

Etude Théorique De L'Influence De L'Induction Magnétique Sur La Résistivité Electrique D'un Conducteur

Jeannot Velontsoa*^{1,2}, Remi Saray Raharinaivo**^{1,2}, Briant Kall***²

¹Direction de l'Ecole du Génie Industriel, Institut Supérieur de Technologie d'Antsiranana

³Ecole doctorale thématique « Energies Renouvelables et Environnement » de l'Université d'Antsiranana

²Ecole doctorale thématique « Ergonomie, Nature et Structure de la Matière » de l'Université d'Antsiranana

*velontsoajeannot@gmail.com

**remisaray@gmail.com

***kall201unacom



Résumé— Cet article est dédié à l'étude théorique de l'influence de l'induction magnétique sur la résistivité électrique d'un matériau. Le calcul étant fait en supposant que la température du milieu magnétisé est dans une gamme de 273 à 300K, une gamme où l'effet de la température est supposée négligeable sur l'évolution de la résistivité [5,6,7]. Le résultat de notre calcul théorique montre que l'omniprésence de soumission d'une induction magnétique et d'un champ électrique à un matériau modifie légèrement sa résistivité électrique. Ainsi la résistivité obtenue est baptisée par résistivité électromagnétique ou bien par magnéto – résistivité.

Mots clés— induction magnétique, champ électrique, résistivité électrique, milieu magnétisé.

Abstract— This article is dedicated to the theoretical study of the influence of magnetic induction on the electrical resistivity of a material. The calculations were performed assuming that the temperature of the magnetized medium is in the range of 273 to 300 K, a range where the effect of temperature on the resistivity evolution is considered negligible [5,6,7]. The results of our theoretical calculations show that the simultaneous application of magnetic induction and an electric field to a material slightly alters its electrical resistivity. Therefore, the resistivity obtained is referred to as electromagnetic resistivity or magneto-resistivity.

Keywords— magnetic induction, electric field, electrical resistivity, magnetized medium.

I. INTRODUCTION

L'électricité se déplace en courant dans des fils ou des câbles conducteurs. Plus la tension U est élevée, plus la propulsion des électrons est importante (pour un générateur). Le déplacement désordonné des électrons dans un conducteur subit un obstacle, c'est-à-dire freiné par les ions positifs de ce conducteur alors la résistivité électrique d'un conducteur représente sa capacité à s'opposer à la circulation du courant électrique [1-2]. Elle correspond à la résistance d'un tronçon de matériau de 1 m de longueur et de 1 m² de section et est exprimée en ohm·mètre ($\Omega \cdot m$) [3 – 4]. Plusieurs modèles mathématiques ont été donnés sur la résistivité à savoir le modèle de Boltzmann pour évaluer la résistivité d'un cristal covalent, le modèle d'Arrhenius pour la résistivité d'un cristal ionique, les modèles Matthiessen et Drude pour la résistivité d'un cristal métallique [4].

Notre étude est basée sur le modèle de Drude en supposant que le métal étudié est maintenu isotherme, ce qui nous permet de dire que dépourvue de l'induction magnétique la résistivité électrique d'un conducteur est constante.

II. METHODOLOGIE

A. Description du système étudié

Le système étudié est un domaine (Ω) d'une portion d'un conducteur placé dans un espace à trois dimensions (X, Y, Z) soumis à un champ électromoteur uniforme $\vec{E} = E_x \vec{i} + E_y \vec{j} + E_z \vec{k}$, et plongé dans un milieu régnant une induction magnétique de module variable $\vec{B} = B_x \vec{i} + B_y \vec{j} + B_z \vec{k}$. L'étude consiste à analyser théoriquement le comportement résistif du domaine sous la variation du module de l'induction magnétique. Le calcul de composantes de vitesse des électrons se fait en premier lieu afin de déduire la mobilité électrique des électrons pour pouvoir en tirer la résistivité du système étudié.

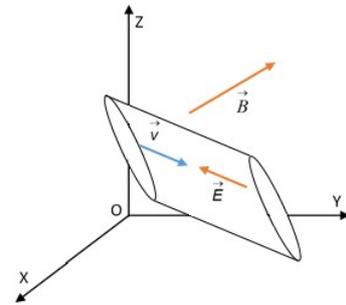


Fig 1 Charge dans une portion d'un conducteur soumise à un champ électrique et à un champ magnétique de module variable

B. Vitesse \vec{v} et mobilité μ de l'électron libre dans un conducteur

À l'intérieur d'un métal, le champ électromoteur \vec{E} maintenu par un générateur externe, accélère l'électron avec une force électrique $\vec{f}_e = e\vec{E}$ lui donne une vitesse moyenne $\vec{v} = v_x \vec{i} + v_y \vec{j} + v_z \vec{k}$. L'induction magnétique \vec{B} de l'extérieur lui applique une force supplémentaire $\vec{f}_L = e \vec{v} \wedge \vec{B}$. Mais le conducteur freine l'électron à l'aide de ses ions positifs fixes avec une force de frottement [7].

$$\vec{f}_v = -\lambda \vec{v} \quad (1)$$

La force résultante appliquée à l'électron est :

$$\vec{f} = e\vec{E} - \lambda \vec{v} + e \vec{v} \wedge \vec{B} \quad (2)$$

Selon le principe fondamental de la dynamique, on a : $m \frac{d\vec{v}}{dt} + \lambda \vec{v} - e \vec{v} \wedge \vec{B} = e \vec{E}$ (3)

Dans le repère orthonormé $(\vec{o}; \vec{i}; \vec{j}; \vec{k})$, le vecteur induction magnétique a pour composantes données par la relation suivante :

$$\begin{cases} B_x = \alpha_1 B \\ B_y = \alpha_2 B \text{ où } \alpha_1^2 + \alpha_2^2 + \alpha_3^2 = 1 \\ B_z = \alpha_3 B \end{cases} \quad (4)$$

et le vecteur champ électrique a pour composantes données à la formule suivante :

$$\begin{cases} E_x = \beta_1 E \\ E_y = \beta_2 E \text{ où } \beta_1^2 + \beta_2^2 + \beta_3^2 = 1 . \\ E_z = \beta_3 E \end{cases} \quad (5)$$

L'équation différentielle de la formule (3) peut se représenter à l'aide d'un système d'équations suivantes :

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = -\frac{\lambda}{m} v_x + \frac{e}{m} \alpha_3 B v_y - \frac{e}{m} \alpha_2 B v_z + \frac{e}{m} \beta_1 E \\ \frac{dv_y}{dt} = -\frac{e}{m} \alpha_3 B v_x - \frac{\lambda}{m} v_y + \frac{e}{m} \alpha_1 B v_z + \frac{e}{m} \beta_2 E \\ \frac{dv_z}{dt} = \frac{e}{m} \alpha_2 B v_x - \frac{e}{m} \alpha_1 B v_y - \frac{\lambda}{m} v_z + \frac{e}{m} \beta_3 E \end{cases} \quad (6)$$

Pour alléger l'écriture, on va poser :

$$\begin{cases} a = \frac{\lambda}{m} \\ b = \frac{e}{m} \end{cases} \quad (7)$$

En considérant comme condition initiale que chaque composante de la vitesse est initialement nulle, on a comme solutions :

❖ la composante de vitesse suivant (ox) v_x est:

$$v_x = \left[\frac{m_{1x} B^2 + m_{2x} B + m_{3x}}{a(a^2 + b^2 B^2)} + \frac{(n_{1x} B^2 + n_{2x}) e^{-at}}{a(a^2 + b^2 B^2)} + \frac{(k_{1x} B + k_{2x}) e^{-\lambda t} + (p_{1x} B + p_{2x}) e^{-\lambda_2 t}}{2(a^2 + b^2 B^2)} \right] E \quad (8)$$

Avec

$$m_{1x} = \beta_3 \alpha_1 \alpha_2^2 \alpha_3 b^3 + \beta_2 \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3^2 b^3 + \beta_3 \alpha_1^3 \alpha_3 b^3 + \beta_3 \alpha_1 \alpha_3^3 b^3 + \beta_1 \alpha_1^4 b^3 + \beta_1 \alpha_1^2 \alpha_2^2 b^3 + \beta_2 \alpha_1 \alpha_2^3 b^3 + \beta_2 \alpha_1^3 \alpha_2 b^3 + \beta_1 \alpha_1^2 \alpha_3^2 b^3 \quad (9)$$

$$m_{2x} = \beta_2 \alpha_2^2 \alpha_3 b^2 a + \beta_2 \alpha_1^2 \alpha_3 b^2 a - \beta_3 \alpha_2^3 b^2 a - \beta_3 \alpha_1^2 \alpha_2 b^2 a - \beta_3 \alpha_2 \alpha_3^2 b^2 a + \beta_2 \alpha_3^3 b^2 a \quad (10)$$

$$m_{3x} = \beta_1 b a^2 \quad (11)$$

$$n_{1x} = -(\beta_1 \alpha_1^2 \alpha_3^2 b^3 + \beta_3 \alpha_1 \alpha_2^2 \alpha_3 b^3 + \beta_2 \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3^2 b^3 + \beta_3 \alpha_1^3 \alpha_3 b^3 + \beta_3 \alpha_1 \alpha_3^3 b^3 + \beta_1 \alpha_1^4 b^3 + \beta_2 \alpha_2 \alpha_3^3 b^3 + \beta_1 \alpha_2^2 \alpha_1^2 b^3 + \beta_2 \alpha_2^3 \alpha_1 b^3) \quad (12)$$

$$n_{2x} = -\beta_2 \alpha_2 \alpha_1 b a^2 - \beta_1 \alpha_1^2 b a^2 - \beta_3 \alpha_3 \alpha_1 b a^2 \quad (13)$$

$$k_{1x} = -\beta_2 \alpha_2^2 \alpha_3 b^2 - \beta_2 \alpha_1^2 \alpha_3 b^2 + \beta_3 \alpha_2^3 b^2 + \beta_3 \alpha_2 \alpha_3^2 b^2 - \beta_2 \alpha_3^3 b^2 + \beta_3 \alpha_1^2 \alpha_2 b^2 + j(\beta_1 \alpha_2^2 b^2 + \beta_1 \alpha_3^2 b^2 - \beta_3 \alpha_3 \alpha_1 b^2 - \beta_2 \alpha_2 \alpha_1 b^2) \quad (14)$$

$$k_{2x} = \beta_1 \alpha_2 \alpha_1 b a - \beta_1 \alpha_3^2 b a - \beta_1 \alpha_2^2 b a + \beta_3 \alpha_1 \alpha_3 b a + j(-\beta_2 \alpha_3 b a + \beta_3 \alpha_2 b a) \quad (15)$$

$$\lambda_1 = a + j b B \quad (16)$$

$$p_{1x} = \beta_3 \alpha_2 \alpha_3^2 b^2 + \beta_3 \alpha_2 \alpha_1^2 b^2 - \beta_2 \alpha_2^2 \alpha_3 b^2 - \beta_2 \alpha_3^3 b^2 + \beta_3 \alpha_2^3 b^2 - \beta_2 \alpha_1^2 \alpha_3 b^2 + j(\beta_3 \alpha_1 \alpha_3 b^2 - \beta_1 \alpha_2^2 b^2 - \beta_1 \alpha_3^2 b^2 + \beta_2 \alpha_2 \alpha_1 b^2) \quad (17)$$

$$p_{2x} = -\beta_1 \alpha_2^2 b a - \beta_1 \alpha_3^2 b a + \beta_2 \alpha_2 \alpha_1 b a + \beta_3 \alpha_1 \alpha_3 b a + j(-\beta_3 \alpha_2 b a + \beta_2 \alpha_3 b a) \quad (18)$$

$$\lambda_2 = a - jbB \quad (19)$$

❖ la composante de vitesse v_y suivant (oy):

$$v_y = \left[\frac{m_{1y}B^2 + m_{2y}B + m_{3y}}{a(a^2 + b^2B^2)} + \frac{(n_{1y}B^2 + n_{2y})e^{-at}}{a(a^2 + b^2B^2)} + \frac{(k_{1y}B + k_{2y})e^{-\lambda_1 t} + (p_{1y}B + p_{2y})e^{-\lambda_2 t}}{2(a^2 + b^2B^2)} \right] E \quad (20)$$

avec

$$m_{1y} = \beta_3\alpha_1^2\alpha_2\alpha_3b^3 + \beta_2\alpha_2^4b^3 + \beta_3\alpha_2^3\alpha_3b^3 + \beta_3\alpha_2\alpha_3^3b^3 + \beta_1\alpha_2^3\alpha_1b^3 + \beta_1\alpha_1^3\alpha_2b^3 + \beta_1\alpha_1\alpha_2\alpha_3^2b^3 + \beta_2\alpha_1^2\alpha_2^2b^3 + \beta_2\alpha_3^2\alpha_2^2b^3 \quad (21)$$

$$m_{2y} = -\beta_1\alpha_2^2\alpha_3b^2a - \beta_1\alpha_3^3b^2a + \beta_3\alpha_2^2\alpha_1b^2a + \beta_3\alpha_1^3b^2a + \beta_3\alpha_1\alpha_3^2b^2a - \beta_1\alpha_3\alpha_1^2b^2a \quad (22)$$

$$m_{3y} = \beta_2ba^2 \quad (23)$$

$$n_{1y} = -(\beta_1\alpha_1^3\alpha_2b^3 + \beta_3\alpha_2^3\alpha_3b^3 + \beta_3\alpha_2\alpha_3^3b^3 + \beta_1\alpha_3^2\alpha_1b^3 + \beta_3\alpha_2\alpha_1^2\alpha_3b^3 + \beta_2\alpha_2^4b^3 + \beta_1\alpha_2^3\alpha_1b^3 + \beta_2\alpha_2^2\alpha_1^2b^3 + \beta_2\alpha_2^2\alpha_3^2b^3) \quad (24)$$

$$n_{2y} = -\beta_1\alpha_2\alpha_1ba^2 - \beta_2\alpha_2^2ba^2 - \beta_3\alpha_3\alpha_2ba^2 \quad (25)$$

$$k_{1y} = \beta_1\alpha_2^2\alpha_3b^2 - \beta_3\alpha_1\alpha_3^2b^2 + \beta_1\alpha_1^2\alpha_3b^2 - \beta_3\alpha_1^3b^2 + \beta_1\alpha_3^3b^2 - \beta_3\alpha_2^2\alpha_1b^2 + j(-\beta_1\alpha_2\alpha_1b^2 - \beta_3\alpha_2\alpha_3b^2 + \beta_2\alpha_3^2b^2 + \beta_2\alpha_1^2b^2) \quad (26)$$

$$k_{2y} = \beta_3\alpha_2\alpha_3ba - \beta_2\alpha_3^2ba + \beta_1\alpha_2\alpha_1ba - \beta_2\alpha_1\alpha_3ba + j(\beta_1\alpha_3ba - \beta_3\alpha_1ba) \quad (27)$$

$$p_{1y} = \beta_1\alpha_3^3b^2 + \beta_1\alpha_2^2\alpha_3b^2 + \beta_1\alpha_1^2\alpha_3b^2 - \beta_3\alpha_3^2\alpha_1b^2 - \beta_3\alpha_1^3b^2 - \beta_3\alpha_2^2\alpha_1b^2 + j(-\beta_2\alpha_1^2b^2 + \beta_3\alpha_2\alpha_3b^2 + \beta_1\alpha_2\alpha_1b^2 - \beta_2\alpha_3^2b^2) \quad (28)$$

$$p_{2y} = -\beta_2\alpha_1^2ba + \beta_3\alpha_3\alpha_2ba - \beta_2\alpha_3^2ba + \beta_1\alpha_1\alpha_2ba + j(\beta_3\alpha_1ba - \beta_1\alpha_3ba) \quad (29)$$

❖ la composante de vitesse v_z suivant (oz):

$$v_z = \left[\frac{m_{1z}B^2 + m_{2z}B + m_{3z}}{a(a^2 + b^2B^2)} + \frac{(n_{1z}B^2 + n_{2z})e^{-at}}{a(a^2 + b^2B^2)} + \frac{(k_{1z}B + k_{2z})e^{-\lambda_1 t} + (p_{1z}B + p_{2z})e^{-\lambda_2 t}}{2(a^2 + b^2B^2)} \right] E \quad (30)$$

avec

$$m_{1z} = \beta_2\alpha_1^2\alpha_2\alpha_3b^3 + \beta_2\alpha_2\alpha_3^3b^3 + \beta_1\alpha_2^2\alpha_3\alpha_1b^3 + \beta_3\alpha_1^2\alpha_3^3b^3 + \beta_1\alpha_3^3\alpha_1b^3 + \beta_3\alpha_2^2\alpha_3^2b^3 + \beta_2\alpha_2^3\alpha_3b^3 + \beta_1\alpha_1^3\alpha_3b^3 + \beta_3\alpha_3^4b^3 \quad (31)$$

$$m_{2z} = -\beta_2\alpha_1^3b^2a - \beta_2\alpha_3^2\alpha_1b^2a + \beta_1\alpha_2^3b^2a + \beta_1\alpha_3^2\alpha_2b^2a + \beta_1\alpha_2\alpha_1^2b^2a - \beta_2\alpha_1\alpha_2^2b^2a \quad (32)$$

$$m_{3z} = \beta_3ba^2 \quad (33)$$

$$n_{1z} = -(\beta_2\alpha_2^3\alpha_3b^3 + \beta_1\alpha_1^3\alpha_3b^3 + \beta_3\alpha_3^4b^3 + \beta_2\alpha_2\alpha_3\alpha_1^2b^3 + \beta_3\alpha_3^2\alpha_1^2\alpha_3b^3 + \beta_1\alpha_3^3\alpha_1b^3 + \beta_1\alpha_2^2\alpha_3\alpha_1b^3 + \beta_2\alpha_3^3\alpha_2b^3 + \beta_3\alpha_2^2\alpha_3^2b^3) \quad (34)$$

$$n_{2z} = -\beta_2\alpha_2\alpha_3ba^2 - \beta_3\alpha_3^2ba^2 - \beta_1\alpha_3\alpha_1ba^2 \quad (35)$$

$$k_{1z} = -\beta_1\alpha_2\alpha_3^2b^2 + \beta_2\alpha_1^3b^2 + \beta_2\alpha_2^2\alpha_1b^2 + \beta_2\alpha_3^2\alpha_1b^2 - \beta_1\alpha_2\alpha_1^2b^2 - \beta_1\alpha_2^3b^2 + j(-\beta_1\alpha_3\alpha_1b^2 + \beta_3\alpha_2^2b^2 + \beta_3\alpha_1^2b^2 - \beta_2\alpha_2\alpha_3b^2) \quad (36)$$

$$k_{2z} = \beta_2\alpha_2\alpha_3ba - \beta_3\alpha_1^2ba - \beta_3\alpha_2^2ba + \beta_1\alpha_1\alpha_3ba + j(\beta_2\alpha_1ba - \beta_1\alpha_2ba) \quad (37)$$

$$p_{1z} = -\beta_1 \alpha_3^2 \alpha_2 b^2 - \beta_1 \alpha_1^2 \alpha_2 b^2 + \beta_2 \alpha_1^3 b^2 + \beta_2 \alpha_2^2 \alpha_1 b^2 - \beta_1 \alpha_2^3 b^2 + \beta_2 \alpha_3^2 \alpha_1 b^2 + j(\beta_2 \alpha_2 \alpha_3 b^2 - \beta_3 \alpha_2^2 b^2 + \beta_1 \alpha_3 \alpha_1 b^2 - \beta_3 \alpha_1^2 b^2) \quad (38)$$

$$p_{2z} = -\beta_3 \alpha_1^2 ba + \beta_2 \alpha_3 \alpha_2 ba - \beta_3 \alpha_2^2 ba + \beta_1 \alpha_1 \alpha_3 ba + j(\beta_1 \alpha_2 ba - \beta_2 \alpha_1 ba) \quad (39)$$

Le second et le troisième terme de chaque composante de la vitesse correspond à la composante de la vitesse du régime transitoire de l'électron et disparaîtront dans le temps. Le régime permanent de l'électron a une vitesse de module :

$$v = \sqrt{v_{xp}^2 + v_{yp}^2 + v_{zp}^2} \quad (40)$$

$$v = \frac{E}{|a|(a^2 + b^2 B^2)} \sqrt{(m_{1x} B^2 + m_{2x} B + m_{3x})^2 + (m_{1y} B^2 + m_{2y} B + m_{3y})^2 + (m_{1z} B^2 + m_{2z} B + m_{3z})^2} \quad (41)$$

Comme

$$\left\| \vec{v} \right\| = |\mu| \left\| \vec{E} \right\| \quad (42)$$

Alors la valeur absolue de la mobilité variante est donnée par la relation suivante :

$$|\mu| = \frac{1}{|a|(a^2 + b^2 B^2)} \sqrt{(m_{1x} B^2 + m_{2x} B + m_{3x})^2 + (m_{1y} B^2 + m_{2y} B + m_{3y})^2 + (m_{1z} B^2 + m_{2z} B + m_{3z})^2} \quad (43)$$

μ est la mobilité des électrons dans le métal et a pour unité $m^2 s^{-1} V^{-1}$

C. Résistance, Résistivité, Conductivité d'un conducteur et Loi d'Ohm

Dans le conducteur dont on a précédemment étudié, l'intensité du courant qui le traverse a pour expression vectorielle :

$$\vec{I} = nSe \vec{v} \quad (44)$$

dont la densité est :

$$\vec{J} = \frac{\vec{I}}{S} = ne \vec{v} \quad (45)$$

comme, la vitesse est $\vec{v} = \mu \vec{E}$, la densité de courant vaut $\vec{J} = \mu ne \vec{E} \Leftrightarrow \vec{E} = \frac{1}{\mu ne} \vec{J} = \frac{\vec{I}}{S \mu ne}$. De $\vec{E} = -\text{grad } V$, nous avons,

$$V_A - V_B = \frac{L}{S \mu ne} I. \text{ De plus la résistance de la portion AB vaut } R = \frac{V_A - V_B}{I} \text{ alors } R = \frac{L}{S \mu ne}.$$

De $R = \rho \frac{L}{S}$, nous avons :

- ❖ la résistivité électrique $\rho = \frac{1}{\mu ne}$
- ❖ la conductivité électrique $\gamma = \frac{1}{\rho} = \mu ne$
- ❖ la loi d'Ohm locale $\vec{J} = \mu ne \vec{E} \Leftrightarrow \vec{J} = \gamma \vec{E}$

alors en prenant la relation 43, on peut déduire l'expression de la résistivité électrique et qui est donnée par la relation suivante:

$$\rho = \frac{|a|(a^2 + b^2 B^2)}{n|e|\sqrt{(m_{1x}B^2 + m_{2x}B + m_{3x})^2 + (m_{1y}B^2 + m_{2y}B + m_{3y})^2 + (m_{1z}B^2 + m_{2z}B + m_{3z})^2}} \quad (46)$$

III. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Nous avons pris comme des exemples d'applications sur le calcul de résistivités électriques celle du cuivre et celle du fer. En électrocinétique ainsi en électrotechnique, ces deux métaux sont parmi les métaux les plus utilisés.

❖ Pour le cuivre

Le cuivre a une masse molaire $M_{Cu} = 64g.mol^{-1}$, de valence $A_{Cu} = 2$ et densité $d_{Cu} = 8,78$. La concentration en électron libre n_{Cu} se calcule par la relation suivante:

$$n_{Cu} = N_A \frac{A_{Cu} d_{Cu}}{M_{Cu}} 10^6 \quad (47)$$

Avec N_A , le nombre d'Avogadro $6,022 \cdot 10^{23}$ atomes

À l'absence d'une induction magnétique, la mobilité μ_{Cu} a pour expression $\mu_{Cu} = \frac{e}{\lambda_{Cu}}$ avec e la charge élémentaire d'un électron et λ_{Cu} le coefficient de force de frottement. Ce dernier se calcule par $\lambda_{Cu} = n_{Cu} e^2 \rho_{Cu0}$ avec ρ_{Cu0} la résistivité du cuivre à l'absence d'une induction magnétique et vaut $\rho_{Cu0} = 1,725 \cdot 10^{-8} \Omega m$. La figure suivante montre la variation de la résistivité en fonction d'une induction magnétique en prenant $\alpha_1 = 0,5$, $\alpha_2 = 0,8602$, $\alpha_3 = 0,1$, $\beta_1 = 0,8$, $\beta_2 = 0,5916$ et $\beta_3 = 0,1$.

La figure 2 montre la variation de la résistivité sur une faible variation de l'induction, on constate que cette résistivité dépend fortement des inclinaisons de E et de B dans l'espace où on a placé le corps métallique. Dans le présent exemple, à une faible variation d'une induction, on voit une décroissance de la résistivité du cuivre alors la présence de l'induction modifie la résistance électrique d'un corps métallique.

Dans la figure 3, on a prolongé la valeur du module de l'induction B, on trouve qu'à une certaine valeur de ce module la résistivité prend sa valeur minimale en changeant une variation pour prendre l'allure croissante. À une importante valeur du module, on aperçoit que la résistivité tend à une valeur asymptotique horizontale, cette phase s'appelle une phase de saturation.

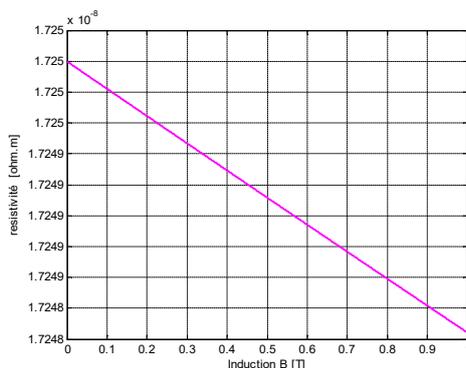


Fig 2 : Variation d'une résistivité du cuivre en fonction de module d'induction

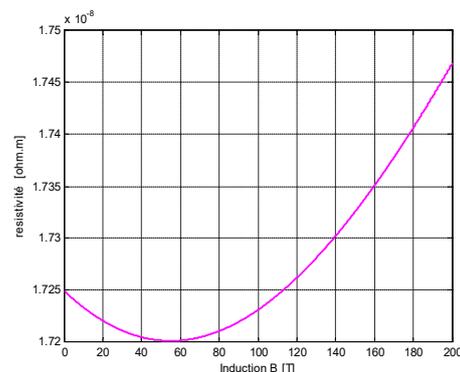


Fig 3 : Variation d'une résistivité du cuivre en fonction des valeurs fictives de module d'induction

❖ Pour le fer

Le fer a une masse molaire $M_{Fe} = 56g.mol^{-1}$, de valence $A_{Fe} = 2$ et densité $d_{Fe} = 7,87$. La concentration en électron libre n_{Fe} se calcule par la relation 48 suivante:

$$n_{Fe} = N_A \frac{A_{Fe} d_{Fe}}{M_{Fe}} 10^6 \quad (48)$$

À l'absence d'une induction magnétique, la mobilité μ_{Fe} a pour expression $\mu_{Fe} = \frac{e}{\lambda_{Fe}}$ avec e la charge élémentaire d'un électron et λ_{Fe} le coefficient de force de frottement. Ce dernier se calcule par la relation $\lambda_{Fe} = n_{Fe} e^2 \rho_{Fe0}$ avec ρ_{Fe0} la résistivité du cuivre à l'absence d'une induction magnétique et vaut $\rho_{Fe0} = 1,725.10^{-8} \Omega m$. Les figures suivantes montrent la variation de la résistivité en fonction d'une induction magnétique en prenant les données sur les facteurs des composantes suivantes $\alpha_1 = 0,5$, $\alpha_2 = 0,8602$, $\alpha_3 = 0,1$, $\beta_1 = 0,8$, $\beta_2 = 0,5916$ et $\beta_3 = 0,1$.

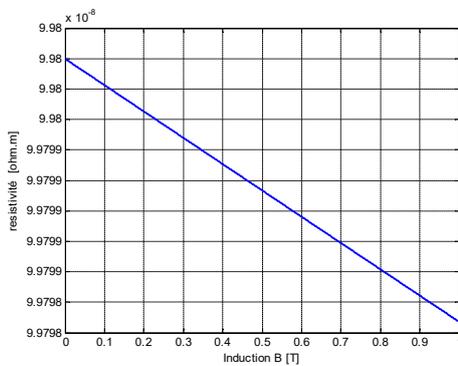


Fig 4: courbe de la résistivité du fer en fonction de module d'induction

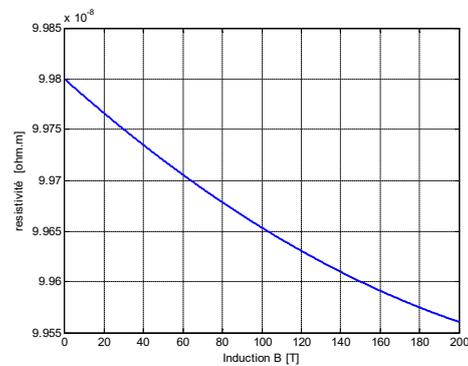


Fig 5 : courbe de la résistivité du fer en fonction de valeurs fictives de module d'induction

Dans le cadre d'une interprétation, même cas pour le fer, sa résistivité varie en fonction du module de l'induction magnétique B, sa différence à celle du cuivre que celle du fer est moins variée, c'est-à-dire que la valeur de l'induction magnétique qui sépare les deux variations opposées de la résistivité du fer est le quadruple de celle du cuivre. Le cuivre est plus exploitable.

❖ Cas particulier

Si on arrive à minimiser la valeur du coefficient de force de frottement d'électron dans le métal, d'après les figures 6 et 7 on voit qu'à une faible valeur du module de l'induction magnétique, on pourra avoir un changement d'état de variation de la résistivité. L'absence de l'induction magnétique, le coefficient de force de frottement définit la mobilité des électrons.

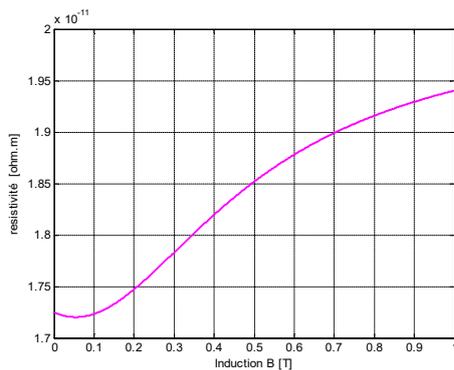


Fig 6 : courbe de la résistivité du cuivre en fonction de module d'induction pour une faible valeur du coefficient de force de frottement d'électron dans le cuivre métallique.

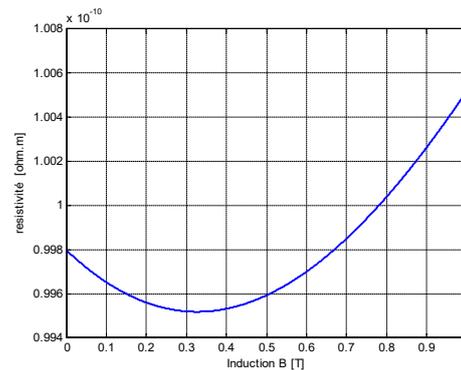


Fig 7 : courbe de la résistivité du fer en fonction de module d'induction pour une faible valeur du coefficient de force de frottement d'électron dans le fer métallique.

IV. CONCLUSION

En guise de conclusion, longtemps on dit qu'à une température constante la résistivité électrique est classifiée parmi les grandeurs constantes de la physique classique [2], dorénavant on peut affirmer par calcul qu'à la présence simultanément du champ électrique et de l'induction magnétique de module variable dans un même milieu métallique modifie légèrement le comportement résistif du métal, ainsi nous baptisons la résistivité variable responsable de la modification par une magnéto – résistivité ou par une résistivité électromagnétique. C'est-à-dire lorsqu'un conducteur est soumis à un champ électrique et est plongé dans un milieu où règne une induction magnétique de module variable, sa résistance électrique varie en fonction du module l'induction.

REFERENCES

- [1] Claude CHEVASSU, « *Machines électriques: Cours et Problèmes* »; Date: 20 juillet 2012 pp 27-33 modifié le 26/09/2013 07 :15
- [2] F.STEFENS: « *PHYSIQUE GENERAL. Electrostatique. Electromagnétisme* », EDIDEPS.Kinshasa.1985
- [3] Jean-Claude BAVAY, Jean VERDUN, « *Alliages fer-silicium* », Techniques de l'Ingénieur, traité Génie électrique D2 1 10 – 35
- [4] A. Mouillet, M. Akroune, M. Dami. « *Caractérisation des tôles Fer-Silicium en régime dynamique, pulsant*», Journal de Physique IV, 1992, 02 (C3), pp.C3-53-C3-58. <10.1051/jp4:1992307>.,<jpa-00251512>
- [5] Kharagpur University, « *Cores and Core Losses* », Version 2 EE IIT, Kharagpur. Module 6, pp 4-16
- [6] J ohn A. Fleming, « *The Alternate Current Transformer in Theory and Practice* », Vol. 2, Forgotten Books 2013, originally published 1892, www.ForgottenBooks.org
- [7] G. Chateigner, D. Bouix, M. Boies, J. Vaillant et D. Verkindère, « *Manuel de Génie électrique* », Paris, Dunod, 2007, (ISBN 978 2 10 0484499 7)
- [8] Simon C. Bell and Pat S. Bodger, « *Power transformer design using core theory and finite element analysis-a comparison of techniques*», Presented in AUPEC 2007, Perth, Western Australia, 9-12 December, 2007 ; p 2-5
- [9] Tsialefitry Aly Saandy, M. Rakotomalala, Saïd Mzè, A. F. Toro and A. Jaomiary, « *Analytical Modeling of the Steinmetz Coefficient for Single-Phase Transformer Eddy Current Loss Prediction* », International Journal of Scientific & Technology Research, Vol.4, Issue12, December 2015, pp 270-275

- [10] Tsialefitry Aly Saandy, M. Rakotomalala, Saïd Mzé, A. F. Toro and A. Jaomiary, « *Analytical Determining of the Steinmetz Equivalent Diagram Elements of Single-Phase Transformer* », International Journal of Scientific & Technology Research, Vol.4, Issue12, December 2015, pp 382-389
- [11] Jeannot VELONTSOA, Ulrich Michaël MAHAVELONA, Abdallah ATTOUMANI, Jean Edmond ZAFY, « *Influence of Magnetic Induction on the Iron Loss of a Domain and the Elements of its Equivalent Schemes* » Published on July 12, 2024 DOI: 10.21494/ISTE.OP .2024.1176 © 2024 ISTE OpenScience – Published by ISTE Ltd. London, UK – openscience.fr.
- [12] J. Laroche, « *Introduction à l'électrotechnique – fondements d'électricité et électromagnétisme* », Science Sup, Dunod, 2002.
- [13] Judicaël RAKOTOSALAMA , Jeannot VELONTSOA , Jean Nirinarison RAZAFINJAKA « *Wind generator principle with double alternator* », American Journal of Engineering Research (AJER) e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936 Volume-13, Issue-6, pp-43-51 www.ajer.org.
- [14] Jean RALISON, Tsialefitry ALY SAANDY, Avisel Fredo TORO et Jeannot VELONTSOA. « *Impact du courant de Foucault sur la détermination des éléments du schéma équivalent d'un transformateur monophasé* ». Afrique Science, Vol.11, N°4 (2015), 1 juillet 2015, <http://www.afriquescience.info/document.php?id=4878>. ISSN 1813-548X.
- [15] A. Mouillet, M. Akroune, M. Dami. *Caractérisation des tôles Fer-Silicium en régime dynamique, pulsant*»,. Journal de Physique IV, 1992, 02 (C3), pp.C3-53-C3-58. <10.1051/jp4:1992307>.,<jpa-00251512>