



Aimantation anhystérétique et champ démagnétisant : l'expérience et la théorie

Louis Néel, R. Forrer, N. Janet, R. Baffie

► To cite this version:

Louis Néel, R. Forrer, N. Janet, R. Baffie. Aimantation anhystérétique et champ démagnétisant : l'expérience et la théorie. Cahiers de Physique, 1943, 17, pp.51–56. <hal-02914122>

HAL Id: hal-02914122

<https://hal.science/hal-02914122v1>

Submitted on 11 Aug 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.



HAL Authorization

AIMANTATION ANHYSTÉRÉTIQUE ET CHAMP DÉMAGNÉTISANT

L'EXPÉRIENCE ET LA THÉORIE

PAR

L. NÉEL, R. FORRER, M^{lle} N. JANET et R. BAFFIE

Laboratoire de Ferromagnétisme de Strasbourg-Grenoble

RÉSUMÉ. — Les auteurs font ressortir les divergences profondes qui séparent les diverses déterminations expérimentales de la susceptibilité anhystérétique initiale c_0 : tandis que les méthodes du tore ou du joug, relatives à des circuits magnétiques fermés, fournissent des valeurs finies, les méthodes mettant en œuvre des barreaux ou des ellipsoïdes donnent, après correction du champ démagnétisant, des valeurs infinies. Ceci est dû à ce que la correction en question n'est pas exacte sous sa forme habituelle quand il s'agit, comme ici, de phénomènes irréversibles.

La théorie proposée par M. Néel explique les discordances signalées plus haut : la susceptibilité anhystérétique initiale c , sans corrections, est donnée, en fonction du coefficient N du champ démagnétisant, par la formule : $c = (1 - e^{-c_0 N}) : N$. Dès que N est un peu grand, c est pratiquement égal à $1 : N$, ce qui donne effectivement une valeur infinie après la correction classique. En outre, les auteurs ont mesuré, sur deux espèces d'aciers à aimants, la susceptibilité anhystérétique en fonction du champ démagnétisant et vérifié la formule proposée.

Définitions. — On appelle *aimantation anhystérétique* l'aimantation \mathcal{I} prise par un ferromagnétique, placé dans un champ constant H , sur lequel on fait agir un champ alternatif dont l'amplitude, initialement grande vis-à-vis du champ coercitif, décroît lentement jusqu'à zéro. L'aimantation \mathcal{I} ne dépend que du champ H ; elle est nulle avec lui. Nous désignerons par c_0 , *susceptibilité anhystérétique*, le rapport \mathcal{I}/H .

Expériences de Steinhaus et Gumlich. — Les premières recherches sur la susceptibilité anhystérétique initiale, dans des champs H faibles, sont dues à Steinhaus et Gumlich¹. Ces auteurs ont étudié, au magnétomètre, des ellipsoïdes d'allongement modéré (1 : 20 environ) : la tangente initiale OT à la courbe anhystérétique D (fig. 1) avait un coefficient angulaire égal à l'inverse du coefficient N du champ démagnétisant, si bien qu'au point A (fig. 1), le champ démagnétisant $-N\mathcal{I}$ était égal à $-N \times CA$ c'est-à-dire \overline{AB} , égal et opposé au champ appliqué \overline{OC} : le champ interne était nul. Après correction du champ démagnétisant, la courbe anhystérétique était

1. *Verh. d. D. Phys. Ges.*, 1915, 17, 369.

donc tangente à l'axe des aimantations : autrement dit la susceptibilité anhystérétique initiale était *infinie* et on avait même donné une interprétation théorique de ce curieux phénomène.

Expériences de Kahan et de Forrer et Baffie.

Cependant, au laboratoire de P. Weiss, à Strasbourg, Kahan ², après avoir étudié au magnétomètre des fils de nickel et de cobalt très allongés (1 : 100 d'allongement), mit en évidence l'existence d'un écart entre la droite OT de coefficient angulaire 1 : N et la tangente initiale à la courbe anhystérétique. Selon le langage de Forrer ³, il y a ainsi, dans certains cas, un champ interne dit « structural » qui s'ajoute au champ démagnétisant.

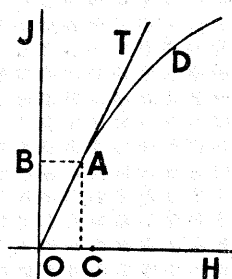


FIG. 1.

En 1942, Forrer et Baffie ⁴ déterminèrent au magnétogalvanomètre la courbe anhystérétique d'ellipsoïdes de fer-nickel-aluminium de 400 gauss de champ coercitif et constatèrent que la tangente initiale était pratiquement confondue avec la droite OT, montrant ainsi que, pour les bons aciers à aimants modernes, la susceptibilité anhystérétique initiale était infinie. Le coefficient N de champ démagnétisant avait été déterminé de deux façons concordantes, d'après les dimensions géométriques et d'après la méthode du permalloy. Les mêmes auteurs confirmèrent leurs résultats par la méthode du galvanomètre balistique appliquée à un barreau.

Expériences de Marquaire et de Néel et Janet.

Sur ces entrefaites, M. Marquaire, ingénieur principal aux Acières d'Ugine, nous fit remarquer que, d'après les nombreuses mesures qu'il avait effectuées sur des aciers à aimants, en circuit fermé, par la méthode du tore ou par la méthode du joug, il résultait que la susceptibilité anhystérétique initiale, loin d'être infinie, avait au contraire des valeurs relativement basses. Corrélativement, d'après d'abondantes observations encore inédites, effectuées depuis quelques mois par Néel et Janet sur des substances ferromagnétiques extrêmement variées, il ressort que la suscepti-

2. *J. de Physique*, 1934, 5, 9 et 463.

3. Cf. Forrer et Martak, *J. de Physique*, 1931, 2, 198.

4. *Cahiers de Physique*, 1943, n° 15, p. 57.

bilité anhystérétique initiale est toujours finie ; elle est seulement de 20 à 50 fois plus grande que la susceptibilité initiale réversible.

L'origine des contradictions entre les résultats expérimentaux.

Nous étions donc en présence de résultats essentiellement contradictoires qui pouvaient se résumer en disant que, en circuit fermé, en l'absence de champ démagnétisant, la susceptibilité initiale anhystérétique était finie, tandis qu'elle était infinie, après correction du champ démagnétisant, dans les mesures effectuées sur des ellipsoïdes.

L'un de nous⁵ remarqua alors que les raisonnements habituels, qui permettent de déduire des expériences faites sous l'action d'un champ démagnétisant ce qui se passerait en circuit fermé, ne s'appliquent en toute rigueur qu'à des phénomènes réversibles ; or l'aimantation anhystérétique est essentiellement un phénomène irréversible. Le développement de cette idée permit de calculer la susceptibilité anhystérétique apparente c , en fonction du champ démagnétisant et de la valeur c_0 en circuit fermé ; on trouve :

$$(1) \quad \frac{I}{c} = \frac{N}{1 - e^{-c_0 N}},$$

tandis que le raisonnement classique habituel donne :

$$(2) \quad \frac{I}{c} = \frac{I}{c_0} + N.$$

La formule (1) montre que la susceptibilité anhystérétique apparente devient pratiquement égale à $1 : N$ dès que $c_0 N$ dépasse quelques unités. Les discordances mises en évidence plus haut s'expliquent ainsi qualitativement.

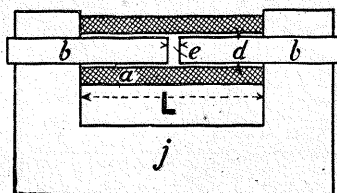


FIG. 2.

a , enroulement magnétisant.

b , barreaux à étudier.

j , joug = 10 cm ; d = 1 cm.

Il apparut ainsi nécessaire de vérifier quantitativement la formule (1). A cet effet, nous avons utilisé la méthode du joug, en remplaçant le barreau unique qui sert d'habitude par deux demi-barreaux identiques séparés par un petit entrefer d'épaisseur e , les deux extrémités opposées sont engagées dans les branches du joug (fig. 2).

5. Néel, Théorie de l'effet du champ démagnétisant sur l'aimantation anhystérétique, dans le présent *Cahier de Physique*, p. 47.

Détermination du coefficient N du champ démagnétisant.

On sait qu'un entrefer, dont l'épaisseur e est petite devant la longueur L du barreau, équivaut à un champ démagnétisant *moyen* de coefficient N égal à $4\pi e : L$, la réluctance du reste du circuit magnétique étant supposée négligeable. Cette égalité n'est d'ailleurs valable que si les dimensions transversales du barreau sont grandes vis-à-vis de e : c'est ainsi qu'avec un barreau de section carrée de 1 cm de côté et un entrefer de 0,2 mm la valeur ainsi calculée est déjà trop faible de 7 p. 100.

Dans l'hypothèse d'une aimantation rigide, on améliore aisément le calcul : on obtient ainsi pour un barreau de section carrée, de côté d :

$$(3) \quad N = \frac{4\pi e}{L} - \frac{8e^2}{Ld} \left(1 + \text{Log} \frac{2d}{e} \right).$$

Nous avons également *mesuré* N en traçant les cycles limites d'hystérésis de deux barreaux de fer doux, pour différentes valeurs de l'entrefer e , et en

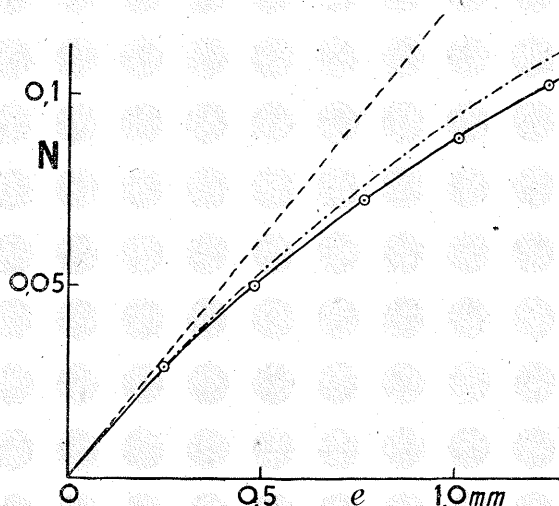


FIG. 3. — Champ démagnétisant en fonction de l'entrefer d'un barreau de 10 cm de longueur, de section carrée de 1 cm de côté, les extrémités étant court-circuitées magnétiquement.

— — — Formule élémentaire $n = 4\pi e : L$.
 — · — · — Formule (3) du texte.
 ○ points expérimentaux.

comparant les tangentes d'inflexion de ces cycles à celle du cycle $e = 0$. On déduit N de leurs pentes au moyen d'une formule du type (2). Les valeurs ainsi obtenues sont représentées par des cercles sur la figure 3, tandis que la courbe calculée d'après la formule (3) est tracée en points et traits. La courbe expérimentale, tracée en trait plein, est nettement en dessous de la courbe théorique, mais présente la même allure.

Cette différence provient en partie des approximations qui ont été faites pour simplifier la théorie, et aussi de ce que la longueur L qui figure dans la formule (3) doit être un peu supérieure à la distance des deux faces intérieures du joug. Il faut d'ailleurs remarquer que, surtout pour les grands entrefers, la notion de champ démagnétisant moyen n'a pas beaucoup de sens : le coefficient N doit dépendre, en particulier, de l'aimantation moyenne. A cet égard, il aurait été bien préférable d'expérimenter sur des ellipsoïdes de révolution plus ou moins allongés : seules des raisons temporaires d'ordre pratique nous conduisirent à adopter le dispositif décrit plus haut.

Quoi qu'il en soit, nous avons adopté dans la suite les valeurs de N ainsi déterminées expérimentalement.

Résultats des mesures.

Nous avons étudié deux barreaux en acier à aimant, Fe-Ni-Al et deux barreaux en acier à 2 % de cobalt. Pour différentes valeurs de l'entrefer e , les barreaux ont été désaimantés dans un champ alternatif décroissant, en présence d'un champ H constant faible. Lorsque ce champ est assez faible, l'aimantation \mathcal{J} obtenue lui est proportionnelle ; la susceptibilité anhystérétique correspondante $c = \mathcal{J} : H$, en c. g. s. par centimètre cube, est donnée dans le tableau ci-dessous :

NATURE DU BARREAU	e en mm	c en c. g. s.	$\frac{c_0}{c}$	N	$c_0 N$
Aimant Fe-Ni-Al $H_c \propto 400$ gauss $c_0 = 10,1$	0,	10,1	1	0	0
	0,14	9,25	1,09	0,017	0,17
	0,27	8,6	1,18	0,030	0,30
	0,52	7,55	1,34	0,053	0,53
	0,76	6,85	1,47	0,072	0,73
	1,04	6,6	1,53	0,090	0,91
Acier à 2 % Co $H_c \propto 120$ gauss $c_0 = 30,4$	0	30,4	1	0	0
	0,07	25,4	1,20	0,008	0,24
	0,15	22,4	1,36	0,018	0,55
	0,29	18,7	1,63	0,032	0,97
	0,58	13,9	2,18	0,058	1,76
	0,76	11,8	2,58	0,072	2,19

Comparaison avec les résultats théoriques.

Pour comparer ces résultats à la théorie, nous utiliserons les coordonnées réduites : $y = c_0/c$ et $x = c_0 N$, où c_0 est la susceptibilité anhystérétique vraie, sans champ démagnétisant. Dans ces conditions, la relation (1) se traduit par la courbe

$$(4) \quad y = \frac{x}{1 - e^{-x}},$$

The graph plots $y = \frac{du}{dc}$ on the vertical axis against $x = cn$ on the horizontal axis. The vertical axis has major ticks at 1, 2, and 3. The horizontal axis has major ticks at 1 and 2, with the origin labeled 'O'. Three curves originate from the point (0, 1):
 - Curve A is a dashed line with a steep positive slope.
 - Curve B is a dotted line with a moderate positive slope.
 - Curve Γ is a solid line with a positive slope less than that of curve B.
 Data points are represented by open circles and open triangles. The open circles are located on curve Γ at approximately $x = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$. The open triangles are located on curve Γ at approximately $x = 0.3, 0.5, 0.7, 1.2, 1.8$ and on curve A at approximately $x = 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 1.1, 1.3, 1.5, 1.7, 1.9, 2.1, 2.3, 2.5$.

[illegible]

Il ressort de cet exposé que l'effet du champ démagnétisant n'est pas simplement de coucher le cycle d'hystérésis, en le rapportant à des axes obliques, comme cela a été supposé jusqu'ici. Lorsqu'interviennent des phénomènes irréversibles, l'action est beaucoup plus complexe. En particulier, la courbe anhystérétique, dès que le champ démagnétisant est un peu grand, devient très rapidement tangente à la droite $\mathcal{F} = H/N$. Cette propriété peut être mise à profit dans la détermination expérimentale du champ démagnétisant.

— 6 —