

qui vibre et le nerf correspondant donne une sensation auditive caractérisée par une hauteur différente. Ce serait là une action analogue au cas d'une série de résonnateurs dans laquelle un seul est mis en action par un son simple.

S'il arrive à l'oreille interne une vibration composée, soit qu'il s'agisse d'un accord formé de sons fournis par des instruments différents, soit qu'il s'agisse d'un son complexe émané d'un seul instrument d'un timbre déterminé, il y aura autant de fibres distinctes mises en vibrations qu'il y a de vibrations simples existant dans la vibration composée : il y aura mise en action des filets correspondants et de ceux-ci seulement, il y aura audition d'autant de sons de différente hauteur. Il pourra arriver, en prêtant attention, que ces divers sons soient perçus séparément, mais le plus souvent, il y aura fusion inconsciente, impossibilité de discerner les sons les uns des autres et la sensation sera celle d'un accord en général, et si ces sons ont entre eux certaines relations, ce sera celle d'un timbre déterminé.

Ainsi, nous le répétons, les fibres de Corti se comporteraient dans cette hypothèse comme des résonnateurs constituant une série très étendue; dans le cas d'un mouvement vibratoire composé, il y aurait autant de résonnateurs entrant en action, autant de flammes manométriques agitées, que le mouvement composé comprend de vibrations simples; si on regarde ces flammes dans un miroir tournant, à la manière ordinaire, on reconnaîtra ceux des résonnateurs qui vibrent : mais si, par une disposition quelconque, facile à imaginer, on superpose toutes les images, on aura une impression unique, résultant de la fusion des diverses vibrations simples. Le premier cas correspond à la possibilité de distinguer les sons simples constituant l'accord produit; le second cas correspond à la sensation du timbre.

Nous le répétons, cette hypothèse a suscité des objections sérieuses; mais nous n'en connaissons pas actuellement une autre qui soit physiquement acceptable; nous avons donc cru devoir l'exposer avec quelques détails.

LIVRE V

MAGNÉTISME. — ÉLECTRICITÉ

787. — Les phénomènes que nous avons étudiés dans les livres précédents présentent ce caractère commun de pouvoir être rattachés aux causes qui font naître en nous des sensations spéciales, sensations calorifiques, lumineuses, auditives; ils se différencient par là des phénomènes dont nous avons à nous occuper maintenant, *phénomènes magnétiques et électriques*, dont nous n'avons pas directement connaissance dans les conditions ordinaires. Sauf peut-être dans quelques cas pathologiques, un aimant ne nous impressionne pas autrement que ne ferait un morceau de fer ou d'acier; un fil parcouru par un courant, à moins que celui-ci ne soit très intense, ne peut être distingué par nous d'un fil inerte; un corps électrisé ne produit aucune action qui corresponde à une sensation spéciale. Les actions que nous éprouvons directement dans quelques cas ressemblent à des actions mécaniques, des secousses, des chocs; quelquefois les corps dont nous parlons nous font éprouver des sensations calorifiques ou lumineuses; mais celles-ci sont identiques à celles qui se produisent dans les conditions précédemment étudiées, et ne peuvent nous avertir de l'existence de phénomènes d'un autre ordre. Nous n'avons, en somme, ni sens magnétique, ni sens électrique; aussi, ne pourrions-nous étudier ces phénomènes que par l'observation de certains effet convenablement choisis.

Ces conditions établissent une différence essentielle avec les parties de la physique que nous avons précédemment étudiées. Elles expliquent pourquoi l'étude rationnelle des phénomènes magnétiques et électriques est récente.

Cette étude, d'ailleurs, a bénéficié de cette modernité : les relations de ces phénomènes entre eux et avec les autres phénomènes physiques et chimiques ont été plus rapidement et mieux établies et, sans craindre de rendre inutiles de nombreuses recherches antérieures, on a pu adopter, pour les mesures, un système de mesures réellement satisfaisant, comme nous le dirons.

Les phénomènes dont nous commençons l'étude correspondent à des effets divers entre lesquels on ne voit aucun lien direct; aussi avait-on d'abord cru nécessaire de leur attribuer des causes distinctes. On sait aujourd'hui que cette condition n'est pas nécessaire, et que les divers effets peuvent être expliqués par une cause unique; cependant, nous exposerons d'abord à part les phénomènes magnétiques qui se manifestent directement d'une tout autre façon que les divers phénomènes électriques; mais nous n'en donnerons pas immédiatement l'explication qui sera la conséquence de l'étude de l'électrodynamique qui viendra ultérieurement.

CHAPITRE PREMIER

MAGNÉTISME

788. **Aimants naturels et artificiels. Champ magnétique.** — On désigne sous le nom d'*aimants naturels* des pierres qui jouissent de la propriété d'attirer le fer : elles sont composées d'un oxyde de fer dont la formule est Fe^2O^3 . Ces aimants auraient été trouvés d'abord aux environs de Magnésie, d'où le nom de *magnétisme* sous lequel on désigne l'ensemble des propriétés que possèdent les aimants.

L'oxyde Fe^2O^3 , bien qu'il ait reçu le nom général d'oxyde magnétique, n'est pas toujours un aimant; préparé artificiellement, il ne possède jamais la propriété magnétique. D'autre part, un aimant naturel chauffé, puis refroidi brusquement, perd cette propriété.

Comme nous le dirons plus loin, on peut, par divers procédés, communiquer la propriété magnétique à des barreaux d'acier qui sont dits alors des *aimants artificiels*. C'est de semblables barreaux que l'on emploie généralement, parce qu'on peut leur donner la forme la plus commode pour les expériences.

Les aimants artificiels sont souvent rectilignes; ce sont alors des *barreaux aimantés* s'ils ont partout la même largeur, ce sont des *aiguilles aimantées* s'ils présentent la forme d'un losange très allongé. On emploie également des barreaux ayant la forme d'un U, auxquels on donne le nom d'*aimants en fer à cheval*.

789. — Le fer n'est pas le seul corps qui soit attiré par les aimants : le nickel, le cobalt et quelques autres substances présentent la même propriété; ces corps sont dits *magnétiques*. Mais l'action sur le fer est de beaucoup la plus énergique; aussi ce corps est-il le seul employé dans la pratique pour mettre en évidence ou pour appliquer les propriétés magnétiques.

Nous dirons plus loin que, en réalité, tous les corps subissent une action de la part des aimants; mais cette action, qui n'est pas toujours la même, d'ailleurs, est assez faible pour pouvoir être négligée d'une manière générale.

Non seulement l'attraction exercée par l'aimant sur le fer se manifeste par l'effort qu'il faut exercer pour séparer un morceau de fer appliqué contre un aimant, mais encore cette action se produit à distance, c'est-à-dire qu'un morceau de fer susceptible de se mouvoir et séparé d'un aimant se met en mouvement vers celui-ci. On met le fait en évidence à l'aide du pendule magnétique constitué par une petite bille de fer suspendue à l'extrémité d'un fil flexible; abandonné à lui-même, ce pendule constitue un fil à plomb et prend la direction de la verticale. Si on en approche un aimant, le pendule se dévie, s'incline vers l'aimant avec lequel il peut même se mettre au contact, malgré l'action de la pesanteur. On observe un effet analogue en plaçant un morceau de fer sur un disque de liège flottant sur l'eau; si on met un aimant dans le voisinage, l'équipage se met en mouvement jusqu'à ce que le contact s'établisse.

Des observations simples montrent immédiatement que la force attractive diminue lorsque la distance augmente.

Les attractions que nous signalons se produisent aussi bien dans le vide que dans l'air; elles se manifestent de même après l'interposition de certaines substances, après qu'on a placé entre l'aimant et le fer, du papier, du carton, du bois, du verre, etc.

Il va sans dire que, comme nous l'avons indiqué d'une manière générale (XXXVI), l'attraction est réciproque : si le fer est immobile et que l'aimant soit mobile, c'est celui-ci qui est attiré par le fer.

790. — On ne sait en réalité comment se produit cette action; mais on n'admet plus maintenant que, émanée de l'aimant, elle se manifeste directement sur le fer, sans intermédiaire : l'idée des actions à distance est abandonnée. Il faut donc penser que c'est par une communication d'action de proche en proche que l'action peut se manifester : d'après ce que nous venons d'indiquer, ce n'est pas par l'air que la propagation peut avoir lieu. Est-ce par l'éther? Faut-il imaginer une autre substance, différente de la matière et existant en même temps que l'éther? on ne sait.

Quoi qu'il en soit, on admet que la présence d'un aimant en un lieu produit dans l'espace environnant, au moins jusqu'à une certaine distance, une modification dont l'un des effets est de mettre en mouvement les morceaux de fer qui étaient en équilibre tant que cette modification ne s'était pas produite. On exprime cette idée, d'une manière abrégée, en disant que la présence d'un aimant crée un *champ magnétique* dans le voisinage.

Nous aurons ultérieurement à développer cette idée.

791. **Pôles. Ligne neutre.** — Lorsqu'on plonge un barreau aimanté dans de la limaille de fer et qu'on l'en retire, on voit que la limaille ne s'est pas attachée en tous les points; la force attractive n'émane donc pas de tous les points de l'aimant. En général, la limaille s'est accumulée



Fig. 388.

vers les extrémités qui ont reçu le nom de *régions polaires* (fig. 388); il n'y en a pas vers le milieu qu'on appelle la *zone neutre*. En examinant la répartition de la limaille il semble que l'action attractive émane principalement de deux points situés vers les extrémités : ce sont les *pôles*.

La disposition de la limaille se voit très nettement en recouvrant l'aimant d'une lame de verre mince ou d'une feuille de carton, et faisant

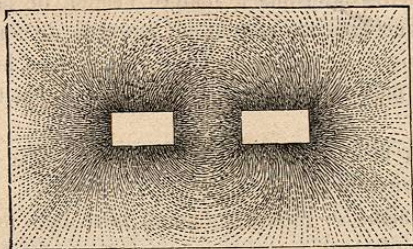


Fig. 389.

à l'aide d'un aimant en U dont les extrémités des branches étaient appliquées contre la feuille de carton, par-dessous.

Dans quelques cas, on rencontre des barreaux aimantés dans lesquels la limaille se fixe en plus de deux régions; les parties où l'attraction se manifeste ainsi en dehors des régions polaires sont appelées *points conséquents*. Il existe toujours une région neutre entre deux points conséquents, ou entre un point conséquent et un pôle.

Sauf des cas très rares dans lesquels on utilise un point conséquent en sus des pôles, les barreaux qui présentent plus de deux régions actives sont considérés comme irréguliers.

Au point de vue de l'attraction du fer, les pôles et les points conséquents jouissent absolument des mêmes propriétés.

792. — La propriété que possèdent les aimants d'attirer le fer et de le maintenir au contact a été utilisée dans un certain nombre de cas pour retirer de l'œil des parcelles de fer ou d'acier qui y avaient accidentellement pénétré. On prend un fin barreau aimanté taillé en pointe mousse et on l'introduit dans l'œil par une ouverture pratiquée à cet effet, en le dirigeant vers le morceau de métal dont on a déterminé la position à l'avance : lorsqu'on a établi le contact, on retire l'aimant qui entraîne la parcelle de fer.

Il est inutile d'avoir recours à ce procédé pour le cas où le corps étranger est enchâssé dans la cornée ou se trouve dans la chambre antérieure : il faut l'utiliser, au contraire, lorsque ce corps est implanté dans l'iris, le cristallin, ou qu'il a pénétré dans l'humeur vitrée.

Comme nous l'indiquerons plus loin, il peut y avoir avantage à remplacer l'aimant par un électro-aimant.

793. **Direction des aimants.** — Un barreau quelconque suspendu par son centre de gravité (XLVIII) reste en équilibre dans toutes les positions où on le place. Il n'en est pas de même d'un barreau aimanté qui, après quelques oscillations, revient toujours à la même position, position d'équilibre stable.

De plus, en un même point du globe, si l'on fait successivement l'expérience avec divers barreaux aimantés, on reconnaît qu'ils prennent tous la même direction. Le plan vertical qui passe par l'axe du barreau s'écarte peu du méridien géographique du lieu, et dans ce plan, le barreau n'est pas horizontal : dans notre hémisphère, la partie située au-dessous de l'horizontale qui passe par le point de suspension est dirigée du côté du nord.

Ajoutons enfin que, pour un barreau déterminé, c'est toujours la même extrémité qui se dirige dans le même sens.

Il résulte de là que les deux pôles du barreau aimanté ne sont pas identiques, qu'ils présentent des différences dont l'expérience précédente est une manifestation : il est donc nécessaire de les distinguer. A cet effet, on appelle *pôle nord* l'extrémité qui, dans notre hémisphère, se dirige vers le nord, *pôle sud* l'extrémité opposée.

794. — Le plan vertical qui contient l'axe du barreau aimanté est appelé le *méridien magnétique* du point considéré; l'angle de ce plan avec le méridien géographique est la *déclinaison*; l'angle de l'axe de l'aiguille avec l'horizontale dans le méridien magnétique est l'*inclinaison*. Ces deux angles définissent absolument la position de l'aiguille aimantée.

Non seulement ces angles diffèrent d'un point à un autre de la terre; mais, en un même point, ils changent lentement avec le temps. Actuellement (1892) la déclinaison est de $15^{\circ} 30' 0''$ et l'inclinaison de $65^{\circ} 40'$.

Au lieu de considérer un barreau suspendu librement par son centre de gravité, on utilise souvent une aiguille aimantée reposant sur un pivot vertical en acier par l'intermédiaire d'une chape en agate : le point de suspension, qui ne coïncide pas avec le centre de gravité, a été choisi de manière que l'aiguille reste horizontale, pouvant ainsi tourner autour d'un axe vertical (fig. 390).

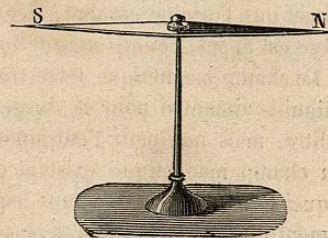


Fig. 390.

Abandonnée à elle-même, cette aiguille prend une position d'équilibre stable. Elle est alors située dans le méridien magnétique qu'elle sert ainsi à déterminer.

795. Actions réciproques des aimants. — Prenons deux barreaux aimantés ou deux aiguilles et à l'aide d'expériences préalables déterminons la position du pôle nord et du pôle sud de chacune d'elles. Plaçons alors l'une des aiguilles sur un pivot comme il vient d'être dit et approchons-en l'autre que nous tiendrons à la main, de manière à mettre les pôles en regard. Dans certains cas, nous observerons une attraction, ce qui est naturel puisqu'il en serait ainsi si l'une des aiguilles n'était pas aimantée; mais, dans d'autres cas, nous observerons une répulsion.

En notant les conditions qui correspondent, soit à une attraction, soit à une répulsion, on voit que tous les cas sont régis par les deux lois suivantes :

Les pôles de nom contraire s'attirent ;

Les pôles de même nom se repoussent.

En faisant l'expérience à l'aide de deux aiguilles montées sur leurs pivots, on reconnaît, comme on pouvait le prévoir à cause du principe de l'égalité de l'action et de la réaction, qu'il a, y à la fois, attraction pour les deux aiguilles, ou à la fois répulsion. Ces actions sont donc réciproques.

L'expérience montre qu'elles décroissent quand la distance augmente.

796. — Nous avons été conduit à admettre l'idée d'un champ magnétique dû à l'existence d'un aimant en un point, pour le cas de l'attraction du fer. La même idée est évidemment applicable à ce cas, et nous devons attribuer dès lors les effets subis par un aimant dans le voisinage d'un autre aimant à l'influence sur le premier aimant du champ magnétique produit par le dernier.

Le fait qu'une aiguille aimantée se dirige dans un espace où il n'existe ni aimant, ni fer, conduit également à admettre que, d'une manière générale, il existe un champ magnétique dans l'espace où nous faisons nos expériences : ce champ magnétique dont, comme nous le dirons, on admet que l'origine est due à des phénomènes qui ont notre globe pour siège est appelé *champ magnétique terrestre*.

Le champ magnétique terrestre est sans action sur le fer; il agit sur l'aiguille aimantée pour la diriger, pour la faire tourner autour de son centre, mais non pour l'entraîner. Il diffère donc par quelque élément du champ magnétique existant dans le voisinage d'un aimant et dans lequel le fer est déplacé, dans lequel une aiguille aimantée est non seulement dirigée, mais aussi déplacée, attirée ou repoussée.

797. Rupture d'un aimant. — Considérons un aimant régulier à deux pôles, de section telle qu'il puisse être brisé; l'expérience montre que lorsqu'on produit cette rupture, les deux fragments sont deux aimants complets ayant chacun deux pôles et une ligne neutre.

La même expérience peut d'ailleurs être répétée pour chacun des fragments.

Cette propriété, dont il n'existe pas d'application pratique, mérite cependant d'être signalée; il faut, en effet, que toute hypothèse qui sera proposée pour rendre compte des phénomènes magnétiques, en général, donne l'explication de ce fait.

798. Astaticité. — Il peut être utile dans certains cas d'avoir une aiguille aimantée qui ne se dirige pas, comme elle le fait d'ordinaire, sous l'influence du champ magnétique terrestre.

On peut atteindre ce résultat en plaçant dans le voisinage de l'aiguille un aimant qui détruit l'action magnétique terrestre, c'est-à-dire qui fasse naître un champ magnétique dont l'action soit égale et contraire : on arrive à déterminer par tâtonnement la place qu'il convient de donner à cet aimant.

On peut encore arriver au même résultat par l'emploi d'un *système astatique* : un semblable système est constitué par deux aiguilles aimantées reliées par une tige rigide et qui sont placées parallèlement, mais en sens opposé, de manière que les pôles de noms contraires soient d'un même côté. Si ces aiguilles ont été convenablement choisies, les actions qu'elles subissent, pour une position quelconque, de la part du champ magnétique terrestre, se contre-balancent exactement, et le système reste en équilibre.

Dans un cas comme dans l'autre, il est très difficile d'obtenir une astaticité complète, une indifférence absolue du système dans le champ magnétique terrestre, mais on peut s'en approcher beaucoup.

Comme, d'un autre côté, l'aimantation n'est pas invariable dans un aimant, l'astaticité obtenue à un certain moment ne se conserve pas complètement, et il faut vérifier qu'elle s'est maintenue lorsqu'on veut faire une expérience qui l'exige.

799. Aimantation par influence. — Un morceau de fer doux B placé à quelque distance et sur le prolongement d'un aimant A acquiert par le seul fait de ce voisinage la propriété d'être aimanté : il attire le fer. Les effets sont d'autant plus intenses que la distance est plus faible; ils sont au maximum au contact.

En explorant ce barreau de fer doux avec une petite aiguille aimantée, on reconnaît qu'il a des pôles qui sont orientés comme ceux de A, que par conséquent les pôles de A et de B qui sont en regard sont de nom contraire.

On dit, dans ce cas, que le fer doux B est aimanté par influence; conformément à ce que nous avons dit, cette aimantation par influence doit être attribuée à ce que le fer doux occupe une certaine position dans le champ magnétique produit par l'aimant A.

Si à la suite de B, on met de la même façon un autre barreau de fer