



HAL
open science

Recherches sur l'aimantation de la magnétite cristallisée

Pierre Weiss

► **To cite this version:**

Pierre Weiss. Recherches sur l'aimantation de la magnétite cristallisée. J. Phys. Theor. Appl., 1896, 5 (1), pp.435-453. 10.1051/jphysap:018960050043500 . jpa-00239938

HAL Id: jpa-00239938

<https://hal.science/jpa-00239938>

Submitted on 4 Feb 2008

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.

RECHERCHES SUR L'AIMANTATION DE LA MAGNÉTITE CRISTALLISÉE⁽¹⁾;

Par M. PIERRE WEISS.

INTRODUCTION.

Des quatre corps qui forment le petit groupe des substances fortement magnétiques : le fer, le nickel, le cobalt et l'oxyde de fer magnétique Fe^3O^4 , le dernier se trouve dans la nature en cristaux de dimensions souvent considérables appartenant au système cubique. Il m'a paru intéressant de rechercher, sur cet exemple, l'influence que pourrait exercer l'orientation des particules élémentaires dans un corps cristallisé sur cet autre phénomène d'orientation qu'est probablement l'aimantation.

La magnétite compacte a été l'objet d'un certain nombre de recherches. Steinmetz⁽²⁾ a donné le tracé de quatre cycles d'aimantation. Mais on ne possède presque aucun renseignement sur l'aimantation de la magnétite cristallisée. M. H. du Bois⁽³⁾ a déduit incidemment de l'étude du phénomène magnéto-optique de Kerr une valeur de l'aimantation à saturation perpendiculaire à la face de l'octaèdre; mais la méthode qu'il emploie ne peut rien apprendre sur l'aimantation en-deçà de la saturation.

Parmi les cristaux que j'ai eus à ma disposition, j'ai pu tirer parti :

- 1° D'octaèdres du Zillertal, dans le Tyrol ;
- 2° De dodécaèdres des gisements classiques de Traverselle et de Brozzo, dans le Piémont.

Toutes les faces de ces derniers cristaux sont couvertes de stries parallèles à la grande diagonale du losange, dont la régularité garantit l'orientation uniforme de la matière.

Plusieurs des échantillons dont j'ai disposé étaient d'une pureté et d'une homogénéité très satisfaisantes dans l'étendue de fragments de plusieurs centimètres, notamment un cristal de Brozzo, sur lequel a été faite la série la plus complète des mesures.

Dès les premières expériences, je me suis aperçu que l'aimanta-

(1) Résumé d'un mémoire plus étendu, qui a paru dans l'*Éclairage électrique* ; 1896.

(2) STEINMETZ, *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, vol. IX, p. 671; 1892.

(3) H. DU BOIS, *Phil. Mag.*, 5^e série, t. XXIX, p. 301; 1890.

tion n'était pas la même pour des directions différentes par rapport aux axes cristallographiques, contrairement à ce qui a lieu dans les phénomènes optiques, pour lesquels les cristaux cubiques sont isotropes. J'ai alors eu recours à deux procédés différents pour étudier les variations de l'aimantation avec la direction. D'abord, j'ai employé des prismes taillés suivant les directions des axes quaternaire, binaire et ternaire, sur lesquels j'ai pu déterminer avec précision les courbes représentant les valeurs que prend l'aimantation pour des champs variant dans des limites très étendues. Puis, j'ai opéré sur des disques, au moyen desquels j'ai étudié les valeurs de l'aimantation en fonction de la direction dans un champ extérieur de grandeur constante et d'orientation variable.

A. — EXPÉRIENCES SUR LES PRISMES.

1° *Principe de la méthode de mesure.*

Que les mesures d'aimantation soient faites par la méthode magnétométrique ou par la méthode balistique, leur principale difficulté réside dans la détermination du champ résultant du champ extérieur et du champ démagnétisant produit par le corps lui-même. On a recours, pour vaincre cette difficulté, à certaines formes particulières du corps, telles que le tore, le cylindre très long par rapport à son diamètre, ou l'ellipsoïde, pour lesquelles le champ démagnétisant est nul ou calculable.

Il était difficile, par suite de la petitesse des échantillons de magnétite, de se placer dans ces conditions. Je me suis servi de la méthode balistique, en la modifiant de façon à mesurer le champ directement, comme l'aimantation, par une impulsion du galvanomètre. Elle permet alors de se servir des baguettes relativement courtes que l'on peut tailler facilement dans les cristaux de magnétite par les procédés des opticiens.

Supposons que le corps aimanté et le champ magnétisant aient un plan de symétrie commun coupant normalement les lignes de force et la surface du corps et qu'il n'y ait dans le voisinage de ce plan de symétrie de variation brusque ni de la section du corps, ni du champ magnétique.

Quand on traverse la surface d'un corps aimanté, la composante du champ tangentielle à la surface est continue. Dans le plan de symé-

trie, cette composante tangentielle existe seule ; on pourra donc, dans ce plan, identifier, avec une certaine approximation, le champ à l'intérieur du corps avec le champ extérieur mesuré dans le voisinage immédiat de la surface. Pour faire cette mesure, j'ai placé la baguette de magnétite avec la bobine induite qui l'entoure dans un champ magnétique variable. Cette bobine induite est composée de deux parties de même nombre de tours de fil, la première aussi rapprochée que possible de la surface du corps, et la deuxième entourant la première à une certaine distance. Les deux parties étant accouplées dans le même sens, une impulsion du galvanomètre balistique mesure le flux total traversant la bobine, c'est-à-dire, à une correction près, l'intensité d'aimantation ; puis, le sens de la bobine intérieure étant renversé, l'ensemble des deux bobines est équivalent à une bobine unique, dont la section est l'espace annulaire compris

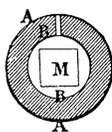


FIG. 1.

entre les deux bobines. Dans la (*fig. 1*), A et B représentent schématiquement les parties extérieure et intérieure de la bobine, et M, la magnétite. La section efficace dans cette deuxième partie de l'expérience est la surface couverte de hachures. Une nouvelle impulsion donne alors le flux passant dans cette région annulaire, c'est-à-dire le champ dans le voisinage immédiat du corps.

J'ai employé cette méthode de la double bobine dans des champs inférieurs à 500 unités, que l'on peut aisément obtenir avec des bobines sans fer, mais elle est beaucoup plus générale et permet de produire le champ avec des électro-aimants, sans qu'il soit nécessaire de s'occuper de la loi d'aimantation des pièces en fer. On pourrait ainsi étudier facilement les variations cycliques de l'aimantation dans des champs de plusieurs milliers d'unités, expériences qui n'ont encore été faites par aucune méthode précise.

Mais cette méthode n'est correcte que si l'assimilation du champ dans le voisinage du corps au champ extérieur est légitime ; on doit donc soumettre l'uniformité du champ à une discussion dans chaque cas particulier.

Il y a un cas assez général où l'on peut prévoir que la méthode se trouvera en défaut, c'est celui où le champ démagnétisant annule à peu de chose près le champ extérieur, comme cela arrive pour les cylindres en fer gros et courts. Le champ mesuré est alors la différence de deux champs à peu près égaux et dont les écarts de l'uniformité ne suivent, en général, pas la même loi et peuvent prendre une valeur prépondérante par rapport au champ résultant.

On peut porter remède à cet inconvénient en prolongeant les cylindres courts sur lesquels on opère par des pièces de fer placées symétriquement aux deux extrémités, dont l'effet est de diminuer le champ démagnétisant ou même de changer son signe, de sorte que le champ résultant est une somme, au lieu d'être une différence.

La (fig. 2) montre de quelle manière cette double bobine a été réalisée expérimentalement. Les appareils qu'elle représente sont placés dans une forte bobine, au moyen de laquelle on obtient facilement un champ de 500 C. G. S. La magnétite MM est entourée de la double bobine d , composée de deux parties de 500 tours chacune. Aux points P, P', la magnétite se raccorde avec les cylindres en fer F, F'.

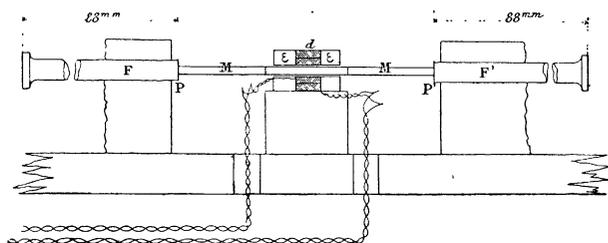


FIG. 2. — Magnétite et bobine induite.

Le barreau de magnétite n'était jamais composé d'une seule pièce, mais d'une partie centrale assez longue pour placer les joints bien au dehors de la bobine et de prolongements symétriques taillés dans le même cristal suivant la même orientation. Les surfaces terminales, dressées avec soin, assuraient une continuité magnétique suffisante.

Le galvanomètre employé dans les mesures balistiques est l'instrument à aiguilles verticales qui a été décrit antérieurement dans ce recueil ⁽¹⁾.

(1) *Journ. de Phys.*, 3^e série, t. IV, p. 212; 1893.

2° Résultats.

Je ne résumerai ici que les expériences sur la magnétite de Brozzo, qui sont les plus complètes. Les courbes T, B, Q, de la figure 3 représentent l'intensité d'aimantation en fonction du champ pour les directions de l'axe ternaire, binaire et quaternaire, mesurée sur des prismes parallèles à ces trois directions, tirés d'un même cristal.

Dans la plus grande étendue de la courbe, l'aimantation dans la direction de l'axe ternaire est maxima; elle est très voisine de l'aimantation suivant l'axe binaire, tandis que l'aimantation suivant

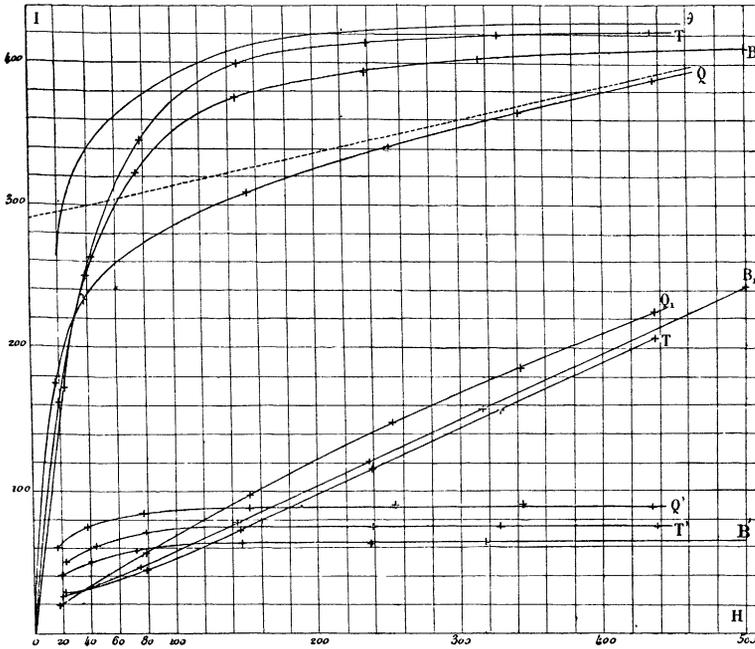


FIG. 3. — Courbes d'aimantation de la magnétite de Brozzo.

1° Aimantation totale

2° Aimantation résiduelle

Courbe T direction de l'axe ternaire

Courbe T' direction de l'axe ternaire

» B » » binaire

» B' » » binaire

» Q » » quaternaire

» Q' » » quaternaire

» θ Voir le texte.

3° $\frac{H}{I}$ en fonction de H

Courbe T₁ direction de l'axe ternaire

» B₁ » » binaire

» Q₁ » » quaternaire

l'axe quaternaire est nettement inférieure; les trois courbes ont leur maximum d'écartement pour un champ voisin de 150 unités, pour lequel les ordonnées sont à peu près comme

$$15 : 18 : 19.$$

Elles se coupent dans le voisinage de $H = 16$ et se placent dans l'ordre inverse entre cette valeur de H et zéro. Cette particularité ne se retrouve pas dans tous les échantillons. Pour la magnétite du Tyrol que j'ai étudiée, les courbes se placent dans le même ordre, dans les champs élevés, et ne se coupent pas dans le voisinage de l'origine.

Les deux courbes T et B ont la forme habituelle des courbes d'aimantation des métaux fortement magnétiques. La courbe Q, au contraire, s'en distingue en ce qu'au lieu d'une asymptote horizontale, comme les deux autres, elle semble avoir une asymptote inclinée d'un angle α , tel que $\operatorname{tg} \alpha = 0,235$ environ.

Plusieurs auteurs ont montré que, pour les différentes variétés de fer, l'approche de la saturation se fait suivant une branche de courbe hyperbolique.

Les courbes T_1 , B_1 , Q_1 (fig. 3), représentent l'inverse $\frac{1}{k}$ de la susceptibilité magnétique en fonction de H pour les directions des axes ternaire, binaire, quaternaire. Les deux premières se confondent avec des droites à partir de $H = 120$ C. G. S. L'inverse du coefficient angulaire de ces droites est égal à la valeur de l'aimantation à saturation; on trouve ainsi: 437 et 432, valeurs identiques, eu égard aux erreurs d'expérience et aux impuretés possibles de la matière. La courbe correspondant à l'axe quaternaire ne permet pas une semblable extrapolation. Mais il est vraisemblable que l'aimantation tend aussi vers la même valeur.

3° Hypothèse sur la structure de la magnétite.

Nous pouvons rendre compte des différentes particularités présentées par ces courbes par l'hypothèse suivante. Imaginons un cristal composé de trois systèmes de lames parallèles aux faces du cube séparées par des couches d'une substance non magnétique. Ces lames s'entrecroisent et constituent une sorte de réseau cubique,

dans lequel les plans qui limitent la maille sont magnétiques, et l'intérieur de la maille, non magnétique.

Si l'on aimante le corps ainsi composé parallèlement à son axe ternaire, les trois systèmes de lames font avec la direction de l'aimantation des angles de $35^{\circ} 16'$, et l'ensemble se comporte pour cette direction comme une substance homogène.

Le champ étant dirigé suivant l'axe binaire, deux des systèmes de lames sont inclinés à 45° sur cet axe et sont dans des conditions un peu moins favorables à l'aimantation que dans le cas précédent. Le troisième système, au contraire, contient l'axe binaire et s'aimante facilement.

Pour l'aimantation parallèle à l'axe quaternaire, deux des systèmes contiennent la direction de l'aimantation; le troisième, au contraire, lui est perpendiculaire et s'aimante avec une extrême difficulté, et son aimantation sera sensiblement proportionnelle au champ. On doit donc s'attendre à trouver pour l'aimantation parallèle à l'axe quaternaire une courbe résultant de la sommation des ordonnées d'une première courbe correspondant aux $\frac{2}{3}$ de la matière placée dans des conditions de facile aimantation et d'une deuxième droite représentant l'aimantation du dernier tiers de la matière. Cette courbe résultante aura donc une asymptote inclinée dont l'ordonnée à l'origine est égale aux $\frac{2}{3}$ de l'aimantation à saturation. Cette condition semble remplie par la courbe expérimentale Q (*fig.* 3). L'ordonnée à l'origine de la ligne figurant l'asymptote hypothétique est :

$$290 = \frac{2}{3} \cdot 435.$$

Comme contrôle de cette hypothèse, on peut déduire des courbes expérimentales la courbe de la substance placée dans les conditions de plus facile aimantation. Il suffit de retrancher, dans la courbe Q, la partie de l'aimantation proportionnelle au champ donnée par l'asymptote et de multiplier la différence par 3. On obtient ainsi la courbe ϑ (même figure), qui, comme cela devait être, est au-dessus de la courbe représentant l'aimantation parallèle à l'axe ternaire et semble tendre vers la même aimantation à saturation que celle-ci.

On conçoit que si, dans les directions parallèles aux axes binaire et ternaire, la magnétite se comporte sensiblement comme une subs-

tance homogène, la loi linéaire :

$$\frac{1}{k} = a + bH,$$

soit observée.

Supposons que, pour l'aimantation parallèle à l'axe quaternaire, les $\frac{2}{3}$ de la substance obéissent à la formule :

$$\frac{H}{I} = a + bH.$$

Pour le troisième tiers, dont l'aimantation est proportionnelle au champ, on aurait :

$$\frac{H}{I} = \frac{1}{k'} = a',$$

et pour l'ensemble :

$$\frac{H}{I + I'} = \frac{1}{\frac{1}{a + bH} + \frac{1}{a'}}.$$

Cette formule hyperbolique correspond bien à la courbure *concave* du côté de l'axe des abscisses de la courbe Q_1 .

La (*fig. 3*) contient encore les courbes représentant l'aimantation résiduelle pour les trois directions des axes. Elle est sensiblement constante à partir de $H = 150$ C. S. G. Elle est maxima pour l'axe quaternaire, minima pour l'axe binaire. Ceci ne semble pas être en contradiction avec notre hypothèse sur la structure de la magnétite.

On peut, avec le coefficient angulaire de l'asymptote de la courbe Q , calculer le rapport de l'épaisseur des feuillets magnétiques que nous avons imaginés à celle de la matière non magnétique interposée. Nous pouvons, avec une approximation suffisante, supposer que toute la résistance magnétique réside dans les intervalles non magnétiques. Soient γ l'épaisseur de la matière magnétique par unité d'épaisseur totale, et ρ la résistance magnétique apparente de l'ensemble ; on a :

$$\rho = 1 - \lambda,$$

mais :

$$\rho = \frac{1}{1 + 4\pi k},$$

et :

$$k = 0,235,$$

d'où :

$$\lambda = 0,75.$$

Cette épaisseur de la matière magnétique, bien supérieure à celle des intervalles non magnétiques, rend impossible l'enchevêtrement des trois systèmes de lames, en leur conservant des propriétés indépendantes. Nous ne pouvons donc considérer la structure hypothétique que comme équivalente *qualitativement* à la structure réelle.

Pour les détails concernant l'application de la méthode balistique, je renvoie le lecteur au mémoire original.

B. — EXPÉRIENCES SUR LES DISQUES.

4° Principe de la deuxième méthode de mesure.

Les expériences précédentes ne portent que sur les directions des axes de symétrie du cristal. Il était désirable d'avoir des renseignements sur l'aimantation dans d'autres directions. De plus, on peut objecter à ces expériences que l'identité absolue de la matière n'est pas démontrée, bien que des barreaux de différentes orientations aient été taillés dans le même cristal présentant de grandes garanties d'homogénéité.

J'ai pu mesurer l'aimantation en dehors des axes et comparer sa valeur dans différentes directions sur le même échantillon en employant des disques de magnétite.

La méthode employée est encore une forme de la méthode balistique. Les impulsions du galvanomètre mesurent les variations du flux d'induction traversant une bobine induite unique entourant le disque suivant un diamètre.

L'appareil qui a servi dans ces mesures est représenté dans les (*fig. 4 et 5*). Le disque de magnétite est collé avec un peu de cire sur un disque de laiton de même diamètre supporté par une petite tige fixée dans l'axe de la plateforme d'un goniomètre de Babinet. Les angles de rotation de la plateforme sont mesurés au moyen d'une alidade dont l'excursion est limitée par deux butoirs.

La bobine induite *b* (*fig. 5*) se compose de deux parties de 40 tours, laissant passer entre elles la tige qui supporte le disque. Elles sont reliées par un support flexible en plomb, permettant les réglages, à la pièce qui, dans le goniomètre, porte la lunette. On fixe cette pièce

ou on limite sa course par deux autres butoirs, et les angles dont elle tourne sont lus sur le cercle divisé.

Un grand aimant A (fig. 4) en fer à cheval est suspendu au-dessus du goniomètre et porte, par simple attraction magnétique, deux pièces polaires P en fer doux qui produisent un champ sensiblement uniforme dans toute l'étendue du disque. Ce champ a été mesuré par le galvanomètre balistique au moyen d'une bobine composée de trois tours de diamètre exactement connu et a été trouvé égal à 353 unités. Une masse de plomb M donne la stabilité nécessaire à l'appareil.

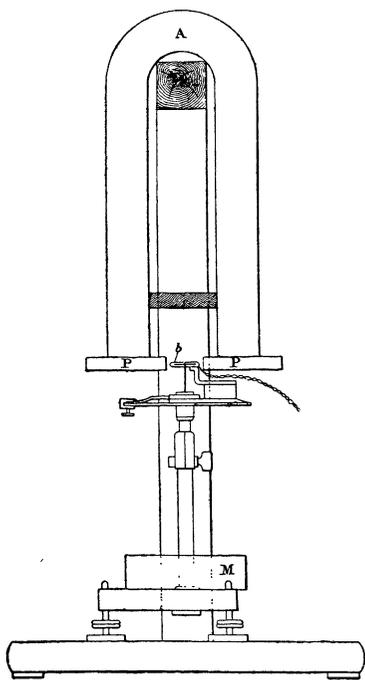


FIG. 4. — Appareil pour la mesure de l'aimantation des disques de magnétite.

Échelle $\frac{1}{10}$.

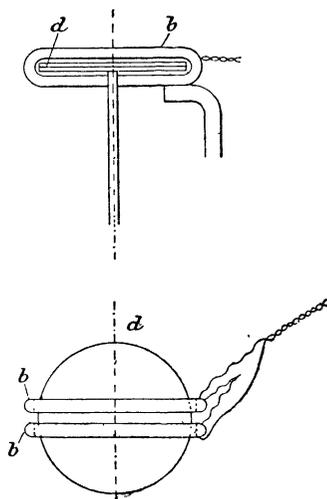


FIG. 5. — Grandeur naturelle.

Pour ne pas perdre de vue l'importance relative des différences d'aimantation par rapport à l'aimantation totale, j'ai cherché à déterminer la valeur de cette dernière avec la même unité que ces différences, pour un rayon arbitrairement choisi.

La sensibilité du galvanomètre étant réduite dans un rapport déterminé expérimentalement, et le disque étant fixé de façon à faire coïncider un maximum ou un minimum d'aimantation avec le champ, on fait tourner brusquement la bobine de 180° à partir de la position où elle est traversée par le flux maximum. On mesure ainsi deux fois le flux total.

On fait ensuite la même mesure après avoir enlevé le disque de magnétite. On a ainsi le flux HS' , provenant du champ extérieur H traversant la bobine d'aire S' . La différence des deux mesures donne l'intensité correspondant au rayon origine.

Ces déterminations préliminaires faites, on opère comme il suit : le plan des spires de la bobine étant réglé perpendiculairement au champ magnétique, on cherche par tâtonnements quelles sont les positions pour lesquelles le galvanomètre balistique ne donne aucune impulsion quand on fait tourner le disque d'un très petit angle. La grande sensibilité du galvanomètre permet de déterminer, par cette méthode de zéro, la position des maxima et des minima d'aimantation.

Puis, on fait décrire au disque toute la portion de la circonférence qui n'est pas rendue inaccessible par le support de la bobine, c'est-à-dire près de 300° , en passant brusquement d'un maximum ou minimum au minimum ou maximum suivant. On note l'impulsion correspondante. La somme algébrique de ces impulsions donne alors la différence entre un maximum ou un minimum quelconques et le rayon vecteur origine.

La précision des observations est suffisante pour permettre d'additionner un grand nombre d'impulsions sans craindre de trop augmenter les erreurs par leur accumulation. D'ailleurs, l'égalité des rayons vecteurs distants de 180° constitue une bonne vérification des mesures.

Le détail du tracé de la courbe représentant l'aimantation en fonction de la direction est ensuite arrêté par la mesure de la différence entre les rayons vecteurs d'un certain nombre de points intermédiaires et les maxima et minima voisins.

5° Composante de l'aimantation perpendiculaire au champ.

Pour les expériences sur les barreaux taillés parallèlement aux axes de symétrie du cristal, il est naturel de penser que la direction

de l'aimantation est celle du champ magnétisant parallèle au barreau. Les mêmes raisons de symétrie n'existent pas quand on aimante un disque suivant un azimut quelconque. Les expériences décrites ci-dessus ne mesurent, par conséquent, pas l'aimantation totale, mais la composante de l'aimantation perpendiculaire au plan des spires de la bobine. Dans le cas général, il y a une composante normale au champ située dans le plan du disque et une composante normale au disque. Je n'ai pas tenu compte de cette dernière, dont l'influence est négligeable⁽¹⁾.

Quant à la composante perpendiculaire au champ située dans le plan du disque, je l'ai déterminée en plaçant le plan des spires de la bobine parallèlement au champ et en opérant comme pour la composante principale.

Il résulte de la discussion de l'influence du champ démagnétisant⁽²⁾ que l'aimantation normale peut être trouvée de $\frac{1}{10}$ environ trop faible par rapport à l'aimantation parallèle au champ.

6° Résultats.

Je ne donnerai que les résultats concernant la magnétite de Brozzo. Ils ont été pleinement confirmés par l'étude d'un certain nombre de disques de magnétite de Traverselle.

J'ai opéré sur six disques de 20 millimètres de diamètre et de 0^{mm},3 d'épaisseur taillés dans la magnétite de Brozzo ;

- 1° Deux disques parallèles à la face du cube ;
- 2° Deux disques parallèles à la face du dodécaèdre ;
- 3° Deux disques parallèles à la face de l'octaèdre.

L'orientation de ces disques est repérée au moment de la taille avec une grande précision, grâce aux stries parallèles aux axes binaires qui couvrent toutes les faces dodécaédriques.

Le disque une fois amené à l'épaisseur voulue, on le colle, pour le consolider, sur un couvre objet de microscope de même diamètre sur lequel sont tracées d'avance des lignes de repère, que l'on fait coïncider, au moment du collage, avec celles de la magnétite.

(1) Voir le mémoire original.

(2) Voir le mémoire original.

α . — Disques parallèles à la face du cube.

Les observations faites sur le premier disque parallèle à la face du cube ont été représentées graphiquement dans la (fig. 6) en portant sur les rayons vecteurs issus d'un point des longueurs proportionnelles à l'aimantation. La courbe extérieure qui représente la composante de l'aimantation parallèle au champ présente nettement la symétrie quaternaire ; les maxima d'aimantation correspondent aux axes binaires ; les minima, aux axes quaternaires.

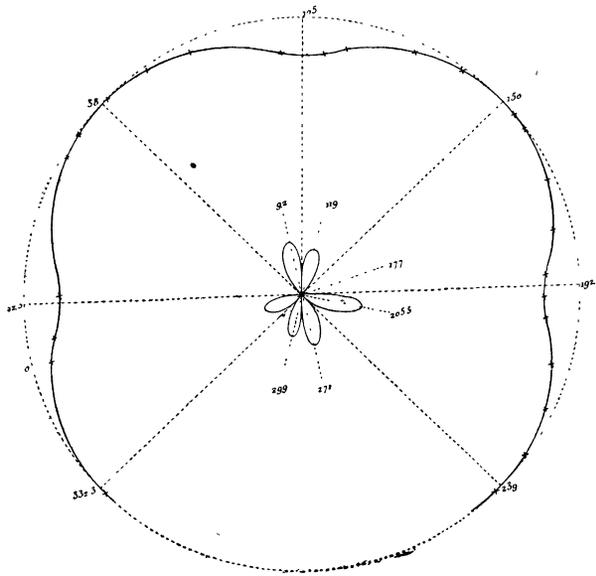


FIG. 6. — *Magnétite de Brozzo*. Premier disque parallèle à la face du cube. Aimantation parallèle et perpendiculaire au champ. Les lignes pointillées indiquent les maxima et les minima.

La courbe plus petite au centre représente la composante de l'aimantation normale au champ. Comme on devait s'y attendre, elle passe par l'origine pour les rayons vecteurs qui correspondent aux maxima et aux minima de l'aimantation parallèle au champ. Entre deux directions pour lesquelles elle est nulle, l'aimantation normale au champ passe par un maximum qui est plus voisin de la position du minimum de l'aimantation parallèle au champ que du maximum. L'aimantation tourne donc plus vite que le champ, quand il s'écarte

d'un axe d'aimantation minima et moins vite quand il s'écarte d'un axe d'aimantation maxima.

La courbe de l'aimantation normale au champ se compose donc de huit boucles occupant chacune une région angulaire de 45° . Six d'entre elles seulement ont été déterminées et sont représentées dans la (*fig. 6*). Les dissymétries assez grandes qu'elles présentent sont dues probablement aux fissures du disque. Leur influence néanmoins ne masque pas la symétrie quaternaire, qui est indiquée avec netteté par la position des six maxima.

Le deuxième disque parallèle à la face du cube donne lieu à des courbes identiques et confirme les résultats précédents.

β. — Disques parallèles à la face du dodécaèdre.

La (*fig. 7*) représente les observations sur le premier disque parallèle à la face du dodécaèdre, de la même manière que la figure précédente celles du disque parallèle à la face du cube; le deuxième disque conduit à des courbes identiques.

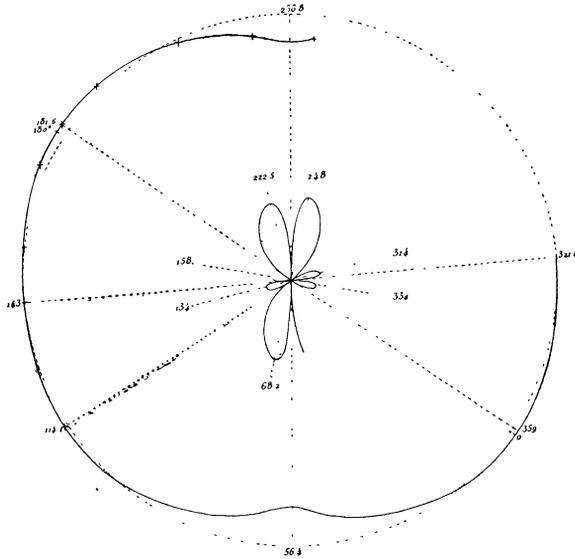


FIG. 7. — *Magnétite de Brozzo*. Premier disque parallèle à la face du dodécaèdre. Aimantation parallèle et perpendiculaire au champ. Les lignes pointillées indiquent les maxima et minima.

L'aspect général des courbes représentant l'aimantation parallèle

et perpendiculaire au champ (*fig.* 7) est encore conforme à ce que faisait supposer la symétrie cubique.

Trois maxima correspondant à des axes ternaires ont été déterminés directement et donnent pour le demi-angle aigu entre les axes ternaires les deux déterminations :

32°,5,
33°,7.

Rapprochons de ces valeurs celles qui sont déduites des observations sur le deuxième disque de la même magnétite de Brozzo :

30°,1
28°,2,

et d'un disque de magnétite de Traverselle :

31°,2
31°,7,

ces valeurs ne sont pas trop éloignées de la valeur théorique :

35°,16.

On remarquera la valeur relativement grande de l'aimantation transversale pour les directions du champ comprises entre l'axe ternaire et l'axe quaternaire, et la plus grande obliquité par rapport au champ extérieur est de 18°. Or, le champ modifié par l'action démagnétisante du disque est incliné par rapport au champ extérieur en sens inverse de l'aimantation. Il en résulte que l'inclinaison de l'aimantation sur le champ magnétisant vrai est plus grande et atteint 20° environ.

γ. — Disques parallèles à la face de l'octaèdre.

Les expériences sur deux disques parallèles à la face de l'octaèdre, taillés dans la magnétite de Brozzo, ont montré des propriétés sensiblement identiques dans toutes les directions.

Pour un disque provenant d'un petit cristal de Traverselle, particulièrement pur et homogène, les variations de la composante de l'aimantation parallèle au champ ont atteint 0,16 0/0 de sa valeur, et la grandeur trouvée pour la composante normale au champ conduit à une obliquité de moins de 1 demi-degré.

On peut en conclure que la magnétite se comporte comme une sub-

stance isotrope pour toutes les directions contenues dans une face de l'octaèdre.

Si l'on porte sur tous les rayons issus d'un point l'aimantation que prend la matière dans un champ de grandeur constante, dirigé suivant le rayon considéré, on obtient donc une surface ayant la symétrie du système cubique. Pour la valeur du champ que nous avons utilisée, elle ressemble à un cube à faces creuses et à arêtes arrondies. Cette surface présente quatre sections cycliques parallèles aux faces de l'octaèdre. Le rapport de l'aimantation dans différentes directions varie beaucoup avec la grandeur du champ. L'aspect de cette surface magnétique doit donc être très variable; ce qu'il importe de noter plus que sa forme dans tel ou tel cas particulier, c'est la concordance très satisfaisante de sa symétrie avec celle du système cubique.

*7° Interprétation des expériences sur les disques
par la structure de la magnétite.*

J'ai cherché à obtenir des courbes analogues à celles données par la magnétite au moyen d'un système magnétique de structure convenable, formé d'une substance isotrope. J'ai employé à cet effet un disque de toile de fer de 20 millimètres de diamètre, composé de deux systèmes de fils rectangulaires.

Quand on place ce disque dans un champ magnétique un peu intense, l'une des directions à 45° sur les fils s'oriente énergiquement suivant les lignes de force. La direction des fils est donc un minimum d'aimantation et doit jouer le même rôle que l'axe quaternaire de la magnétite. C'est bien ce qu'ont montré des mesures faites par le procédé employé pour la magnétite et représentées dans la (*fig. 8*).

La courbe extérieure, en traits pleins, représente l'aimantation parallèle au champ. La courbe intérieure représente la composante transversale. Ces courbes sont assez semblables à celles du disque de magnétite parallèle à la face du cube.

Dans l'hypothèse sur la constitution du cristal de magnétite, suivant laquelle il se comporterait comme un enchevêtrement de trois systèmes de plans rectangulaires de matière magnétique séparés par des couches non magnétiques, les fils de la toile métallique seraient analogues aux baguettes découpées par le plan du disque

dans les deux systèmes de lames qui lui sont perpendiculaires. Pour représenter le troisième, qui est parallèle au plan du disque, il faudrait ajouter à celui-ci un disque de fer continu dont la masse serait égale à celle de l'un des systèmes de fils. Ce disque ajouterait à

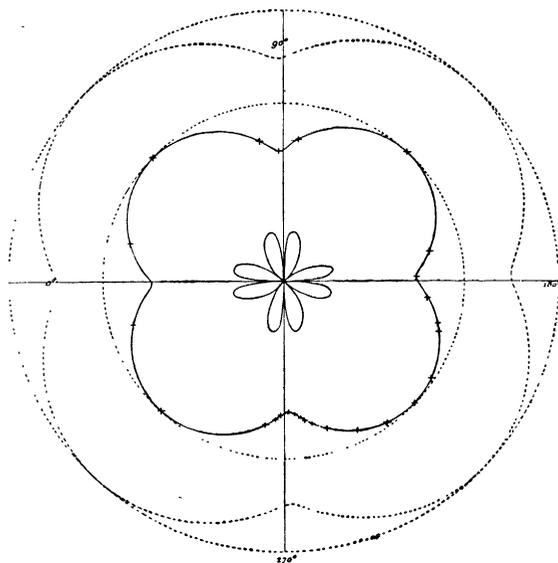


FIG. 8. — Disque de toile métallique. Aimantation parallèle et perpendiculaire au champ.

l'aimantation observée une aimantation constante, égale à la moitié du maximum de l'aimantation de la toile métallique.

En modifiant ainsi la courbe trouvée expérimentalement, j'ai obtenu la courbe pointillée de la (fig. 8). Elle ressemble encore davantage à celle de la magnétite.

8° *Expériences qualitatives.*

On peut mettre en évidence les propriétés magnétiques des disques non isotropes par des expériences qualitatives très simples.

Si l'on pose un disque de magnétite D (fig. 9) sur un plan de verre V placé intérieurement sur l'une des branches d'un aimant A, dont le champ est vertical, le disque se place verticalement dans le plan de symétrie de l'aimant et, tout en glissant vers la région où le champ

est maximum, s'oriente de façon à diriger un de ses axes d'aimantation maxima parallèlement au champ.

Si on l'écarte de sa position d'équilibre par une rotation, il y revient énergiquement, à moins que, par suite d'un écart un peu grand, un autre axe d'aimantation maxima ne se substitue au premier.

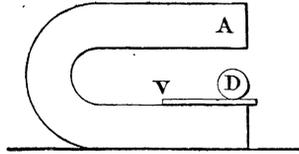


FIG. 9.

Le disque parallèle à la face de l'octaèdre ne montre aucune tendance à s'orienter.

Nous avons vu plus haut que le champ magnétique est dévié dans l'intérieur du disque en sens inverse de l'aimantation. A l'extérieur, au contraire, on doit avoir une déviation du champ de même sens que l'aimantation, mais moins accentuée.

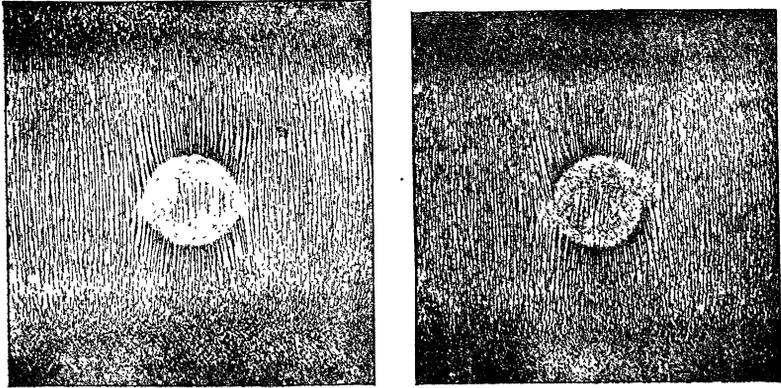


FIG. 10. — Déformation d'un champ magnétique par un disque de magnétite parallèle à la face du dodécaèdre. Position symétrique.

FIG. 11. — Déformation d'un champ magnétique par un disque de magnétite parallèle à la face du dodécaèdre. Position dissymétrique.

On peut mettre ces déformations du champ en évidence au moyen des spectres magnétiques. Les photographies (fig. 10 et 11) représentent le champ déformé par un disque parallèle à la face du dodé-

caèdre placé dans la (*fig. 10*), symétriquement par rapport au champ et se comportant comme un disque isotrope, et placé dans la (*fig. 11*), à peu près suivant l'orientation donnant la dissymétrie maxima du champ.

Elles ont été faites dans un champ plus faible que celui des mesures, pour donner au champ démagnétisant une importance relative plus grande. Le disque était fixé sous la plaque photographique avec un peu de cire. On saupoudre de limaille la face gélatine, à la lumière rouge, et on impressionne avec une flamme de gaz. On obtient ainsi le négatif, dont les épreuves ci-jointes sont les copies positives.