

Représentons par  $mm'n'$  (fig. 455) la section du barreau aimanté, dont les courants particuliers ont la direction marquée par les flèches : le courant de la pile arrive par la tige T, et, après avoir traversé l'aimant, il se dirige, à la surface du mercure, vers la circonférence SNS, suivant les divers rayons du cercle.

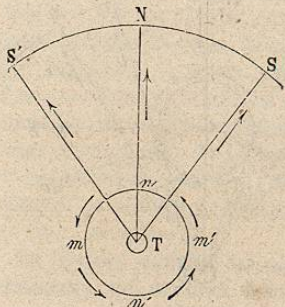


Fig. 455.

Si nous considérons l'un de ces courants horizontaux TN, on voit que la portion Tn, qui traverse l'aimant lui-même, ne peut lui communiquer aucun mouvement ; mais la portion nN exerce une attraction sur mn et une répulsion sur nm' ; ces actions concordent pour faire tourner l'aimant dans le sens mm'n'. Il en est de même de tous les courants horizontaux, en sorte que, dans les conditions que suppose la figure, l'aimant tourne autour de son axe, dans un sens inverse de celui de ses courants particuliers.

609. **Interprétation de la rotation d'un courant sous l'action d'un aimant.** — La même théorie explique le résultat de l'expérience de Faraday (596, 5°), dans laquelle on produit la rotation continue d'un courant sous l'action d'un aimant.

La figure 456 représente la section de l'appareil (fig. 452) par le plan vertical qui contient les deux conducteurs b, c, au moment où le barreau aimanté est introduit. Soit

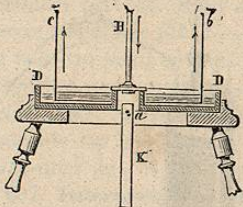


Fig. 456. — Rotation d'un courant sous l'action d'un aimant.

Soit  $mm'n'$  (fig. 457) la section horizontale du barreau, et nn' le diamètre suivant lequel son extrémité australe est coupée par le plan des conducteurs. Le courant ascendant b est attiré par n'm', et repoussé par mn', c'est-à-dire qu'il est sollicité à passer derrière le plan de la figure 456 : de même, c est attiré par nm et repoussé par m'n, c'est-à-dire qu'il tend à venir en avant du plan de la même figure. Ces quatre actions concordent pour entraîner l'équipage dans le même sens ; il en est de même dans l'une quelconque des positions qu'il prend successivement pendant la rotation



Fig. 457.

## CHAPITRE VII

## AIMANTATION PAR LES COURANTS. — TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

## I. — DÉVELOPPEMENT DU MAGNÉTISME PAR LES COURANTS. — ÉLECTRO-AIMANTS.

## 610. Développement du magnétisme par les courants. —

Quelle que soit la façon dont on se représente le développement de l'aimantation, qu'on l'attribue à une séparation des deux fluides répandus dans les éléments magnétiques (502), ou à une orientation des courants particuliers (606), les résultats fournis par l'électro-magnétisme conduisent à se demander si un courant ne doit pas agir sur un corps magnétique non aimanté, de façon à y produire l'aimantation. — Les expériences suivantes prouvent qu'il en est ainsi.

Si, comme l'a fait Arago, on place une tige de fer en croix avec un conducteur traversé par un courant, on constate qu'il se développe, dans cette tige, une aimantation qui persiste tant que le courant passe ; les pôles sont placés conformément à la règle d'Ampère (\*).

Si l'on place, en croix avec un courant, une aiguille d'acier trempé, non aimantée, on voit l'aimantation s'y développer avec lenteur, mais persister après le passage du courant.

611. **Aimantation de l'acier par les courants ou par les décharges électriques.** — A la suite de ces expériences, Ampère eut l'idée d'accroître le magnétisme développé par un courant dans une aiguille d'acier, en enroulant autour d'elle le fil conducteur. — Si l'on place une aiguille d'acier dans un tube de verre, autour duquel on aura enroulé en hélice un fil métallique (fig. 458), et si l'on fait passer un courant dans ce fil pendant quelques instants, on constate que l'aiguille est aimantée.

(\*) Si l'on plonge dans la limaille de fer un fil de cuivre, et qu'on y fasse passer un courant, on voit les grains de limaille s'attacher à ce fil et s'attirer les uns les autres, comme de petits aimants : l'attraction cesse dès qu'on ouvre le circuit.

Le pôle austral se développe à la gauche de chacun des courants circulaires, conformément à la règle d'Ampère. — On peut encore dire que le pôle austral se forme à l'extrémité devant laquelle il faut se placer



Fig. 458.

pour que le sens des courants circulaires paraisse inverse de celui du mouvement des aiguilles d'une montre (\*).

Enfin, pour produire des points consécutifs dans une aiguille, il suffit de changer le sens de l'enroulement du fil sur le tube (fig. 459).



Fig. 459.

Arago a constaté qu'on peut encore aimanter une aiguille d'acier, placée dans une hélice, en faisant passer dans cette hélice les décharges d'une machine électrique ou d'une batterie (\*\*). — On comprend, dès lors, que la foudre puisse aimanter des masses d'acier ou de fer, situées au voisinage des points frappés; qu'elle puisse intervertir les pôles des aimants, etc.

612. **Électro-aimants.** — On conçoit, d'après ce qui précède, qu'un barreau de fer doux (fig. 460), environné d'une bobine portant un fil conducteur enroulé en spirale, doit se comporter comme un aimant au moment où le fil est parcouru par un courant : le fer doux doit retomber à l'état neutre, dès que le courant est interrompu. — Tel est le principe de la construction des électro-aimants.

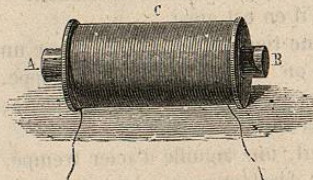


Fig. 460. — Électro-aimant.

Lorsqu'on se propose d'employer un électro-aimant à attirer une

(\*) Le procédé le plus puissant pour aimanter les barreaux d'acier est le suivant. Le barreau à aimanter est placé dans l'axe d'un anneau, sur lequel s'enroule un fil métallique traversé par un courant intense. Il est d'ailleurs assujéti entre deux forts aimants : par exemple, entre deux électro-aimants semblables à ceux que nous étudierons plus loin. On exerce alors, avec l'anneau lui-même, des frictions répétées sur le barreau, dans le sens de sa longueur, en ayant soin de passer le même nombre de fois sur chaque moitié.

(\*\*) Les recherches faites sur ce sujet par Savary ont montré qu'il faut toujours, pour que l'aimantation se développe, donner à la décharge une durée appréciable. Ainsi, lorsqu'on réunit les armatures d'une batterie puissante par un fil de platine fin, de aiguilles placées en croix avec ce fil s'aimantent d'une manière sensible.

pièce de fer doux, il y a avantage à courber, en forme de fer à cheval, la barre qui doit acquérir l'aimantation. On place alors les deux branches du fer à cheval dans deux bobines A, B (fig. 461), sur lesquelles s'enroule un même fil de cuivre, couvert de soie. Les actions des deux bobines devant concorder pour développer des pôles de noms contraires

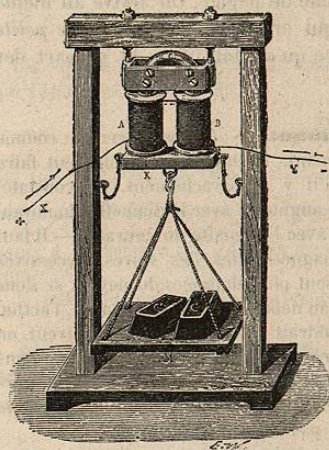


Fig. 461. — Électro-aimant en fer à cheval.

aux deux extrémités A et B, les sens de l'enroulement du fil doivent être inverses sur les deux bobines. — L'attraction exercée sur le contact K cesse dès que le courant est interrompu dans le fil.

Au lieu de courber une barre en fer à cheval, on préfère souvent

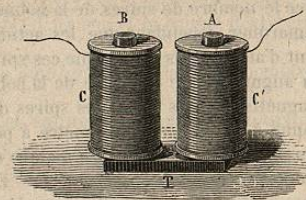


Fig. 462.

Électro-aimant à deux branches

réunir, par une traverse de fer doux T (fig. 462), deux barreaux A et B placés parallèlement. — C'est toujours ainsi que sont construits, par exemple, les électro-aimants employés dans la télégraphie électrique : on parvient ainsi plus facilement à obtenir ces trois pièces sans force coercitive, et l'électro-aimant fonctionne comme s'il ne contenait qu'une seule pièce de fer, courbée en fer à cheval (\*).

613. **Magnétisme rémanent.** — Lorsqu'on emploie un électro-aimant pour fixer un contact (fig. 461), on observe souvent que le contact ne se détache pas au moment même où le courant est interrompu; on peut parfois lui faire porter encore, pendant assez longtemps, le quart ou le tiers de la charge qu'il supportait pendant le passage du courant.

On a nommé *magnétisme rémanent*, le magnétisme qui persiste dans un électro-aimant, sous l'influence du contact, après la suppression du courant. — Cette persistance de l'aimantation a de graves inconvé-

(\*) Après avoir choisi du fer aussi pur que possible, et avoir donné aux barreaux la forme qu'ils doivent prendre, on les recuit à plusieurs reprises, et on achève de les travailler, non pas au marteau, mais à la lime : on fait ainsi disparaître sensiblement la force coercitive que l'érouissage ne manque jamais de communiquer, même au fer le mieux préparé.

nients, dans la plupart des usages auxquels on applique les électro-aimants. Elle est toujours d'autant plus faible, que le fer est plus pur et mieux travaillé.

On diminue beaucoup l'intensité et la durée du magnétisme rémanent, en plaçant, entre l'électro-aimant et son contact, une plaque de bois ou de carton, ou même une feuille de papier. On arrive au même résultat, en disposant un obstacle qui arrête le contact à une *petite distance* de l'électro-aimant; c'est ce qu'on fait dans la plupart des appareils de télégraphie électrique.

**614. Puissance d'un électro-aimant.** — On peut prendre comme mesure de la *puissance* d'un électro-aimant, la charge que l'on peut faire porter au contact de fer doux sans qu'il y ait arrachement. On constate, d'une manière générale, que la puissance augmente avec le diamètre du noyau, avec le nombre de spires de la bobine et avec l'intensité du courant. — Il faut remarquer cependant que les actions magnétisantes des spires successives sont d'autant plus faibles que ces spires sont plus éloignées du noyau; si donc on augmentait le diamètre de la bobine au delà d'une certaine limite, l'action magnétisante des dernières spires deviendrait insensible. Le plus souvent, on donne à la bobine un diamètre à peu près double de celui du noyau; dans ces conditions, l'expérience montre que *la puissance est sensiblement proportionnelle au nombre des spires*. — Elle est aussi *proportionnelle à l'intensité du courant*, tant que celle-ci ne dépasse pas une certaine limite.

Proposons-nous de déterminer la longueur  $l$  et la section  $s$  du fil de cuivre qu'il faudra enrouler sur un noyau de dimensions données, pour obtenir le maximum de puissance, avec le courant d'une pile de résistance donnée  $R$ . — Nous aurons une première relation entre  $l$  et  $s$ , en remarquant que le volume  $ls$  du fil de cuivre est connu; il est égal à la différence  $v$  des volumes de deux cylindres de même hauteur (la longueur du noyau), le diamètre de l'un étant double de celui de l'autre; on a donc

$$(1) \quad v = ls.$$

Soit  $p$  la longueur moyenne de chaque spire, c'est-à-dire la moyenne des longueurs de la circonférence du noyau et de celle de la bobine; le nombre des tours de fil est  $n = \frac{l}{p}$ . — Désignons par  $k$  la résistance spécifique du cuivre, et par  $E$  la force électromotrice de la pile tout entière; l'intensité du courant est exprimée par

$$i = \frac{E}{R + \frac{kl}{s}};$$

la puissance de l'électro-aimant étant proportionnelle aux deux quantités  $n$  et  $i$ , nous pouvons la représenter par le produit

$$m = \frac{El}{p\left(R + \frac{kl}{s}\right)} = \frac{E}{p\left(\frac{R}{l} + \frac{k}{s}\right)}$$

Pour que la puissance soit maximum, il faut que la somme  $\frac{R}{l} + \frac{k}{s}$  soit minimum; or le produit de ses deux termes,  $\frac{R}{l} \times \frac{k}{s} = \frac{Rk}{v}$ , est constant: dès lors, d'après un théorème connu, le minimum aura lieu quand on aura

$$(2) \quad \frac{R}{l} = \frac{k}{s}.$$

Les équations (1) et (2) feront connaître  $l$  et  $s$ . — Enfin, si l'on remarque que l'équation (2) peut s'écrire

$$R = \frac{kl}{s},$$

on voit que, dans la construction des électro-aimants, pour obtenir l'effet maximum, on doit faire en sorte que *la résistance du fil de la bobine  $\frac{kl}{s}$  soit égale à la résistance  $R$  du reste du circuit*, dans lequel la bobine devra être intercalée.

Le même raisonnement s'appliquerait au multiplicateur d'un galvanomètre.

**615. Sonneries électriques.** — Les sonneries électriques fournissent un exemple simple des propriétés des électro-aimants.

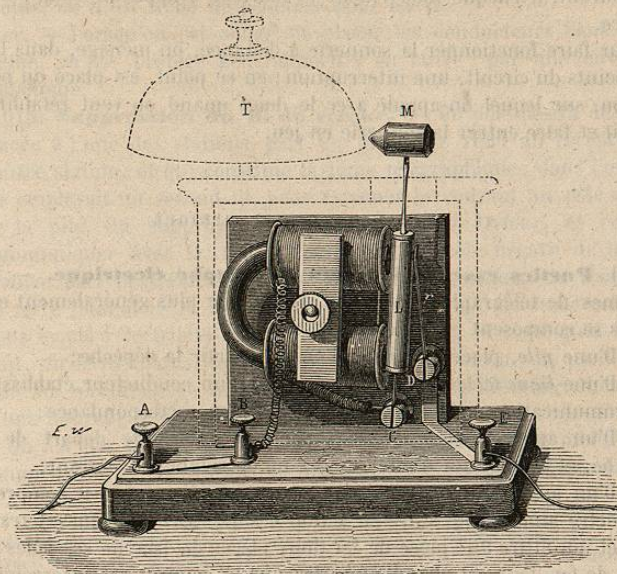


Fig. 465. — Sonnerie électrique.

Un électro-aimant en fer à cheval est fixé sur une planche verticale

(fig. 463) : en face des extrémités de ses branches, se trouve une pièce de fer doux mobile L, supportée par une lame d'acier élastique, fixée inférieurement en C : cette pièce de fer porte une tige munie d'un marteau M destiné à frapper sur un timbre fixe T. A l'état de repos, cette pièce L, écartée de l'électro-aimant, appuie contre le ressort r qui communique, par le bouton D et la borne E, avec le fil conducteur qui se rend à l'un des pôles d'une pile. — La partie inférieure C de la lame d'acier qui supporte la pièce L communique, comme le montre la figure, avec l'une des extrémités du fil de l'électro-aimant; l'autre extrémité de ce même fil est mise en communication, par la borne A, avec le fil conducteur qui se rend à l'autre pôle de la pile.

Dès que le circuit de la pile est fermé, le courant passe par le ressort r, par la palette L et par le fil de l'électro-aimant. Mais le passage même du courant ayant pour effet d'aimanter l'électro-aimant, la palette L est attirée et s'éloigne du ressort r : le circuit est alors interrompu, et l'électro-aimant cesse d'attirer la palette. Dès lors, la lame élastique qui supporte la palette la ramène au contact du ressort r : le circuit est fermé de nouveau; la palette est attirée de nouveau par l'électro-aimant, et ainsi de suite, tant que dure le passage du courant. A chaque mouvement le marteau frappe un coup sur le timbre.

Pour faire fonctionner la sonnerie à distance, on ménage, dans l'un des points du circuit, une interruption; en ce point, est placé un petit bouton, sur lequel on appuie avec le doigt quand on veut rétablir le circuit et faire entrer la sonnerie en jeu.

## II. — TÉLÉGRAPHIE ÉLECTRIQUE.

616. **Parties essentielles d'un télégraphe électrique.** — Les systèmes de télégraphie électrique qui sont le plus généralement employés se composent essentiellement :

- 1° D'une *pile*, placée au point d'où doit partir la dépêche;
- 2° D'une *ligne télégraphique*, c'est-à-dire d'un conducteur établissant la communication entre les points qui sont en correspondance;
- 3° D'un appareil *manipulateur*, placé au point de départ de la dépêche, et permettant d'interrompre ou de rétablir le courant;
- 4° D'un appareil *récepteur*, placé au point d'arrivée : il comprend un électro-aimant, qui entre en action dès que le courant lui est transmis, et qui attire une pièce de fer doux placée en face de ses pôles; la pièce de fer doux est abandonnée dès que le courant est interrompu. Les mouvements de cette pièce, se transmettant à des organes divers, produiront tels ou tels effets, selon qu'il s'agira de tel ou tel système.

On fait le plus souvent usage de piles qui ne sont que des modifica-

tions de la pile de Daniell, et qui présentent une constance remarquable pendant plusieurs semaines (\*).

Nous parlerons d'abord de l'établissement de la ligne, et nous décrirons ensuite le manipulateur et le récepteur de quelques-uns des systèmes les plus employés.

617. **Lignes télégraphiques, aériennes ou souterraines.** — La communication entre les postes d'une ligne télégraphique s'établit au moyen de fils métalliques, qui doivent être isolés aussi exactement que possible dans toute leur longueur. — Ce sont, en général, des fils de fer *galvanisés*, c'est-à-dire couverts d'une couche de zinc qui les préserve de l'oxydation.

Ceux de ces fils qui sont placés à ciel ouvert sont soutenus par des poteaux, et reposent sur des crochets métalliques, fixés à des supports de porcelaine isolants (fig. 464).

Quand les fils doivent traverser une grande ville, on les entoure d'une couche de gutta-percha, et on les applique le long des voûtes des égouts, où il est facile de pénétrer pour les visiter. — Lorsqu'on est obligé de placer les conducteurs dans le sol même, on les protège généralement, en outre, par une enveloppe métallique.

618. **Suppression du fil de retour.** — Du pôle positif de la pile placée à l'une des stations, part un fil qui se rend au récepteur de l'autre station, et qui constitue la ligne télégraphique; dans l'origine, on employait un second fil, pour ramener le courant au pôle négatif de la pile. On supprime aujourd'hui ce *fil de retour*, et l'on fait communiquer avec la terre, d'une part le pôle négatif de la pile, d'autre part l'extrémité libre du fil de l'électro-aimant du récepteur. La terre joue alors le rôle d'un corps conducteur, de surface infinie, dans lequel l'électricité s'écoule successivement, en sorte qu'il se produit, sur le fil unique, un véritable courant, allant du pôle positif de la pile au récepteur de la station d'arrivée, par l'affluence incessante d'une nouvelle quantité d'électricité.

On n'a pas seulement l'avantage d'économiser ainsi la moitié de la longueur de fil qui aurait été nécessaire si l'on avait employé un fil

(\*) On doit à M. Marié-Davy une pile qui est destinée au service télégraphique, et qui présente des avantages réels. Elle peut être considérée comme différant de la pile de Daniell en ce que le sulfate de cuivre est remplacé par du sulfate de mercure. Le conducteur qui plonge dans le sulfate de mercure ne peut plus être une lame de cuivre, qui serait attaquée : c'est une plaque de charbon de cornue, sur laquelle se rend le mercure mis en liberté par le courant. Ce métal coule au fond du vase poreux, où l'on peut le recueillir.

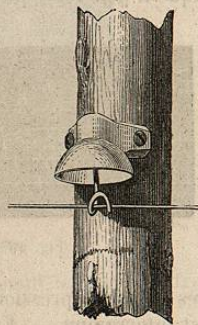


Fig. 464.  
Poteau télégraphique.

de retour : l'expérience a montré qu'on obtient, avec la même pile, un courant d'une intensité presque double.

(619) **Télégraphe de Morse.** — Le système télégraphique de Morse, inventé en Amérique, s'est rapidement répandu dans le monde entier : c'est aujourd'hui l'un des plus employés.

**Manipulateur.** — Le manipulateur se compose d'un levier métallique K (fig. 465), qui est mobile autour d'un axe S communiquant avec

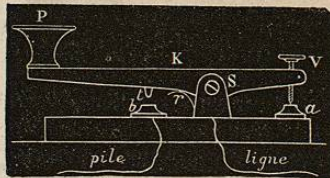


Fig. 465.

la ligne, comme l'indique la figure. On manœuvre ce levier en appuyant avec la main sur la poignée P : la pointe métallique *t* vient alors porter sur la pièce métallique *b*, qui communique avec le pôle positif de la pile : donc, tant que dure la pression exercée sur la poignée P, le courant de la pile passe sur la ligne.

Dès que cette pression cesse, le ressort *r* relève le levier, et le courant est interrompu. — En faisant varier la durée des contacts, on peut envoyer ainsi sur la ligne une série de courants discontinus, dont on règle à volonté le rythme et la durée (\*).

**Récepteur.** — Les mouvements du levier du manipulateur sont fidèlement reproduits par un levier AOD (fig. 467), qui est la pièce principale du récepteur. Ce levier est mobile autour d'un axe O : sa branche OA porte une plaque de fer doux A, placée au-dessus d'un électro-aimant E,

(\*) Le manipulateur représenté par la figure 466 porte, outre les deux boutons B et C, qui servent à établir la communication de *b* avec la pile, et celle de S avec la ligne, un troisième bouton A qui est en communication avec la pièce métallique *a*. Ce bouton, qui reçoit un fil se rendant au récepteur du même poste, sert, quand le manipu-

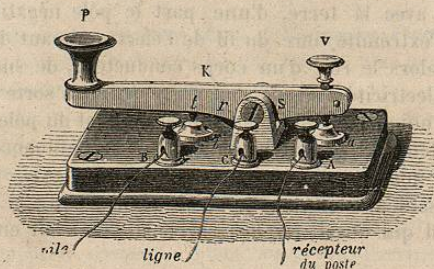


Fig. 466. — Manipulateur du télégraphe de Morse.

lateur est au repos, à faire parvenir dans ce récepteur les courants qui peuvent arriver par le fil de la ligne. On voit, en effet, que le levier métallique établit alors la communication entre C et A : le manipulateur se place donc de lui-même, quand on abandonne la poignée, dans la position de *réception*.

dont le fil communique d'une part avec la ligne, d'autre part avec la terre. Au-dessus de l'extrémité de l'autre bras du levier, passe une

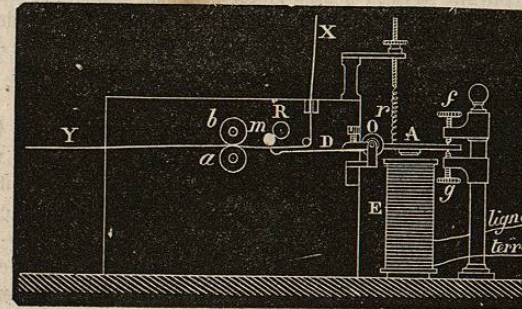


Fig. 467.

bande de papier XY, qui est entraînée d'un mouvement uniforme entre

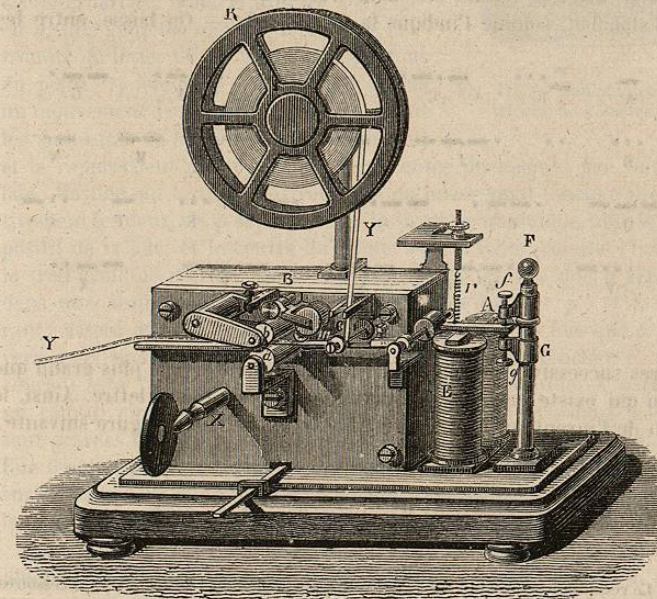


Fig. 468. — Récepteur du télégraphe de Morse.

deux cylindres horizontaux *b*, *a*, mobiles autour de leurs axes, et mis en mouvement par un mécanisme d'horlogerie contenu dans la boîte B