

# **ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS MAGNÉTIQUES DES NOYAUX EN FER PULVÉRISÉ**

---

**THÈSE**

PRÉSENTÉE

**A L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE  
ZURICH**

POUR L'OBTENTION DU

**GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES TECHNIQUES**

PAR

**LÉONARD C. HENTSCH**

DE GENÈVE ET NETSTAL

RAPPORTEUR: M. LE PROF. E. BAUMANN

CORAPPORTEUR: M. LE PROF. DR F. TANK

BERNE 1945

IMPRIMERIE DES HOIRS C.-J. WYSS

### 3. Littérature se rapportant à l'étude théorique de la perméabilité et des pertes

#### a. Livres

Krauter E. — Magnetische Untersuchungen an stark unterteilten Eisenringen bei hohen und sehr hohen Frequenzen. Diss. Tübingen . . . . . 1928  
 Ollendorff Fr. — Potentialfelder der Elektrotechnik. Springer Berlin . . . . . 1932

#### b. Périodiques

Lord Rayleigh — Phil. Mag. . . . . 23 (1887) 225  
 Doebke — Ferromagnetische Mischkörper. Zeitschr. f. techn. Phys. . . . . 11 (1930) 13  
 Jordan — Zum Gültigkeitsbereich der Rayleigh — Jordan'schen Beziehungen. Zeitschr. f. techn. Physik . . . . . 11 (1930) 2  
 Ollendorff — Magnetostatik der Massekerne. AET . . . . . 25 (1931) 436  
 Deutschmann — Ueber Massekerne. El. Nachrichtentechnik . . . . . 9 (1932) 421

Howe — Iron powder compound cores for coils. Wireless eng. . . . . 10 (1933) 1  
 Jordan — Was ist vom Ferromagnetismus bei kleinen Feldänderungen bekannt? Ann. Physik 21 (1934) 405  
 Preisach — Ueber die Magnetische Nachwirkung. Zeitschr. f. Physik . . . . . 94 (1935) 277  
 Kindler & Thoma — Ueber magnetische Nachwirkung. AET . . . . . 30 (1936) 514  
 Kornetzki & Weiss — Die Wirbelstromverluste im Massekern. Wiss. Ver. Sic.-Werke . . . . . 15 (1936) 95  
 Kersten — Spulen mit Massekernen. Siemens Veröffentlichungen aus dem Gebiet der Nachrichtentechnik . . . . . 7 (1937) 849  
 Arkadiew — L'analyse des courbes dynamiques de la perméabilité magnétique et des pertes dans le fer. C. R. Acad. des sciences . . . . . 202 (1936) 39  
 Kornetzki — Die Hysterese im Rayleigh-Bereich schwacher magnetischer Felder bei gescheiter Magnetisierungskurve. Siemens Ver. a. d. G. d. Nachrichtentechnik 13 (1943) 25

## CONCLUSION

Une étude théorique de la perméabilité efficace des noyaux à base de fer pulvérisé nous a amené à la relation

$$\mu'_w = \pi \left( \ln \frac{1}{1-m} - m \right)$$

dans laquelle

$$m = \frac{d}{d'} = 1,1055 \sqrt[3]{\frac{P_1}{P_{tot}}} \cdot \sqrt[3]{\frac{\gamma}{\gamma_1}}$$

Des mesures effectuées sur une centaine de noyaux fabriqués à l'Institut de courants faibles de l'E. P. F. nous ont amené à constater que les valeurs calculées au moyen de cette formule diffèrent d'un facteur

$$f \cdot \gamma^{2/3}$$

des valeurs mesurées lors de nos essais. Nous avons donc posé la relation

$$\mu''_w = f \cdot \gamma^{2/3} \cdot \pi \left( \ln \frac{1}{1-m} - m \right)$$

(f étant une constante variant de 1,0 à 1,3), qui se rapproche beaucoup de la formule empirique indiquée par MM. Legg et Given, sur la base de leurs observations dans les laboratoires de la Bell Cy.

Cette différence entre la perméabilité calculée et mesurée provient sans aucun doute des données simplifiées que nous avons mises à la base de notre étude. En effet, nous avons admis:

- a. des particules sphériques,
- b. un diamètre constant,

- c. une disposition idéale des particules,
- d. l'intégrité de la couche d'isolant autour de chaque sphère.

Ces conditions ne sont évidemment jamais remplies dans le cas pratique; celui qui s'en rapproche le plus est celui du fer de carbonyle (fig. 3) avec 10% d'isolant: ce sont effectivement les noyaux pour lesquels f est le plus proche de 1.

En réalité, il est fort improbable qu'aux pressions employées, la matière isolante soit assez fluide pour en permettre la répartition idéale. On en conclut que les particules ne seront jamais parfaitement isolées: certaines ne le seront même pas du tout, alors que d'autres seront complètement enrobées.

D'autre part, le mélange contient encore de l'air dont il est difficile de juger de la répartition. L'ensemble de ces facteurs donne évidemment au calcul de m un caractère essentiellement théorique.

En résumé, la différence entre les valeurs de  $\mu_w$  et de  $\mu'_w$  peut être attribuée à deux facteurs principaux:

1. La forme et le volume irréguliers des particules; cette composante n'influe pas sur la densité du noyau; elle ne varie que pour des séries entières pressées à partir d'une même poudre; elle est responsable du facteur f, dont la variation reste cependant faible, même pour la poudre Aladin (fig. 4).
2. La disposition irrégulière des particules; la qualité de l'isolation, qui détermine le cisaillement de la perméabilité du noyau, dépend de la proportion en volume, de métal et d'isolant,

c'est-à-dire, du poids spécifique: elle diminue quand il s'élève, favorisant ainsi l'irrégularité de la disposition des particules.

Le rapport de la perméabilité mesurée à la perméabilité calculée augmente donc avec la densité et nous avons déterminé qu'il était proportionnel à la puissance  $2/3$  de cette densité. D'où la formule pour la perméabilité calculée corrigée que nous avons citée plus haut.

On remarque que cette expression ne contient pas la perméabilité du métal: en effet, la perméabilité efficace du noyau en est pratiquement indépendante, sitôt que  $\mu_1$  dépasse une valeur relativement peu élevée.

L'étude des pertes montre qu'alors que les pertes d'hystérésis et par effet de retardement subissent un accroissement proportionnel à la perméabilité du noyau, une isolation suffisante permet d'en rendre les pertes par courants de Foucault pratiquement indépendantes.

Cette proportionnalité de l'hystérésis et de la perméabilité initiale de nos noyaux oblige à conclure que la constante de Rayleigh croît avec le carré de la perméabilité. Les mesures effectuées confirment cette supposition. Cette constatation permet d'établir, pour notre cas, une formulation plus générale de la théorie de Lord Rayleigh.

\* \* \*

Je ne voudrais pas conclure sans exprimer ici ma reconnaissance à M. le professeur Baumann, pour l'intérêt avec lequel il a suivi mes travaux et pour tout l'appui qu'il a bien voulu leur accorder.

De même, je tiens à remercier la firme Hasler S. A. à Berne, pour l'amabilité avec laquelle elle a tenu les extraits des brevets suisses à ma disposition, et pour toute l'aide matérielle qu'elle a apportée à mes expériences.

Zurich, février 1944.