alcalin. Pour l'étude, les grains sont répartis dans une substance de liaison avec une charge  $p = 0,43$ , calculée à partir de la densité réelle  $d = 4,4$  des grains. Nous utilisons un guide rectangulaire opérant sur le mode  $H_0$ , à 3,18 cm de longueur d'onde. L'échantillon est taillé aux dimensions du guide et le champ continu appliqué  $H_a$  normal au grand côté (effet Cotton-Mouton). A partir des mesures de glissement de phase et de taux d'onde stationnaire, on peut calculer  $\mu_1$  et  $\mu_2$  ainsi que les deux composantes  $\epsilon_1$  et  $\epsilon_2$  de la permittivité complexe. Pour  $H_a = 0$ , on trouve  $\mu_1 = 0,80$ ,  $\mu_2 = 0,24$ ,  $\epsilon_1 = 5,2$ ,  $\epsilon_2 = 0,0$ . Les valeurs de  $\epsilon_1$  et  $\epsilon_2$  ne varient pas en fonction de  $H_a$ ; il n'en est pas de même de la perméabilité. La figure montre que les points  $[\mu_1, \mu_2]$  se placent sur un cercle avec un écart maximum de 8% par rapport au rayon moyen. On peut expliquer cette dispersion par la forme non sphérique des grains, ou encore par le fait que la saturation n'est pas atteinte lorsque le champ appliqué est faible. A partir de ces résultats, nous déterminons, avec une erreur absolue de 50 oersteds:  $H_a' = 1580$  oe;  $H_a'' = 2500$  oe et  $H_a''' = 850$  oe. En éliminant  $M_s$  entre (6) et (7) nous obtenons une équation du deuxième degré en  $\frac{1}{\gamma}$  dont la résolution donne  $g = 2,07$ ; si nous reportons cette valeur dans (7), nous calculons  $M_s = 440$  U.E.M. C.G.S. Les erreurs relatives sur  $H_a'$  et  $H_a''$  sont  $\frac{\Delta H_a'}{H_a'} = \frac{50}{1580} = 3,2\%$  et  $\frac{\Delta H_a''}{H_a''} = \frac{50}{2500} = 2\%$ ; les équations (6) et (7) fournissent donc  $g$  et  $M_s$  avec une erreur de 5%. En reportant la valeur de  $M_s$  dans (8), on trouve cette fois  $g = 1,96$ . La diffé-

rence avec le premier résultat est surtout due à l'erreur relative faite sur

$$H_a''' = \frac{\Delta H_a'''}{H_a'''} = \frac{50}{850} = 17\%.$$

L'étude des deux composantes  $\mu_1$  et  $\mu_2$  en fonction des champs magnétiques continus montre donc que le facteur de Lande des oxydes  $\text{Fe}_2\text{O}_3$   $\gamma$  est sensiblement égal à 2. Par conséquent, le phénomène de résonance aux ondes centimétriques est dû aux spins des électrons.

#### BIBLIOGRAPHIE

1. KITTEL, C., Résonance ferromagnétique. *J. Phys. Radium* (mars 1951), 12, n° 3, pp. 251-302.
2. PISTOULET, B., *Sur le comportement des poudres ferromagnétiques jusqu'à 24.000 MHz*. Thèse, Paris, 6/10/1951; *Ann. Télécomm.*, 1952.
3. EPELBOIN, I., Colloque Ampère 1954, *Onde électrique*, 1955, p. 471.
4. BLUET, J. C., I. EPELBOIN et D. QUIVY, *C. R. A. S.*, 246, pp. 246-249.

*Manuscrit reçu le 27 mai 1958.*

---