
DE L'INFLUENCE
DU
CHOC SUR L'AIMANTATION RÉSIDUELLE
D'UN BARREAU DE NICKEL,

PAR M. G. BERSON,

Professeur de Physique à la Faculté des Sciences de Toulouse.

1. Je me suis proposé d'étudier comment varie le moment magnétique d'un barreau de nickel qui reçoit, dans des conditions déterminées, des chocs provenant de la chute d'une masse de bronze tombant de hauteurs connues. J'ai résolu précédemment le même problème pour l'acier (1).

Le barreau sur lequel j'ai expérimenté est une tige cylindrique de nickel à peu près pur, qui m'a servi déjà (2) à étudier l'influence de la température sur le coefficient d'aimantation du nickel. Ce barreau a une longueur de 15^{cm},06 et un diamètre de 0^{cm},57 à la température de 15°. Chaque fois qu'il doit subir une aimantation nouvelle, il est ramené préalablement à l'état neutre dans une étuve à paraffine bouillante; j'ai montré en effet qu'à 340°, température inférieure au point d'ébullition de la paraffine sous la pression ordinaire, le nickel cesse d'être magnétique et ne s'aimante pas par le refroidissement quand on le maintient perpendiculaire au champ magnétique terrestre.

L'appareil à chocs est le même qui m'a servi pour l'acier (3). Toutefois, dans la crainte de détériorer le barreau de nickel, je ne lui fais pas subir directement les chocs du mouton; ce barreau est introduit dans un trou

(1) *Annales de Chimie et de Physique*, 6^e série, t. XIV, 1888.

(2) *Annales de Chimie et de Physique*, 6^e série, t. VIII, 1886, et *Journal de Physique*, 2^e série, t. V, 1886.

(3) *Annales de Chimie et de Physique*, 6^e série, t. XIV, 1888.

cylindrique, de même diamètre que lui, creusé dans une pièce de bois dur : c'est sur cette pièce de bois que vient tomber la masse de bronze de 2400^{gr}.

2. Les moments magnétiques sont mesurés par la méthode de Gauss, le barreau de nickel étant placé dans le méridien magnétique qui passe par le centre de l'aiguille déviée. Les déviations sont lues par le procédé de Pogendorff au moyen d'une bonne lunette dont l'objectif a un diamètre de 4^{cm} et qui permet de lire au $\frac{1}{20}$ les millimètres tracés sur une échelle placée à une distance d'environ 3^m de l'aiguille et fortement éclairée. La mesure d'un moment magnétique résulte de la différence $\alpha - \beta$ des déviations obtenues quand on présente successivement à l'aiguille mobile l'un et l'autre des pôles du barreau de nickel.

La lecture d'une position de l'aiguille se fait toujours par le pointé de trois élongations successives. Toute mesure de déviation se trouve toujours comprise entre deux déterminations du zéro de l'appareil, ce qui permet de tenir compte des variations de la déclinaison pendant la durée d'une série d'expériences. Si l'appareil est bien réglé, le zéro doit correspondre à la déviation $\frac{\alpha + \beta}{2}$.

I. — Chocs sur un barreau aimanté placé dans un champ nul.

3. Le cas le plus simple à étudier est celui où le barreau aimanté est à l'abri de toute action magnétique extérieure; il n'est soumis alors qu'aux actions démagnétisantes, telles que le champ dû à son magnétisme résiduel et les réactions élastiques du milieu, et à la force coercitive.

Le cylindre de nickel ayant été recuit et aimanté préalablement dans la portion uniforme du champ d'une longue bobine, je le place dans la pièce de bois dur dont j'ai parlé plus haut et que je fixe horizontalement entre les deux montants de mon appareil à chocs. Avant l'introduction de l'aimant, j'ai réglé par tâtonnements la position de l'appareil de telle façon que la cavité cylindrique de cette pièce fût à très peu près perpendiculaire au méridien magnétique. L'action du champ terrestre se réduit alors sensiblement à la production d'une légère aimantation transversale qui n'a, comme vient de le montrer M. Paul Janet, qu'un effet très faible sur l'aimantation longitudinale.

4. Dans ce cas, le choc détermine toujours une désaimantation; une succession de chocs égaux produit une diminution graduelle du moment magnétique qui tend vers une certaine limite.

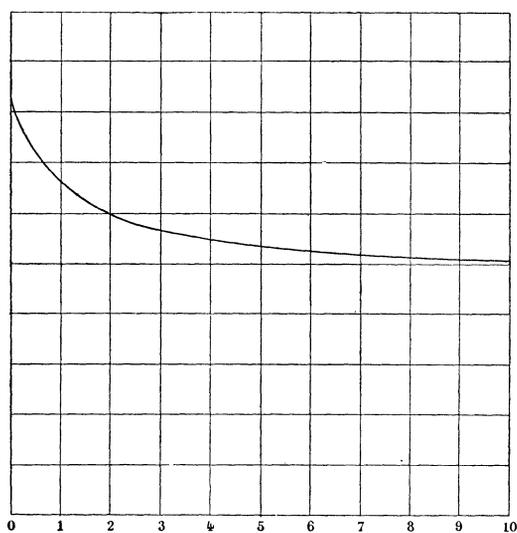
Le Tableau suivant en donne un exemple :

Tableau I.

Nombre de chocs.	Moment magnétique M.	Diminution moyenne de M pour un choc.
0.....	82,6	
1.....	65,5	17,1
2.....	59,55	5,95
3.....	56,8	2,75
5.....	53,7	1,55
10.....	50,3	0,680
20.....	47,65	0,265
30.....	46,3	0,135
70.....	41,55	0,119
100.....	39,95	0,053
150.....	38,4	0,031
200.....	37,85	0,011

On voit que la diminution du moment magnétique, forte pour le premier

Fig. 1.



choc et les quelques suivants, s'atténue rapidement. Si l'on prend pour abscisses les nombres de chocs et pour ordonnées les moments magnétiques

correspondants, la courbe figurative du phénomène ressemble à une branche d'hyperbole équilatère ayant une asymptote parallèle à l'axe des abscisses (*fig. 1*).

5. Les ordonnées de la courbe décroissent d'autant plus rapidement, pour un même moment magnétique initial, que l'intensité du choc, c'est-à-dire la hauteur h de chute du mouton, est plus considérable. Les nombres donnés dans le Tableau suivant sont relatifs à deux séries d'expériences, dans chacune desquelles les valeurs initiales du moment magnétique, très voisines d'ailleurs, ont été réduites à un même nombre, M_0 , M_1 et M_5 étant les moments magnétiques après 0, 1, 5 chocs.

Tableau II.

Première série.					Seconde série.		
$h.$	$M_1.$	$M_5.$	$\frac{M_1}{M_0}.$	$\frac{M_5}{M_0}.$	$h.$	$M_1.$	$\frac{M_1}{M_0}.$
cm					cm		
0.....	35,0	35,0	1	1	0.....	91,4	1,000
14.....	20,0	9,4	0,571	0,269	14.....	67,85	0,742
19.....	15,5	7,0	0,443	0,200	34.....	63,80	0,698
29.....	8,3	5,2	0,237	0,150	54.....	61,80	0,676
49.....	3,8	2,2	0,109	0,063	84.....	58,10	0,635
84.....	3,0	1,3	0,086	0,043			

6. Les deux séries de nombres précédents montrent en outre que, pour un même choc, la diminution relative du moment magnétique est d'autant plus marquée que le moment initial est plus petit. Le Tableau suivant mettra mieux le fait en évidence (l'unité de mesure des moments n'y est plus la même que précédemment).

Tableau III.

$$h = 84^{\text{cm}}.$$

M_0	95,30	75,25	51,10	45,85	12,60	8,50	2,0
$\frac{M_1}{M_0}$	0,682	0,674	0,646	0,522	0,412	0,345	0,300
$\frac{M_5}{M_0}$	0,512	0,508	0,476	0,330	0,242	0,164	0,013

En résumé donc, la loi sensiblement hyperbolique de décroissement du moment magnétique sous des chocs égaux dépend à la fois du moment initial et de la hauteur de chute du mouton.

II. — Chocs sur un barreau non aimanté préalablement.

7. Il ne se présente pas ici les mêmes difficultés que j'ai rencontrées pour l'acier. Il suffit, en effet, de porter le nickel dans une étuve à paraffine bouillante et de la laisser se refroidir lentement pour obtenir un barreau à l'état neutre.

Le champ magnétique dans lequel je place le barreau pendant qu'il reçoit des chocs est le champ dû à deux bobines égales, de même axe, parcourues par le même courant dans le même sens. Ces bobines sont enroulées sur la pièce de bois dur qui reçoit les chocs du mouton et qui, à cet effet, a la forme cylindrique, sauf à la partie centrale, non recouverte de fil, où doit s'abattre le mouton. Le barreau, étant disposé dans la pièce de bois constamment à la même place, sera soumis, dans les diverses expériences, à un champ magnétique de forme invariable dont la force en un point varie proportionnellement à l'intensité du courant des bobines.

8. Lorsqu'on fait passer successivement un certain nombre de fois le courant sans imprimer aucun choc, on constate que le métal s'aimante; en général, son moment magnétique, qui a pris une certaine valeur par le premier passage, s'accroît graduellement par les passages suivants et tend rapidement vers une limite. Si, lorsque cette limite est atteinte, on fait passer de nouveau le courant en donnant des chocs, il se produit un accroissement, le plus souvent très notable, du moment magnétique qui atteint finalement une limite nouvelle. Dans une série d'expériences, la première limite M était 6,8, la deuxième M' a été 22,2; dans une autre série, j'ai obtenu $M = 28,3$ et $M' = 35,7$.

9. Le rapport $\frac{M'}{M}$ est, pour un choc d'intensité donnée, d'autant plus grand que M a une valeur plus faible. Le Tableau suivant est relatif à des chutes du mouton d'une hauteur $h = 84^{\text{cm}}$.

Tableau IV.

M	28,45	26,50	21,05	9,85	9,425	7,05	4,975	3,60	1,85	1,30
M'	35,70	35,0	34,775	27,35	27,95	27,675	23,45	19,975	15,55	16,35
$\frac{M'}{M}$	1,25	1,32	1,65	2,78	2,97	3,92	4,71	5,49	8,40	12,58

On voit que dans les champs faibles le choc décuple, et au delà, le moment magnétique.

10. Lorsque la première limite M a une valeur déterminée, la deuxième limite M' est d'autant plus élevée que l'intensité du choc est plus grande, comme on en peut juger par le Tableau suivant :

Tableau V.

$h.$	$M.$	$M'.$	$\frac{M'}{M}$
{ 14.....	5,9	20,85	3,43
{ 24.....	5,9	24,40	4,14
{ 14.....	9,1	25,0	2,75
{ 19.....	8,75	25,65	2,94
{ 34.....	9,1	27,7	3,04
{ 19.....	8,05	23,60	2,93
{ 24.....	8,05	25,50	3,18
{ 44.....	8,05	27,65	3,435

11. La deuxième limite est toujours atteinte après un nombre de chocs d'autant plus petit que la hauteur de chute du mouton et l'intensité du champ sont plus grandes. Ainsi, pour $h = 84^{\text{cm}}$ dans un champ intense, la deuxième limite s'obtient par le premier choc, tandis que pour $h = 14^{\text{cm}}$, dans un champ faible, il faut une vingtaine de chocs pour faire prendre au moment magnétique sa valeur maxima M' .

12. Lorsqu'un barreau de nickel, partant d'une aimantation nulle, est placé dans un champ magnétique et y reçoit des chocs, le moment magnétique part de zéro pour atteindre au bout d'un nombre suffisant de chocs une valeur limite, et cette valeur ne diffère pas de la deuxième limite M' dont je viens de parler plus haut. La loi suivant laquelle s'accroît le moment magnétique peut être représentée géométriquement par une branche d'hyperbole équilatère asymptote à une parallèle à l'axe des chocs, de la forme

$$y = a - \frac{b}{x + c},$$

Tableau VI.

		Nombres de chocs.	γ observé.	γ calculé.
$a = 16,04$ $b = 9,063$ $c = 0,565$	}	0.....	0	0
		1.....	10,25	10,25
		2.....	12,05	12,51
		5.....	14,10	14,41
		10.....	15,25	15,18
		20.....	15,60	15,60
		∞	»	16,04

13. La limite vers laquelle tend le moment magnétique, c'est-à-dire l'ordonnée a de l'asymptote, dépend, comme c'était à prévoir, de l'intensité du choc pour un champ donné; elle varie dans le même sens que cette intensité. Dans le Tableau suivant, le champ magnétique reste constant et les hauteurs de chute du mouton sont successivement de 14^{cm} , 24^{cm} et 84^{cm} .

Tableau VII.

h .	14^{cm} .	24^{cm} .	84^{cm} .
a	14,30	16,04	18,12
b	17,16	9,063	0,272
c	1,20	0,565	0,015

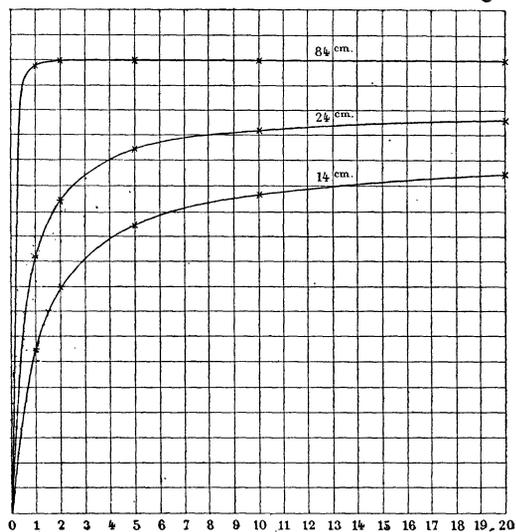
Nombres de chocs.	$h = 14^{\text{cm}}$.		$h = 24^{\text{cm}}$.		$h = 84^{\text{cm}}$.	
	γ observé.	γ calculé.	γ observé.	γ calculé.	γ observé.	γ calculé.
0.....	0	0	0	0	0	0
1.....	6,50	6,50	10,25	10,25	17,85	17,85
2.....	8,85	8,94	12,05	12,51	18,175	17,99
5.....	10,90	11,53	14,10	14,41	18,10	18,07
10.....	12,50	12,77	15,25	15,18	18,10	18,10
20.....	13,50	13,50	15,60	15,60	18,10	18,10

On peut remarquer sur ces nombres que le moment magnétique prend sa valeur maxima d'autant plus vite que h est plus grand. Ainsi, pour $h = 84^{\text{cm}}$, la limite est atteinte dès le deuxième choc, tandis qu'on en est encore loin au vingtième choc pour une chute de 14^{cm} . On le voit d'un coup d'œil sur la *fig.* 2.

14. D'autre part, lorsqu'on obtient deux moments magnétiques égaux, l'un sans le secours du choc dans un certain champ, l'autre avec l'intervention

du choc dans un champ beaucoup plus faible, on peut constater que la stabilité de ces aimantations résiduelles est sensiblement la même, c'est-

Fig. 2.



à-dire que leurs lois de décroissement dans les mêmes conditions sont très voisines l'une de l'autre.

III. — Chocs dans un champ quelconque sur un barreau aimanté.

15. J'ai expérimenté finalement sur un barreau de nickel dont l'aimantation résiduelle avait atteint sa valeur limite M par des chocs de hauteur donnée h dans un champ déterminé I ; j'ai soumis ce barreau à l'action de chocs nouveaux de hauteur h' dans un champ I' , et j'ai mesuré la limite M' du nouveau moment magnétique. Il est clair que ce problème général comprend les problèmes particuliers que j'ai étudiés précédemment.

Nous aurons à considérer tous les cas compris dans le Tableau suivant :

$$\begin{array}{l}
 \mathbf{I} \times \mathbf{I}' < 0, \\
 \\
 \mathbf{I} \times \mathbf{I}' > 0 \left\{ \begin{array}{l}
 \mathbf{I}' > \mathbf{I} \left\{ \begin{array}{l}
 h' > h, \\
 h' = h, \\
 h' < h,
 \end{array} \right. \\
 \\
 \mathbf{I}' = \mathbf{I} \left\{ \begin{array}{l}
 h' > h, \\
 h' = h, \\
 h' < h,
 \end{array} \right. \\
 \\
 \mathbf{I}' < \mathbf{I} \left\{ \begin{array}{l}
 h' > h, \\
 h' = h, \\
 h' < h.
 \end{array} \right.
 \end{array} \right.
 \end{array}$$

PREMIER CAS. — *I et I' de signes contraires.* — Lorsque la force du deuxième champ est de sens contraire à celle qui a produit l'aimantation du barreau, c'est-à-dire de même sens que la force démagnétisante, il y a toujours diminution progressive du moment magnétique qui tend vers une limite positive ou négative dépendant des valeurs relatives des deux champs et de la grandeur des chocs.

Si le deuxième champ est beaucoup plus intense que le premier et si les chocs nouveaux sont beaucoup plus forts que les autres, le moment magnétique sera renversé. Si au contraire la force du deuxième champ est beaucoup plus faible que celle de l'autre et de même les chocs beaucoup plus petits, le moment magnétique conservera finalement son premier signe. Entre ces deux hypothèses extrêmes, il y a place pour plusieurs hypothèses intermédiaires, la limite du moment magnétique étant fonction des quatre variables indépendantes \mathbf{I} , \mathbf{I}' , h et h' .

SECOND CAS. — *I et I' de même signe :*

1° $\mathbf{I}' > \mathbf{I}$. Pour $h' \geq h$, il y aura toujours accroissement de l'aimantation du barreau qui tendra vers la même limite \mathbf{M}' que si le barreau partait d'une aimantation nulle. Ainsi le barreau, qui dans un certain champ \mathbf{I} avait pris pour des chocs de 14^{cm} de hauteur un moment $\mathbf{M} = 41,9$, a été placé ensuite dans un champ \mathbf{I}' à peu près double et a reçu des chocs de 29^{cm} de hauteur; on a obtenu alors $\mathbf{M}' = 47,1$, ce qui est sensiblement la valeur du moment quand le barreau non aimanté préalablement est placé dans ce dernier champ \mathbf{I}' et y reçoit des chocs de 29^{cm}. Le cas particulier $\mathbf{I} = 0$, $h = 0$, a été étudié précédemment.

Pour $h' < h$, il peut y avoir accroissement du moment magnétique, surtout si I' est notablement plus grand que I . Ainsi, pour I produit par le courant de cinq couples Meidinger et $h = 54^{\text{cm}}$, on obtient $M = 8,6$; 2 éléments au bichromate de potasse donnant un champ $I' > I$, avec $h = 14^{\text{cm}}$, déterminent $M' = 12,75$. Autre exemple : pour I produit par 1 élément au bichromate et $h = 84^{\text{cm}}$, on a $M = 7,45$; puis pour I' dû à quatre couples de même nature et $h' = 14^{\text{cm}}$, le moment s'élève à $M' = 22,85$. Mais, généralement, l'accroissement du moment magnétique est insensible ou nul : ainsi, avec 3 Meidinger et $h = 64^{\text{cm}}$, on a $M = 8,6$, puis avec 5 Meidinger et $h' = 54^{\text{cm}}$, on obtient seulement $M' = 8,7$; de même, avec $h = 34^{\text{cm}}$ et le courant de 6 Bunsen, on mesure $M = 46,7$, et M' prend la même valeur quand on opère ensuite avec 10 Bunsen et une chute $h = 14^{\text{cm}}$.

2° $I' = I$. Pour $h' \leq h$, les chocs nouveaux n'ont aucune influence sur l'aimantation du barreau, c'est-à-dire $M' = M$. Le fait est évident dans le cas de l'égalité des chocs; dans le cas de chocs plus faibles, il résulte de la lecture des nombres suivants :

$$\begin{array}{ll} h = 84^{\text{cm}}, & h' = 14^{\text{cm}}, \\ M = 17,15, & M' = 17,1. \end{array}$$

Pour $h' > h$, le moment magnétique s'accroît toujours et prend la même valeur finale que si le barreau partait d'une aimantation nulle : ainsi le barreau de nickel, aimanté par des chocs de 84^{cm} dans un champ donné, prend un moment magnétique égal à 18,1; si, le barreau ayant été ramené à l'état neutre, on fait les deux expériences suivantes, on trouve

$$\begin{array}{ll} h = 14^{\text{cm}}, & h' = 84^{\text{cm}}, \\ M = 13,50, & M' = 18,10. \end{array}$$

De même, après avoir reproduit l'état neutre, on trouvera

$$\begin{array}{ll} h = 24^{\text{cm}}, & h' = 84^{\text{cm}}, \\ M = 15,60, & M' = 18,10. \end{array}$$

On voit donc que le moment maximum obtenu par des chocs de 84^{cm} est indépendant de l'aimantation initiale produite avec des chocs plus faibles.

3° $I' < I$. Pour $h' \leq h$, il y aura toujours abaissement du moment magnétique, qui tendra vers la même limite que s'il partait de zéro. Ainsi,

On trouve les nombres suivants

$$\begin{array}{lll} \mathbf{I}, & h = 84^{\text{cm}}, & \mathbf{M} = 43,6, \\ \mathbf{I}' = \frac{\mathbf{I}}{4} \text{ environ,} & h' = 84^{\text{cm}}, & \mathbf{M}' = 20,9, \end{array}$$

et la valeur 20,9 est précisément celle qu'atteint le moment magnétique dans le même champ \mathbf{I}' quand il n'y a pas d'aimantation préalable.

Pour $h > h'$, il pourra y avoir augmentation ou diminution du moment magnétique suivant les conditions de l'expérience. Exemple : avec le champ \mathbf{I} dû à 1 Bunsen et $h = 14^{\text{cm}}$, on trouve $\mathbf{M} = 43,55$, et avec le champ \mathbf{I}' dû à un couple au bichromate et $h' = 84^{\text{cm}}$, on obtient $\mathbf{M}' = 21,65$; au contraire, j'ai déterminé les nombres suivants :

$$\begin{array}{lll} \mathbf{I} (4 \text{ Meidinger}), & h = 14^{\text{cm}}, & \mathbf{M} = 7,25, \\ \mathbf{I}' (3 \text{ Meidinger}), & h' = 64^{\text{cm}}, & \mathbf{M}' = 8,70. \end{array}$$

Nous avons traité, au commencement de cette étude, le cas particulier $\mathbf{I}' = 0$.

Conclusion. — Ces différents phénomènes sont en général analogues à ceux que présente l'acier et trouvent leur explication dans l'hypothèse d'un métal formé de molécules à forces coercitives diverses, les vibrations produites par des chocs d'intensité donnée ne rendant temporairement libres que les molécules dont la force coercitive est inférieure à une certaine valeur correspondante.

Au point de vue pratique, il résulte de mes recherches sur l'acier et le nickel : 1° qu'avec un champ de faible intensité on peut donner à un barreau une aimantation résiduelle considérable, à la condition de le mettre en vibration pendant qu'il est dans le champ; 2° qu'il y a lieu d'éviter avec le plus grand soin les trépidations dans les machines à aimants permanents, trépidations qui abaissent rapidement la valeur du moment magnétique.

