

Influences du Changement de Température sur la Courbe de Première Aimantation et sur les Cycles d'Hystérésis

OSAMU YAMADA

*Laboratoire d'Electrostatique et de Physique du
Métal, Grenoble, France*

Sur la courbe de première aimantation et dans le domaine de Rayleigh, un échauffement ou un refroidissement donne toujours un accroissement irréversible d'aimantation qui comprend deux parties: le premier et le deuxième effet. Pour le premier effet, la variation d'aimantation est proportionnelle à la valeur de l'aimantation et à l'amplitude de la variation de température, mais ne dépend pas du signe de la variation thermique. Pour le deuxième effet, la variation d'aimantation est aussi proportionnelle à la valeur de l'aimantation mais non à l'amplitude de la variation de température. Le deuxième effet correspond en général à une valeur différente de l'augmentation de l'aimantation suivant que l'on chauffe ou que l'on refroidit; il est accompagné de l'apparition de cycles dissymétriques. On constate que les deux effets proviennent des modifications de l'état des tensions internes produites par la variation de température.

In the Rayleigh region of the initial magnetization, heating or cooling always leads to an irreversible increase in magnetization. This phenomenon can be attributed to two effects: the first and the second effect. For the first effect, the magnitude of the change of magnetization is directly proportional to the value of magnetization itself and is also directly proportional to the change of temperature but independent of the sign of the temperature change. For the second effect, the change of magnetization is also directly proportional to the value of magnetization but is not proportional to the change of temperature. The second effect has in general a different value for heating and cooling and is accompanied by the appearance of unsymmetrical hysteresis loops. These two effects are interpreted by the change of the state of internal stress due to the change of temperature.

1. Introduction

Depuis longtemps on sait qu'une variation de température à champ magnétique constant ou nul peut provoquer le changement de l'aimantation d'un matériau ferromagnétique^{1), 2)}; ce phénomène a conduit empiriquement à un procédé de stabilisation des aimants permanents qui consiste en un léger recuit^{3, 4, 5)}. Jusqu'à présent le mécanisme de ce phénomène n'a pas été entièrement expliqué. Il ne semble pas en particulier que le changement d'aimantation, accompagnant la variation de température, soit produit par la variation d'aimantation spontanée ou par la variation thermique de l'anisotropie.

2. Superposition des deux effets

Lorsqu'un échantillon initialement désaimanté à la température T_a au moyen d'un champ alternatif lentement décroissant jusqu'à zéro et soumis à un champ magnétique

centinu, subit une variation de température de T_a à T_b , on observe une variation de l'aimantation. Après avoir vérifié que la variation de l'aimantation provoquée par la variation de température est indépendante de la vitesse du changement de la température, on a représenté dans le cas de l'échauffement l'évolution de l'aimantation d'un fil d'acier au carbone ($H_c=16$ Oe) en fonction de la température, à champ constant, pour différentes températures de désaimantation. La courbe *a* de la Fig. 1 représente la variation de l'aimantation de l'échantillon en fonction de la température soumis au champ $H=5,5$ Oe, après avoir été désaimanté à $14,4^\circ\text{C}$ et soumis au champ $H=5,5$ Oe à $14,4^\circ\text{C}$.

Sur la courbe *b* sont portées les valeurs des aimantations du même échantillon en fonction de la température, après le traitement initial suivant: désaimantation à $36,5^\circ\text{C}$, diminution de la température de $36,5^\circ\text{C}$ à $13,3^\circ\text{C}$, application de $H=5,5$ Oe à $13,3^\circ\text{C}$. On

trouve une grande différence entre les valeurs des aimantations des deux courbes *a* et *b*, correspondant à la température 60°C, par exemple, bien qu'elles aient approximativement les mêmes points initiaux. En particulier on remarque très nettement sur la courbe *b* un changement d'allure à 36,5°C, température de désaimantation: quand on dépasse la température de désaimantation, le taux de variation de l'aimantation augmente de plus en plus.

La courbe $J_{3,3} Oe(T_{16} T_{60})$ portée sur la Fig. 2 représente l'aimantation en fonction du champ

H à 60°C pour H supérieur à $H_0=3,3$ Oe, après le traitement initial suivant: désaimantation à 16°C, application de H_0 à 16°C, élévation de la température de 16 à 60°C dans ce même champ H_0 . Cette courbe se raccorde rapidement avec la courbe $J(T_{16} T_{60})$ représentant la variation de l'aimantation avec le champ, à 60°C, après désaimantation à 16°C et réchauffement dans un champ nul jusqu' à 60°C. Il en est de même si l'on prend $H_0=1,1$ Oe.

D'une manière générale, convenons de représenter par $J(T_a, T_b \cdots T_i, T_j)$ l'aimantation prise à T_j d'un échantillon soumis successivement aux températures $T_a, \cdots T_j$, désaimanté à T_a ; le champ magnétique ayant été appliqué au moment où l'échantillon possède la dernière température soulignée T_i .

Dans ces conditions, on peut admettre que la variation d'aimantation due à un échauffement de 16 à 60°C comprend deux parties dont la première que nous désignerons par $X_t(T_{16} T_{60})$ représente l'effet pur de l'échauffement et la seconde provient du changement de la courbe de l'aimantation, c'est-à-dire de la différence entre les courbes $J(T_{16} T_{60})$ et $J(T_{16})$. Par conséquent on peut écrire pour l'effet de l'échauffement:

$$X_t(T_{16} T_{60})=J(T_{16} T_{60})-J(T_{16} T_{60}) \tag{1}$$

Nous désignerons cet effet pur X_t de l'échauffement ou du refroidissement sous le nom du premier effet du à la variation de température.

La Fig. 2 montre que la courbe $J(T_{16} T_{60})$ est très différente de la courbe $J(T_{60})$, bien que les deux courbes soient mesurées à la même température 60°C. Nous désignerons cette anomalie de l'isotherme de première aimantation sous le nom du deuxième effet dû à la variation de température. En désignant par $Y_{te}(T_{16} T_{60})$ les valeurs des différences des aimantations $J(T_{16} T_{60})$ et $J(T_{60})$, nous pouvons représenter le deuxième effet par la formule suivante:

$$Y_{te}(T_{16} T_{60})=J(T_{16} T_{60})-J(T_{60}) \tag{2}$$

D'après les formules (1) et (2) on obtient:

$$X_t(T_{16} T_{60})+Y_{te}(T_{16} T_{60})=J(T_{16} T_{60})-J(T_{60}) \tag{3}$$

C'est-à-dire qu'il se produit une superposition des deux effets.

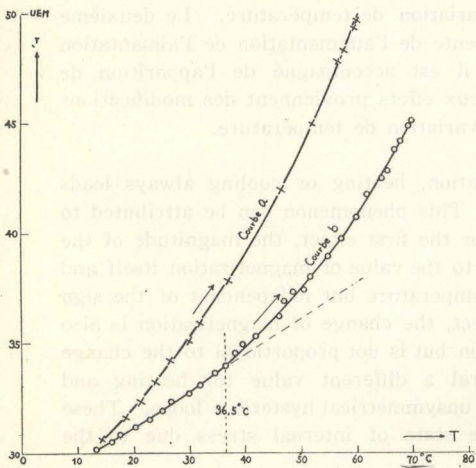


Fig. 1. Variations des aimantations d'un fil d'acier ($H_0=16$ Oe) avec la température à $H=5,5$ Oe. Courbe *a*: désaimantation à 14,4°C. Courbe *b*: désaimantation à 36,5°C.

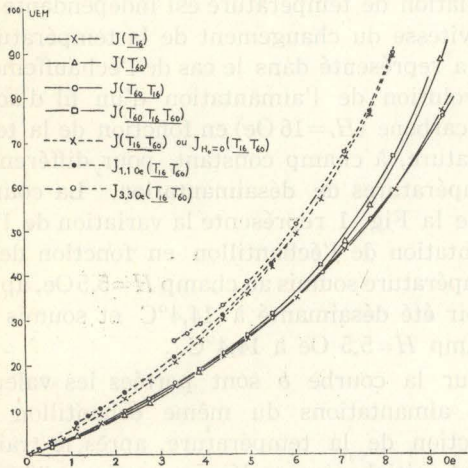


Fig. 2. Plusieurs courbes d'aimantation pour un fil d'acier ($H_0=16$ Oe).

3. Le premier effet dû à la variation de température

Si la température T_a est inférieure à la température T_b , en désignant par $X_t(T_a T_b)$ l'effet de l'échauffement et par $X_t(T_b T_a)$ l'effet du refroidissement, nous pouvons représenter d'une manière générale le premier effet par les formules suivantes:

$$X_t(T_a T_b) = J(T_a T_b) - J(T_a T_a) \quad (4)$$

$$X_t(T_b T_a) = J(T_b T_a) - J(T_b T_b) \quad (5)$$

$$X_t(T_a T_b) = J(T_b T_a T_b) - J(T_b T_a T_a) \quad (6)$$

etc.

Comme le montrent les résultats expérimentaux sur l'acier mi-doux des Fig. 3 et 4, on a obtenu pour le premier effet la formule:

$$X_t(T_a T_b) = X_t(T_b T_a) = k_t J T \quad (7)$$

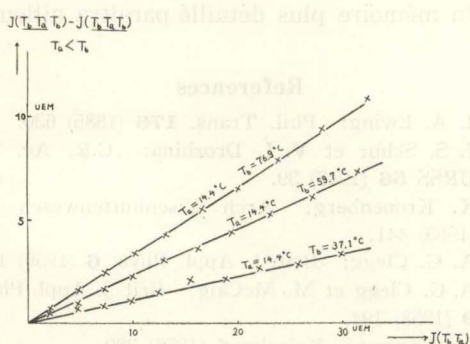


Fig. 3. Le premier effet, correspondant à la formule (6), en fonction de l'aimantation obtenue avant la variation de température sur un fil d'acier ($H_c = 16$ Oe).

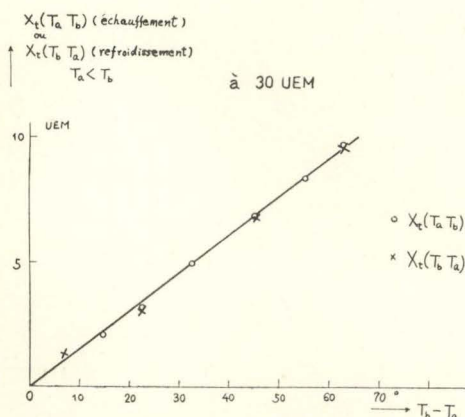


Fig. 4. Le premier effet en fonction de la différence des températures sur un fil d'acier ($H_c = 16$ Oe).

où l'on désigne par J la valeur de l'aimantation, par T la différence entre les deux températures T_a et T_b et par k_t une constante.

4. Le deuxième effet dû à la variation de température

En désignant par $Y_{te}(T_a T_b)$ la valeur du deuxième effet pour l'échauffement et par $Y_{tr}(T_b T_a)$ pour le refroidissement, nous avons:

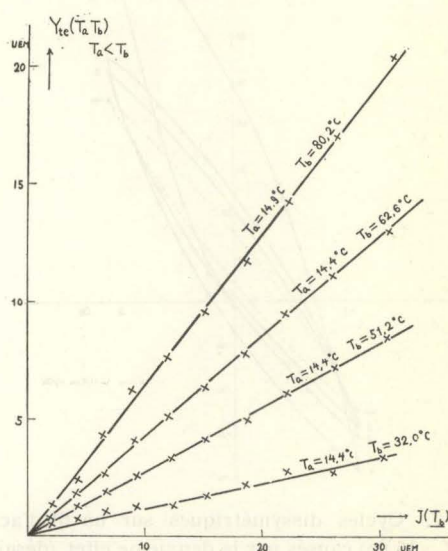


Fig. 5. Le deuxième effet en fonction de l'aimantation sur un fil d'acier ($H_c = 16$ Oe).

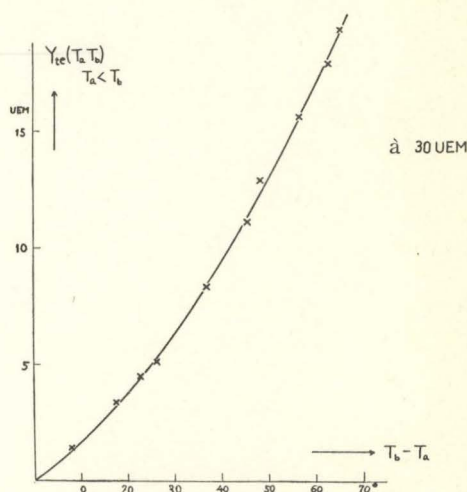


Fig. 6. Le deuxième effet dû à l'échauffement en fonction de la différence des températures sur un fil d'acier ($H_c = 16$ Oe).

$$Y_{te}(T_a T_b) = J(T_a T_b) - J(T_b) \tag{8}$$

$$Y_{tr}(T_b T_a) = J(T_b T_a) - J(T_a) \tag{9}$$

où $T_a < T_b$. Comme le montrent les résultats des Fig. 5 et 6, on obtient en général pour le deuxième effet les formules suivantes:

$$Y_{te}(T_a T_b) = k_{ye} J(T_b) T^n \tag{10}$$

$$Y_{tr}(T_b T_a) = k_{yr} J(T_a) T^n \tag{11}$$

où l'on désigne par T la différence des deux températures T_a et T_b et k_{ye} ou k_{yr} une constante; d'après les résultats de la Fig. 6, on calcule $n=1,345$.

Le deuxième effet donne toujours naissance à des cycles dissymétriques comme nous en avons montré un exemple sur la Fig. 7.

5. Contributions des parois à 180° et des parois à 90°

On a constaté que les effets dûs aux variations de température proviennent des modifications de l'état des tensions internes produites par la variation de la température. On a également constaté que le premier effet est causé par des déplacements des parois à 180° et que le deuxième effet est associé aux parois à 90°.

Un mémoire plus détaillé paraîtra ailleurs.

References

- 1 J. A. Ewing: Phil. Trans. **176** (1885) 630.
- 2 J. S. Schur et V. I. Drozhina: C.R. Ac. Sc. URSS **56** (1947) 39.
- 3 K. Kronenberg: Arch. Eisenhüttenwesen **24** (1953) 441.
- 4 A. G. Clegg: Brit. J. Appl. Phys. **6** (1955) 120.
A. G. Clegg et M. McCaig: Brit. J. Appl. Phys. **9** (1958) 194.
- 5 M. Kawano: Keisoku **6** (1956) 380.

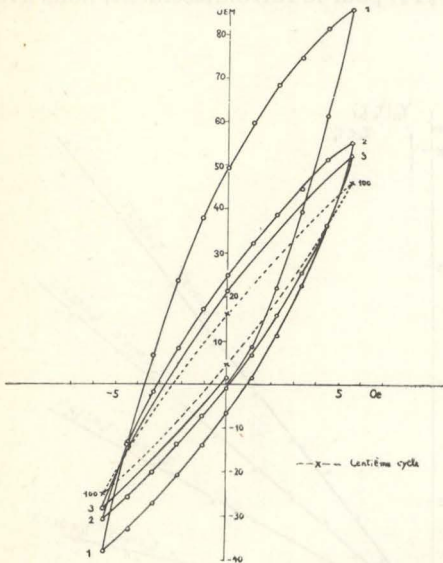


Fig. 7. Cycles dissymétriques sur un fil d'acier ($H_e=16$ Oe) causés par le deuxième effet (désaimantation à -196°C ; application des champs à 20°C).