

---

**SUR LES SPECTRES MAGNÉTIQUES PRODUITS AU MOYEN DE SUBSTANCES  
PEU MAGNÉTIQUES;**

PAR M. E. COLARDEAU.

Parmi les procédés mis en pratique pour étudier les variations de la direction des forces actives aux divers points d'un champ magnétique, l'un des plus usités et des plus commodes consiste, comme on sait, à projeter de la limaille de fer sur une feuille de

papier, placée dans ce champ. Les grains s'arrangent en chapelets longitudinaux dont l'ensemble donne un tracé des lignes de force.

Si, au lieu d'une feuille de papier, on emploie une lame de tôle d'épaisseur très faible et comparable à celle de cette feuille de papier, et si on la place sur les deux pôles d'un électro-aimant, elle s'aimante par influence au voisinage de ces pôles et, en y projetant de la limaille, on voit celle-ci dessiner le spectre magnétique ordinaire, formé par les files de grains ayant la direction générale des lignes de force, c'est-à-dire allant à peu près d'un pôle à l'autre par un trajet plus ou moins incurvé.

Mais l'effet produit est tout autre quand on réalise ce spectre avec une poudre très fine présentant, à un degré moyen, les propriétés magnétiques. En enfermant cette poudre dans un sachet de toile et en secouant celui-ci avec précaution au-dessus de la lame de fer, on voit la poudre se porter d'abord en amas considérables sur les points de la plaque placés immédiatement au-dessus des arêtes des pièces polaires; c'est là, en effet, que se trouve concentrée l'énergie magnétique maxima. De plus, dans tout l'espace interpolaire, la poudre s'arrange d'elle-même en filets donnant lieu à un spectre magnétique, dont on facilite la formation en donnant sur les bords de la lame une série de petits chocs qui l'ébranlent et permettent à la poudre de s'arranger.

Mais, chose remarquable, les filets de ce spectre, au lieu d'être, comme on pouvait s'y attendre, dirigés sensiblement d'un pôle à l'autre, suivant les lignes de force magnétiques, forment précisément un système orthogonal, c'est-à-dire sont dirigés suivant les lignes équipotentielles.

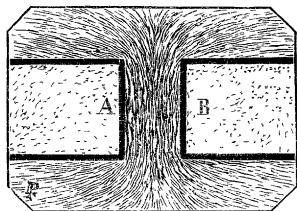
La *fig. 1* ci-jointe représente assez fidèlement ce dispositif de la poudre; A, B sont les deux pièces polaires rectangulaires dont les arêtes sont nettement dessinées par un fort amas de matière, et entre lesquelles se trouve l'ensemble des lignes en question.

Pour faciliter la comparaison, la *fig. 2* représente le spectre ordinaire, tel que le donne la poudre de fer sur une plaque mince de cuivre ou de verre. L'ensemble des deux figures montre bien les relations entre les deux espèces de spectres, dont les lignes sont orthogonales.

On réalise pratiquement l'expérience d'une façon beaucoup plus commode et plus satisfaisante en mettant la poudre fine de ma-

tière peu magnétique, en suspension dans l'eau additionnée d'un peu de gomme pour retarder la précipitation, ou mieux dans un vernis clair de gomme laque dans l'alcool. En déposant, avec une pipette, une couche de ce liquide sur la lame mince de fer placée à cheval sur les pôles de l'électro-aimant, et en mettant celui-ci en activité, on voit un mouvement s'opérer dans la masse des par-

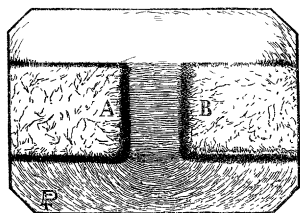
Fig. 1.



ticules en suspension, et celles-ci viennent se déposer dans les conditions indiquées plus haut. Le vernis, en s'évaporant, les emprisonne et fixe leur image d'une façon durable.

C'est, en réalité, d'après les résultats donnés par ce procédé, que les *fig.* 1 et 2 ont été dessinées en grandeur naturelle.

Fig. 2.



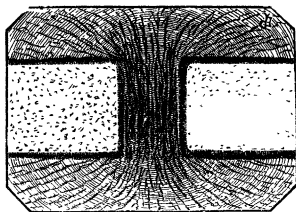
Toutes les poudres qui sont *notablement magnétiques, sans cependant l'être à un degré trop élevé*, montrent nettement cet effet. Une de celles qui donnent les meilleurs résultats est celle de sesquioxyde de fer, sous forme de fer oligiste cristallisé, soyeux et friable. Mais on réussit également bien avec l'oxyde rouge (colcothar), l'oxyde des battitures, les divers oxydes de nickel et de cobalt, etc.

Les poudres inertes non magnétiques (ou qui ne le sont du

moins qu'à un degré très faible) ou les poudres diamagnétiques ne donnent rien, au moins avec les intensités magnétiques mises en jeu dans ces expériences.

Enfin, si l'on emploie des poudres *fortement magnétiques*, telles que l'oxyde magnétique naturel, le fer, le nickel, le cobalt réduits par l'hydrogène, l'effet est plus complexe. Le dépôt de la poudre a lieu sous la forme d'un réseau constitué par l'ensemble des deux systèmes de lignes à la fois et le dessin obtenu résulte de la superposition des *fig. 1* et *2*, comme l'indique précisément la *fig. 3*. On voit que les lignes de force du champ initial (*fig. 2*) s'y dessinent comme auparavant, sans exclure cependant le système orthogonal de la *fig. 1*.

Fig. 3.



Ce double réseau, par sa complication même, est plus difficile à réussir avec les poudres sèches que le simple spectre orthogonal. Mais on l'obtient sans peine en mettant les poudres en suspension dans l'eau (surtout avec l'oxyde magnétique naturel).

Ces mêmes résultats se reproduisent d'une façon constante et très régulière, pour toutes les formes possibles de pièces polaires (rectangulaires, circulaires, cylindriques, etc.). Ils se reproduisent également quand on remplace la lame mince de fer par une d'un autre métal très magnétique, tel que le nickel. Ils deviennent plus diffus quand la lame a une trop grande épaisseur, car on s'éloigne alors des pièces polaires. Enfin ils disparaissent d'une façon complète quand on emploie des lames non magnétiques, telles que le cuivre, le zinc, l'étain, etc.

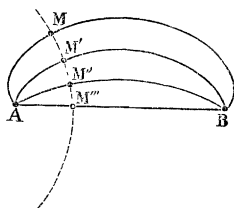
Nous pensons que les considérations suivantes peuvent fournir une explication satisfaisante des phénomènes observés.

Soient deux pôles magnétiques de noms contraires A et B (*fig. 4*),

et une ligne de force  $AMB$  allant de l'un à l'autre. Plaçons dans le plan de la figure des grains de matière magnétique. Ils vont s'aimanter par influence et prendre un pôle austral du côté de  $B$  et boréal du côté de  $A$ . Considérons, en particulier, ceux de ces grains qui sont sur la ligne  $AMB$ , et supposons-les suffisamment serrés pour qu'ils soient en contact les uns avec les autres. S'ils sont fortement aimantés (c'est le cas du fer par exemple), ils adhèrent solidement les uns aux autres et forment un ensemble solidaire assimilable à un système de perles enfilées sur le fil  $AMB$ .

Or on sait que toute ligne de force présente une propriété remarquable énoncée par Faraday et interprétée théoriquement par Maxwell. D'après ces physiciens, elle est assimilable à un fil

Fig. 4.



élastique tendu et elle cherche constamment à se raccourcir. Si donc nos grains de poudre, rangés le long de  $AB$ , n'éprouvaient aucun frottement sur leur support, la ligne suivant laquelle ils sont étalés, tendant à se raccourcir, se mettrait en mouvement tout d'une pièce et viendrait occuper successivement les positions  $AMB$ ,  $AM'B$ ,  $AM''B$ , ..., jusqu'à  $AM'''B$  qui est la ligne de longueur minima. Si cela ne se produit pas spontanément dans l'expérience du spectre magnétique ordinaire, cela tient à ce que les grains éprouvent des frottements sur la feuille de papier qui les soutient, ou s'arc-boutent les uns contre les autres pour s'opposer au raccourcissement de la ligne. Mais tout le monde a pu voir ce raccourcissement s'opérer effectivement si l'on a soin de donner à la feuille de papier une série de petits chocs qui l'ébranlent et favorisent le mouvement des grains.

Dans ce mouvement d'ensemble de toute la file, considérons l'un des grains  $M$  en particulier. Il se déplace avec les autres et

passé successivement en M, M', M'', M'''. Il est aisé de voir qu'il trace, dans le plan, une trajectoire qui est orthogonale aux lignes de force. Si donc il abandonnait à chaque instant, sur la feuille de papier, quelques parcelles de sa propre matière, ces parcelles s'étaleraient dans le plan normalement aux lignes de force.

Ceci posé, admettons maintenant que la poudre, au lieu d'être très magnétique, ne le soit que médiocrement. Les grains, tout en s'aimantant, n'auront les uns pour les autres qu'une adhérence très faible. Mais cela ne les empêchera pas d'éprouver, de la part du champ qui est assez énergique, les actions qui se traduisent sous une forme imagée par le raccourcissement des lignes de force. Pour prendre une comparaison, ces grains se trouveront pour ainsi dire dans le même cas que deux corps matériels de dimensions restreintes, placés à la surface du globe terrestre. Leur attraction réciproque est inappréciable à cause de leur faible masse, mais cela ne les empêche nullement d'être pesants, c'est-à-dire d'être sollicités, chacun pour leur compte, et d'une façon assez intense, dans le champ de la pesanteur terrestre qui est très énergique.

Revenons alors à notre file de grains placés sur AMB. Nous voyons que, leurs attractions mutuelles étant faibles, ils cessent d'être solidaires les uns des autres d'une façon appréciable. Alors cette ligne de force qui les contient, en se raccourcissant graduellement par les chocs imprimés à la plaque, va laisser en route ceux de ces grains qui auront rencontré une rugosité ou un obstacle quelconque facile à imaginer, tandis que les autres continueront leur chemin.

Si une seconde ligne de grains, en train de se raccourcir, vient alors à passer derrière la première, les grains déjà arrêtés vont bloquer à leur tour les nouveaux arrivants, et ainsi de suite. Ils deviendront donc, pour ainsi dire, chefs de file pour une série de grains qui s'arrêteront successivement contre cet obstacle. Et alors l'obstacle s'allongera lui-même peu à peu dans la direction d'où arrivent les grains, c'est-à-dire normalement aux lignes de force. De là les traînées observées dans ce spectre magnétique d'un nouveau genre qui couvre bientôt toute la plaque.

Rien n'empêche de suivre à la loupe les déplacements produits dans les grains par les chocs imprimés à la plaque (ou dans la

masse de liquide qui facilite les mouvements). On voit alors que ces déplacements ont bien lieu pour chaque grain, comme nous venons de l'expliquer, et que les files s'allongent peu à peu dans la direction du mouvement.

On conçoit aisément que, d'après leur mode même de formation, ces filets puissent présenter plus d'épaisseur transversale et avoir des contours moins nettement arrêtés que ceux que l'on observe suivant les lignes de force dans les spectres ordinaires. En effet, les grains n'ont plus ici de solidarité les uns pour les autres dans le sens de leur étalement. L'examen des spectres obtenus est bien d'accord avec cette particularité que l'on retrouve, jusqu'à un certain point, sur notre *fig. 1*, bien que le dessin ne puisse la rendre d'une façon absolument satisfaisante.

Si la poudre employée est notablement magnétique, de façon que les grains aient une adhérence assez grande les uns pour les autres, dans le sens des lignes de force, les filets dirigés suivant ces lignes se couperont et se détruiront moins facilement que dans le cas précédent, mais rien n'empêchera cependant que quelques-uns des grains ne restent en route et ne produisent le même résultat. On aura alors le double réseau de la *fig. 3*.

Toutefois, il est clair que l'expérience n'aura véritablement chance de réussir dans ce sens qu'autant que les grains n'auront pas une adhérence mutuelle exagérée donnant une trop grande solidité aux files orientées suivant les lignes de force. Aussi avons-nous déjà vu plus haut que la poudre d'oxyde magnétique naturel, moins magnétique que le fer métallique, se prête mieux que celui-ci à la formation du double réseau. De plus, il sera bon que les grains, pour s'arrêter facilement en route, aient une surface considérable par rapport à leur masse : ce qui sera réalisé en prenant une poudre très fine. On n'obtient, en effet, que de mauvais résultats avec de la limaille grossière.

Il reste un dernier point à élucider. Nous avons vu que les effets obtenus cessent de se produire quand, à la lame de fer ou de nickel, on substitue une lame de cuivre ou de zinc. Ceci s'explique tout naturellement en remarquant que, pour que les forces du champ magnétique agissent efficacement sur le mouvement des grains, surtout quand ceux-ci sont peu magnétiques, il faut que le champ soit intense dans tout l'espace sur lequel on opère. Alors

le fer et le nickel, en vertu de leur coefficient élevé d'induction et de perméabilité magnétique, ne doivent avoir d'autre effet que de concentrer, tout en la répartissant, l'énergie de ce champ sur toute la région qui environne les pôles. Ajoutons à cela que la position même de cette lame, au-dessous des grains, ne doit pas être sans influence, à cause de l'attraction normale qu'elle exerce sur eux vers le bas, attraction qui donne aux grains une adhérence plus grande avec la plaque, que celle qui résulterait de leur simple poids. Ces grains peuvent alors s'arrêter plus facilement en route, et se fixer ensuite plus solidement dans leur position d'arrêt.

Nous ferons remarquer, en terminant, que l'emploi de la poudre de sesquioxyde de fer, en suspension dans un liquide, fournit une méthode commode de tracé automatique des lignes équipotentielles d'un champ, quand celui-ci n'est pas trop faible. Elle réussit parfaitement, par exemple, pour étudier la distribution de ces lignes dans le champ du faisceau aimanté d'une machine Gramme (modèle de laboratoire). En remplaçant la bobine par une large plaque de fer mince sur laquelle on verse le liquide, on voit rapidement se produire les traînées de grains qui traversent normalement le plan du fer à cheval.

Les expériences qui précèdent ont été effectuées dans le but de chercher une interprétation à certains faits bizarres observés dans les précipitations électrochimiques de quelques sels métalliques. L'exposé de ces phénomènes fera l'objet d'une prochaine Note.

---