

doux C (fig. 391), il s'aimantera également et dans le même sens que B. Si l'aimant A est puissant, on pourra même produire l'aimantation par influence d'autres morceaux de fer doux.

Ces phénomènes d'aimantation se produisent instantanément, ou du moins dans un temps trop court pour pouvoir être appréciés dans cette expérience, mais dont il y a lieu de tenir compte dans certains cas.

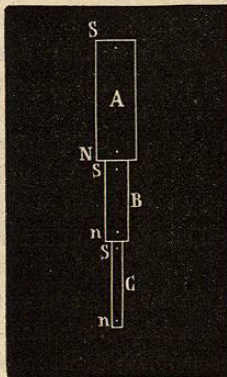


Fig. 391.

quelquefois, quelquefois elle diminue lentement et disparaît à la longue.

800. — Les faits se passent d'une manière analogue si l'on place de même dans le champ magnétique de A un barreau d'acier B. Seulement l'action se manifeste moins rapidement et moins énergiquement : on facilite toutefois cette aimantation par influence en soumettant le barreau d'acier à des actions mécaniques, des chocs, des torsions, des vibrations, etc.

Mais, d'autre part, quand le champ magnétique est supprimé par l'éloignement de l'aimant A, le barreau d'acier reste aimanté. L'aimantation diminue bien au début, mais elle atteint plus ou moins rapidement une valeur invariable : il y a alors *aimantation permanente*.

On doit penser, et l'expérience vérifie cette conclusion, qu'un barreau d'acier doit s'aimanter de même si on le place convenablement dans le champ magnétique terrestre. C'est en effet ce qui se produit si le barreau est placé parallèlement à la direction que prend l'aiguille aimantée librement suspendue, et qu'on le soumette alors à des actions mécaniques comme il a été dit précédemment.

Ainsi le fer et l'acier, au point de vue de l'aimantation par influence, ne se comportent pas absolument de la même façon. On exprime cette différence en disant que le fer n'a pas de *force coercitive* et que l'acier en a : la force coercitive d'un acier est d'autant plus grande que, dans des conditions données, il prend et conserve une plus grande aimantation.

Il ne faut pas chercher un sens aux mots qui composent cette expression mal choisie et qu'il faut employer avec la signification que nous avons indiquée, sans chercher à l'analyser.

L'aimantation du barreau B, et des autres s'il y en a, disparaît si l'on enlève l'aimant A. La cessation de l'aimantation de B est également, sinon instantanée, au moins extrêmement courte.

La désaimantation est complète si le fer du barreau B est absolument, chimiquement pur : on l'admet du moins. Mais cette condition n'est jamais réalisée, et il reste toujours des traces d'aimantation, c'est ce qu'on appelle le *magnétisme rémanent*. Cette aimantation persiste

801. — Le fait de l'aimantation par influence du fer doux montre que le phénomène primitif que nous avons signalé, l'attraction du fer par l'aimant, n'est pas un phénomène simple. Quand un morceau de fer est dans le voisinage d'un aimant, il s'aimante par influence et prend deux pôles sur lesquels agit le pôle le plus voisin de l'aimant. L'action de ce pôle n'est pas la même sur les deux pôles produits par influence et la plus énergique, celle qui détermine l'effet produit, est celle qui correspond au pôle le plus voisin. Or, comme nous l'avons dit, ce pôle est de nom contraire, l'effet est donc une attraction.

802. **Magnétisme. Diamagnétisme.** — Si entre les deux pôles d'un fort aimant en U, on place un petit barreau de fer suspendu horizontalement par son milieu, on le voit après quelques oscillations se placer sur la direction de la ligne qui joint les deux pôles; suivant l'expression consacrée, il prend la direction *axiale*.

Cette position s'explique par la même raison que nous venons de signaler : le fer doux s'aimante par influence, et chaque pôle de l'aimant fait naître dans le fer un pôle de nom contraire : il y a donc attraction de chaque côté, ce qui explique la direction axiale.

Si on fait la même expérience avec un barreau de bismuth, on observe que le barreau prend la direction *équatoriale*, qu'il se met perpendiculairement à la ligne qui joint les pôles de l'aimant. Le bismuth est donc influencé par l'aimant, mais autrement que le fer : on dit qu'il est *diamagnétique*.

L'effet est évidemment le même que si un barreau de bismuth placé en face d'un aimant s'aimantait en sens contraire de l'aimant, de telle sorte qu'il y aurait répulsion entre les parties en regard, ce qui amène la rotation.

Mais alors un raisonnement analogue à celui que nous avons fait pour expliquer l'attraction du fer conduit à penser qu'il doit y avoir répulsion d'un morceau de bismuth par un aimant. C'est ce que montre l'expérience directe, mais non sans difficulté, car les forces en jeu sont alors très petites. Aussi le diamagnétisme ou le magnétisme ont-ils pu plus facilement être mis en évidence par la direction que prend un barreau entre les pôles d'un aimant.

On a trouvé ainsi que tous les solides sont sensibles à l'action des aimants : outre le fer, le nickel, le cobalt, on peut encore citer, parmi les corps magnétiques, le manganèse et le chrome; parmi les corps diamagnétiques, on a trouvé l'antimoine, l'étain, l'argent, le cuivre.

On a fait des expériences analogues avec des liquides et des gaz enfermés dans des ampoules allongées en verre mince, en tenant compte de l'action propre du verre.

803. — La question n'est pas aussi simple d'ailleurs qu'elle le paraît au premier abord, et l'explication que nous venons d'indiquer pour le

diamagnétisme est insuffisante, parce que le phénomène est complexe : le milieu dans lequel se trouve le corps joue un rôle important, ainsi qu'il résulte de l'expérience suivante due à Becquerel. Entre les pôles d'un fort aimant, on place une cuve remplie d'un liquide magnétique, d'une solution de perchlorure de fer, par exemple; dans cette cuve on introduit suspendue à un fil une ampoule allongée contenant une solution du même corps. Dans l'air cette ampoule se dirigerait axialement puisqu'elle contient un liquide magnétique; il n'en sera pas nécessairement ainsi lorsqu'elle sera plongée dans la cuve, et sa direction dépendra du degré relatif de concentration des deux liquides. Si le liquide contenu dans l'ampoule est plus riche en sel de fer, s'il est plus magnétique par conséquent que le liquide de la cuve, l'ampoule prendra la position axiale, elle paraîtra magnétique; si les deux solutions sont également concentrées, l'ampoule ne prendra pas une position stable, elle sera indifférente; si la solution contenue dans l'ampoule est moins riche que celle de la cuve, l'ampoule prendra la direction équatoriale, elle semblera diamagnétique.

804. — En généralisant les résultats de cette expérience, on peut conclure que l'état d'un corps par rapport à un aimant voisin dépend du milieu où il se trouve : l'effet produit par l'aimant serait la résultante de l'action effective qu'il exerce sur le corps et de celle qu'il exerce sur le milieu ambiant. Il se produirait là quelque chose d'analogue à ce qui a lieu pour la pesanteur dans le cas d'un solide plongé dans un fluide : le corps tombe, il semble attiré par la terre s'il est plus dense que le fluide; il monte, c'est-à-dire qu'il semble repoussé par la terre s'il est moins dense que le fluide dans lequel il est plongé.

On est donc conduit à penser, par cette comparaison, que, comme pour le principe d'Archimède, tout se passe comme si l'action observée sur l'ampoule était la différence entre l'action réellement exercée par l'aimant et celle que celui-ci exercerait sur la partie du liquide ambiant déplacé par l'ampoule, sorte de *poussée* magnétique.

Ainsi en étendant cette idée, nous sommes conduit à penser que tous les corps subissent de la même façon, mais avec des intensités différentes, l'action de l'aimant, — qu'un corps paraît magnétique lorsqu'il est effectivement plus magnétique que le milieu ambiant; — qu'un corps paraît diamagnétique seulement parce qu'il est moins magnétique que le milieu ambiant.

805. — Comme nous l'avons indiqué, il est inutile de donner une théorie spéciale du magnétisme, cette théorie découlant de celle de l'électrodynamique; disons toutefois qu'une théorie quelconque devra rendre compte des faits suivants :

L'existence de deux pôles dans un aimant; la possibilité de l'existence des points consécutifs;

Les effets de la rupture d'un aimant;
Les attractions et répulsions des pôles;
L'aimantation par influence;
L'existence du champ magnétique terrestre;

Par contre, elle n'aura pas à donner d'explication spéciale pour l'attraction des corps magnétiques, cette attraction étant la conséquence des faits précédents; — ni pour les phénomènes de diamagnétisme que l'on peut ramener comme nous l'avons dit à ceux mêmes du magnétisme.

Nous ne croyons pas devoir nous arrêter aux procédés d'aimantation qui sont décrits dans les ouvrages classiques : ils reposent sur l'aimantation produite par le contact ou mieux par le frottement d'aimants, dans des conditions diverses, sur le barreau d'acier à aimanter.

Aucune remarque intéressante ne peut être faite à ce sujet.

Ajoutons que nous aurons à signaler ultérieurement un procédé d'aimantation reposant sur un autre principe.

806. **Effets divers produits par les aimants.** — Les effets produits par les aimants sont de divers ordres : nous avons indiqué ceux qui correspondent à la production d'actions mécaniques et ceux qui permettent la transformation de barreaux d'acier en aimants.

Nous devons reporter aux chapitres suivants les effets qui se rattachent d'une façon quelconque aux phénomènes électriques.

Il ne nous reste alors qu'à signaler quelques effets importants au point de vue théorique, mais qui n'ont pas encore trouvé d'application.

C'est ainsi que Faraday a montré qu'une masse homogène, solide ou liquide, inactive, acquiert, lorsqu'on la place entre les deux pôles d'un fort aimant, la propriété de faire tourner le plan de polarisation d'un faisceau qui les traverse dans la direction de la ligne des pôles. On reconnaît ce fait, comme nous l'avons indiqué pour une substance active quelconque (683).

807. — Nous dirons quelques mots seulement des effets des aimants sur les êtres vivants.

Ainsi que nous l'avons indiqué déjà, un individu dans les conditions normales n'éprouve aucune sensation spéciale par l'approche ou le contact d'un aimant qu'il ne peut différencier d'un barreau semblable, mais non aimanté.

D'autre part, on n'a jamais signalé aucun effet particulier, en se plaçant dans un champ magnétique même très intense. Sir William Thomson a placé la tête entre les deux pôles, non d'un aimant, mais d'un électroaimant possédant toutes les propriétés des aimants, mais beaucoup plus puissant, sans avoir éprouvé aucune sensation particulière.

Il n'en est pas de même pour les individus dont le système nerveux présente quelque tare, pour les hystériques notamment. On a cité des individus qui voyaient des lueurs colorées aux extrémités de barreaux

aimantés, leurs qui n'existaient pas pour les barreaux non aimantés; les colorations étaient d'ailleurs caractéristiques des pôles, ce qui permettait de les distinguer. Nous croyons que ces assertions demandent à être sérieusement contrôlées; dans un cas qui nous avait été signalé comme très net, les épreuves furent loin d'être satisfaisantes.

Nous indiquons sans y insister, car nous quittons absolument le domaine de la physique, le transfert de l'anesthésie produit chez les hystériques en état de somnambulisme sous l'influence des aimants, les contractures des muscles dans les mêmes conditions par l'approche d'un pôle, etc. Ces remarques sont utilisées en clinique, nous devons au moins les signaler.

808. Lois du magnétisme. Unités magnétiques. — Il est indispensable de compléter les renseignements qui précèdent sur les phénomènes magnétiques par l'indication de quelques lois et de quelques données relatives aux mesures correspondantes qui sont nécessaires pour la compréhension complète des faits relatifs à l'électricité.

Nous avons dit que, d'une manière générale, les actions magnétiques, répulsions ou attractions, diminuent quand la distance augmente. Coulomb a déterminé la loi de variation, principalement en évaluant la durée des oscillations d'une aiguille aimantée, placée dans le voisinage du pôle d'un aimant fixe, et qu'il écartait de sa position d'équilibre. La durée de l'oscillation, qui est d'autant plus faible que la force est plus grande, permettait de calculer celle-ci; la question est d'ailleurs complexe, car il faut tenir compte de l'action du champ magnétique terrestre, dans lequel l'aiguille oscille, même s'il n'existe pas d'aimant dans le voisinage. Coulomb put opérer de manière à éliminer cette action, et il est arrivé à énoncer la loi suivante :

Les forces attractives ou répulsives qui s'exercent entre deux pôles d'aimants varient en raison inverse du carré de la distance.

809. — Lorsqu'on considère deux aiguilles aimantées de même forme et de même poids, on reconnaît que, en général, elles ne sont pas égales au point de vue magnétique, par exemple elles ne soulèvent pas le même poids de fer. Mais on le vérifie mieux en les faisant osciller dans les mêmes conditions, dans le champ magnétique terrestre par exemple : on voit alors que les durées des oscillations ne sont pas égales. On exprime cette différence en disant qu'elles ne possèdent pas la même *quantité de magnétisme*.

On peut, au contraire, trouver deux aiguilles qui, dans les mêmes conditions, oscillent dans le même temps : on dit alors qu'elles possèdent des quantités égales de magnétisme.

On reconnaît d'ailleurs que deux aiguilles qui sont dans ce cas se comportent toujours de la même façon; que, notamment, placées en face d'un même barreau aimanté à la même distance, elles oscillent aussi dans le même temps.

Si l'on prend deux aiguilles aimantées égales et qu'on les approche l'une de l'autre par des pôles opposés, il s'exerce une attraction. On s'est servi de la valeur de la force qui se manifeste à une distance déterminée pour définir l'unité de magnétisme.

On dit qu'un pôle possède l'unité de magnétisme quand, placé à 1 centimètre d'un pôle égal, il exerce sur lui une force égale à l'unité CGS de force (VI).

Cette unité magnétique n'a pas reçu de nom ¹.

810. — Lorsqu'une aiguille aimantée est placée en un point d'un champ magnétique, quelle que soit l'origine de ce champ, on peut, en évaluant la durée des oscillations, calculer la force qu'elle subit de la part de ce champ. On reconnaît que dans le champ magnétique terrestre cette force est partout la même : on dit alors que ce champ est *uniforme*. Quand le champ est produit par l'action d'un ou plusieurs aimants, il n'en est pas ainsi, et on dit qu'il est *varié*.

On dit encore que l'intensité du champ magnétique est *constante* dans le premier cas, qu'elle est variable d'un point à l'autre dans le second cas.

On est ainsi conduit à mesurer l'intensité du champ magnétique en un point, intensité qu'on détermine par l'action exercée sur un pôle magnétique égal à l'unité. On a dû faire choix d'une unité de champ magnétique que l'on définit ainsi :

L'unité de champ magnétique est celle d'un champ dans lequel un pôle magnétique égal à l'unité est soumis à l'action d'une force égale à l'unité CGS de force, à la dyne.

L'intensité d'un champ magnétique en un point est mesurée par le nombre de dynes auxquelles est soumis un pôle magnétique égal à l'unité.

Dans les applications industrielles on emploie des champs magnétiques dont l'intensité atteint et même dépasse 25 000 unités.

811. Lignes de force. — Considérons une aiguille très petite, placée dans un champ magnétique où elle prend une certaine direction, et supposons que nous la déplaçons successivement de très petites quantités, de manière à ce que dans chaque position elle continue pour ainsi dire la position précédente; sa direction variera peu à peu, sauf dans le cas d'un champ magnétique uniforme où elle restera constante, comme nous l'avons dit (795). L'ensemble des positions qu'elle prend constitue une courbe qu'on appelle une *ligne de force*.

A partir de chaque point, il existe ainsi une ligne de force, il y en a donc une infinité; ces diverses lignes ne se coupent pas d'ailleurs, car s'il en était autrement cela indiquerait que, au point d'intersection,

1. L'unité CGS de force s'appelle la *dyne*; cette force est égale à $\frac{1}{981}$ de gramme, soit approximativement à 1 milligramme.

l'aiguille peut prendre l'une ou l'autre des directions représentées par ces lignes, ce qui est impossible, car l'expérience a montré que l'aiguille aimantée a une *seule* position d'équilibre stable (793).

Pour se représenter la distribution de ces lignes de force, on n'en considère qu'un certain nombre, distantes d'une quantité arbitraire, mais assez rapprochées pour donner l'idée nette de toutes les courbes intermédiaires qui existent en réalité.

La connaissance de ces lignes de force est intéressante puisqu'elles renseignent immédiatement sur la direction que prend l'aiguille aimantée en chaque point; nous verrons ultérieurement qu'elles sont utiles à considérer à d'autres points de vue.

La forme de ces lignes de force peut être connue par un procédé plus simple que celui qui nous a servi à expliquer leur existence. Les courbes dessinées par la limaille de fer dans les fantômes magnétiques (791) donnent, en effet, les lignes de force.

Pour le comprendre, on peut remarquer, que par suite du voisinage de l'aimant, chaque parcelle de limaille s'aimante par influence et que leur ensemble se comporte, à peu près au moins, comme une série d'aiguilles aimantées de très petites dimensions.

La connaissance des lignes de force fournit encore un autre renseignement important: on démontre, en effet, que l'intensité du champ magnétique en un point est d'autant plus grande que, en ce point, les lignes de force voisines sont plus rapprochées. On voit donc ainsi immédiatement en quelles régions les actions magnétiques sont les plus intenses.

CHAPITRE II

ÉLECTRICITÉ STATIQUE

812. **Électrisation. Corps bons, mauvais conducteurs.** — On sait que certains corps, le verre, la résine, soufre, l'ambre, etc., frottés avec une peau de chat ou avec un morceau de laine, acquièrent la propriété d'attirer les corps légers (fig. 392). On dit alors que ces corps sont *électrisés* (du mot grec *ἤλεκτρον*, *ambre*, parce que c'est sur cette substance que ces phénomènes ont été observés d'abord), et l'on désigne par le mot d'*électrisation* l'action qui a fait apparaître cette propriété.

Comme pour le magnétisme, l'attraction est plus facile à observer en employant le *pendule électrique* (fig. 393); cet appareil est constitué par une balle de sureau suspendue à un fil de soie maintenu fixe à son extrémité supérieure. Il est bon que le support soit constitué par un pied

en verre; nous verrons ultérieurement la raison de cette condition, de même que de la nécessité d'employer un fil de soie.

813. — On aurait une idée incomplète du phénomène de l'électrisation en se bornant à cette seule expérience: il importe, en effet, de remarquer que le frottement qui est la cause de l'électrisation s'exerce aussi bien sur le corps frottant, laine ou peau de chat, que sur le corps frotté, verre ou résine. Il est donc utile d'examiner ce qui se passe sur chacun des corps.



Fig. 392.

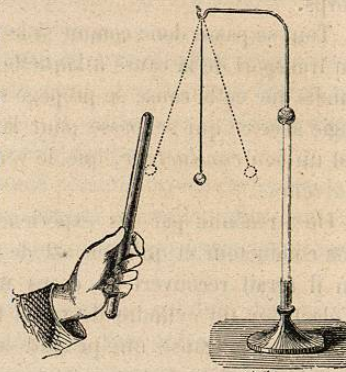


Fig. 393.

A cet effet, on prend deux plateaux (fig. 394) portés par des manches en verre; l'un d'eux est en bois recouvert de drap, l'autre est un disque

de verre, par exemple. Tenant ces disques à la main, on les frotte l'un contre l'autre, puis on les sépare; on reconnaît aisément que tous les deux sont électrisés, c'est-à-dire que tous les deux attirent les corps légers. Nous verrons que, malgré cette propriété commune, ils diffèrent par certains points.

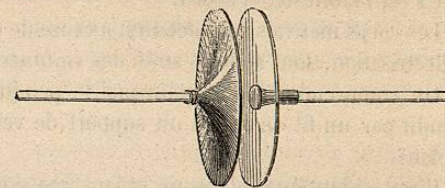


Fig. 394.

814. — Tous les corps, placés dans ces mêmes conditions, s'électrisent; mais on n'aperçoit pas de trace d'électrisation si, par exemple, on frotte avec un morceau de laine un cylindre de métal que l'on tient directement à la main. Cette différence ne peut donc tenir qu'à ce fait que, dans un cas, le métal est tenu directement, tandis que, dans l'autre, il est tenu par l'intermédiaire d'un support de verre. Cherchons à nous rendre compte de cette différence.

Si nous électrisons un disque ou un bâton de verre ou de résine en le frottant sur une région limitée, on reconnaît que l'électrisation se manifeste seulement à la région frottée, et que le reste du corps n'est pas électrisé. La cause, quelle qu'elle soit, qui produit l'électrisation, ne s'est donc pas répandue dans le corps, pour ainsi dire.

Si nous recommençons l'expérience de la même façon avec un disque ou un cylindre de métal porté par un manche de verre, on voit que le