

L'opération de la dorure se fait d'une manière tout à fait semblable, avec cette seule différence qu'elle exige une température d'environ 70 degrés, que l'on maintient en plaçant les bains de dorure sur un feu doux.

556. **Cuivrage, nickelage, etc.** — En modifiant, dans quelques-uns de leurs détails, les procédés que nous venons d'indiquer, l'industrie est parvenue à obtenir, au moyen des courants, la plupart des métaux en couches adhérentes à la surface des objets, de manière à satisfaire à tous les besoins de l'ornementation ou des usages journaliers.

C'est ainsi que, pour préserver de l'action oxydante de l'air les candélabres, les statues et les divers objets de fonte qui ornent nos places publiques, on les revêt d'une couche de cuivre, à laquelle les procédés de M. Fr. Weill permettent de donner une adhérence parfaite. — Pour garantir de l'action corrosive de l'eau de mer les plaques de blindage des navires cuirassés, on revêt également ces plaques d'une couche de cuivre, qui n'éprouve qu'une altération superficielle.

C'est ainsi encore que, pour préserver de la rouille les objets de fer ou d'acier, on les couvre d'une couche de nickel. Le nickel est absolument inoxydable, et, comme c'est en outre un métal très dur, il suffit d'une couche mince pour résister très longtemps à l'usure que tendent à déterminer les frottements.

Ces exemples suffisent pour montrer tout le parti que l'industrie peut tirer des dépôts galvaniques : il n'est presque plus de métaux dont les propriétés spéciales ne puissent être utilisées par des procédés de ce genre.

d'oxyde rouge; puis, on lave à grande eau. La pièce, ainsi *dérochée*, est ensuite plongée dans de l'acide nitrique faible, puis, pendant une ou deux secondes, dans de l'acide nitrique concentré, auquel on a ajouté un peu de sel marin : c'est le *décapage*. Enfin, la pièce est rincée, et portée au bain d'argent ou au bain d'or.

## CHAPITRE IV

### ÉLECTRO-MAGNÉTISME

#### I -- EXPÉRIENCE D'ØRSTED ET LOI D'AMPÈRE. — CONSTRUCTION ET USAGE DU GALVANOMÈTRE.

557. **Expérience d'Ørsted.** — L'électro-magnétisme est l'étude des actions exercées par les courants sur les aimants, et des actions réciproques. — Une action de ce genre fut observée pour la première fois en 1820, par Ørsted, professeur à Copenhague. En plaçant un fil métallique dans une direction parallèle à une aiguille aimantée mobile sur un pivot, Ørsted vit l'aiguille abandonner sa position d'équilibre, dès qu'on faisait passer un courant dans un fil.

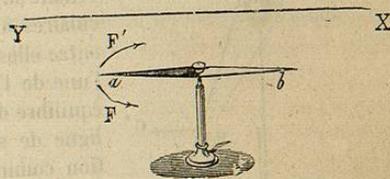


Fig. 455.

Le sens de la déviation observée dépendait, et de la direction du courant, et de sa position par rapport à l'aiguille : ainsi, quand le fil XY était placé au-dessus de l'aiguille (fig. 455), selon que le courant allait du nord au sud ou en sens contraire,

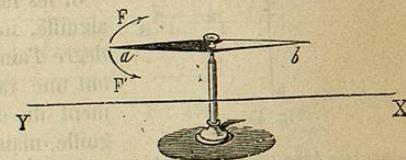


Fig. 456.

le pôle austral de l'aiguille était dévié vers l'est ou vers l'ouest, c'est-à-dire dans le sens de la flèche F ou dans le sens de la flèche F'. Lorsqu'on plaçait le fil au-dessous de l'aiguille (fig. 456), les résultats étaient encore intervertis. — Ces divers résultats peuvent être compris dans un même énoncé, connu sous le nom de *loi d'Ampère*.

558. **Loi d'Ampère.** — *Un courant rectiligne, agissant sur un aimant mobile autour d'un axe perpendiculaire à la ligne des pôles, tend toujours à le placer dans une position perpendiculaire à la sienne, et de manière que le pôle austral soit à la gauche du courant.*

Pour définir ce qu'on doit entendre par la gauche du courant, Ampère suppose que l'observateur se place suivant la direction même du conducteur, de façon que le courant entre par ses pieds et sorte par sa tête, son visage étant tourné du côté de l'aiguille : la gauche de l'observateur est alors la gauche du courant.

559. **Application à la mesure de l'intensité des courants.** — Dans l'expérience d'Ersted, l'aiguille aimantée est soumise à la fois à l'action de la terre et à l'action du courant : la grandeur de la déviation

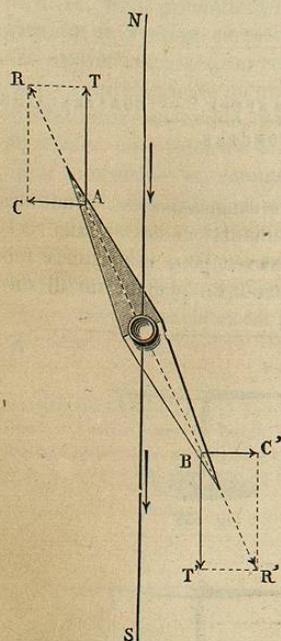


Fig. 457.

qu'elle éprouve dépend de ces deux actions. — Soient NS (fig. 457) la direction du fil, parallèle au méridien magnétique, et AB la position que prend l'aiguille, lorsque le courant passe dans le fil. Aux deux pôles A et B de l'aiguille sont appliquées deux forces égales T et T', provenant de l'action de la terre, parallèles à NS, et dirigées en sens contraire l'une de l'autre. En ces mêmes points A et B sont appliquées deux forces C et C', provenant de l'action du courant, perpendiculaires à la direction NS du fil, égales entre elles, et dirigées en sens contraire l'une de l'autre. L'aiguille se place en équilibre dans une position telle, que la ligne de ses pôles soit dans la direction commune des deux résultantes R et R', appliquées en A et en B.

Or les forces T et T' ont, pour chaque aiguille, une valeur déterminée par son degré d'aimantation. Les forces C et C' ont une valeur qui dépend, non seulement du degré d'aimantation de l'aiguille, mais aussi de l'intensité du courant. Dès lors, si l'on fait agir, sur cette aiguille, des courants d'intensité croissantes, les forces C et C' acquerront des valeurs croissantes; par suite, les résultantes R et R' feront avec la direction NS des angles croissants, c'est-à-dire qu'on observera des déviations de plus en plus grandes. — Les déviations produites sur une même aiguille, par des courants différents, peuvent donc être employées pour comparer entre elles les intensités des courants.

Mais, d'autre part, et pour les raisons mêmes que nous venons d'indiquer, les courants peu intenses ne produiraient, dans l'expérience ainsi faite, que des déviations inappréciables. — Nous allons voir comment on est parvenu, à l'aide de diverses dispositions, à donner une valeur plus grande aux forces C et C', et une valeur plus petite aux forces T et T'; par suite, à obtenir des déviations sensibles avec des courants d'une intensité beaucoup moindre.

560. **Multiplicateur de Schweigger.** — Schweigger a eu l'idée d'augmenter les actions exercées par le courant, en multipliant autour de l'aiguille les portions du fil qui peuvent agir sur elle.

Pour nous rendre compte de l'efficacité du multiplicateur qui fut construit par lui, supposons d'abord que le fil conducteur ait été plié

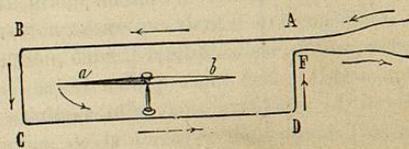


Fig. 458.

en un rectangle ABCDF (fig. 458), au milieu duquel nous placerons l'aiguille aimantée ab. Si le fil est parcouru par un courant, dans le sens des flèches indiquées ci-contre, il est facile de voir, en considérant successivement chacune des quatre parties rectilignes du courant, AB, BC, CD, DF, qu'elles ont toutes leur gauche en avant du plan de la figure : donc les actions de ces quatre parties concordent pour amener le pôle austral de l'aiguille en avant de ce plan.

Si maintenant, au lieu de former avec le fil un simple rectangle autour de l'aiguille, on l'enroule, un grand nombre de fois et toujours dans le même sens, sur un cadre rectangulaire CC (fig. 459), tous les tours ainsi formés seront parcourus dans le même sens par le courant: ils exerceront encore des actions concordantes sur une aiguille aimantée ab, placée à l'intérieur du cadre.

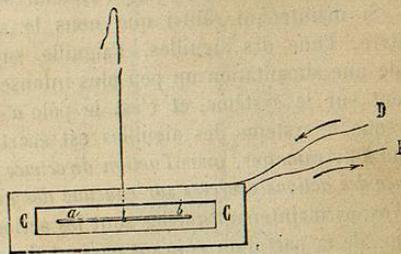


Fig. 459.

— Si le fil conducteur fait quelques centaines de tours, cet appareil pourra permettre d'obtenir une déviation sensible de l'aiguille, sous l'action de courants qui seraient tout à fait inappréciables par l'expérience d'Ersted (\*).

(\*) Avant d'appliquer le fil sur le cadre, on a eu soin de l'entourer de soie, dans toute sa longueur, afin d'isoler les uns des autres les tours contigus. Remarquons aussi que, au lieu de placer l'aiguille sur un pivot, ce qui développe toujours des

561. **Emploi de deux aiguilles, formant un système presque astatique.** — On augmente encore la sensibilité du *multiplicateur*, en employant, comme l'a indiqué Nobili, un système de deux aiguilles.

On assujettit l'une à l'autre deux aiguilles aimantées, à peu près égales, en les réunissant par une tige de cuivre rigide (fig. 440); on a soin de les placer parallèlement entre elles, mais de façon que leurs

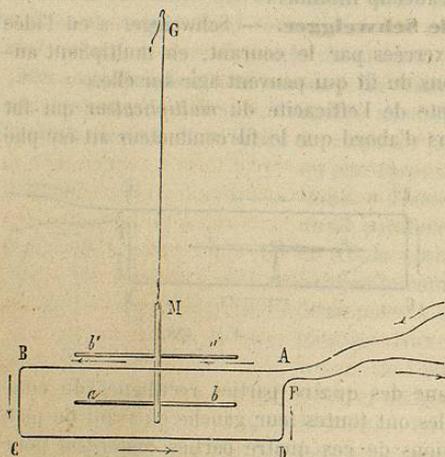


Fig. 440.

qu'on exprime en disant que le système serait complètement *astatique*. — Si maintenant, ainsi que nous le supposons dans ce qui va suivre, l'une des aiguilles, l'aiguille supérieure par exemple, possède une aimantation un peu plus intense, la terre agit encore faiblement sur le système, et c'est le pôle *a'* qui se dirige vers le nord : lorsque le système des aiguilles est écarté de cette position, la terre tend à l'y ramener, mais *l'action directrice de la terre n'est que la différence des actions exercées sur chacune des aiguilles*.

Voyons maintenant quelles sont les actions qu'éprouve un pareil système, de la part d'un courant passant dans un fil rectangulaire ABCD orienté dans le méridien magnétique, l'aiguille inférieure *ab* étant placée à l'intérieur de ce rectangle, et l'aiguille supérieure *a'b'* étant en dehors, à une petite distance du côté AB. — Le courant qui passe dans le fil, s'il se propage dans le sens des flèches, agit d'abord, comme nous l'avons vu (560), par les quatre côtés du rectangle à la fois, pour amener le pôle austral *a* de l'aiguille intérieure en avant du plan de la

frottements pendant les mouvements de l'aiguille, on peut la suspendre, comme l'indique la figure 439, à un fil de soie sans torsion, qui passe dans une ouverture pratiquée au travers du cadre.

pôles contraires se correspondent, comme l'indiquent les lettres de la figure; enfin on suspend le système à un fil de soie sans torsion G. — Si les deux aiguilles étaient parfaitement identiques pour la grandeur et le degré d'aimantation, il est clair que les actions exercées sur leurs pôles par la terre se neutraliseraient toujours, quelle que fût l'orientation, et que le système resterait en équilibre dans une position quelconque : c'est ce

figure; il reste donc à considérer son action sur l'aiguille extérieure. — Or, en appliquant la loi d'Ampère, on voit que le côté supérieur AB du rectangle tend à porter le pôle austral *a'* en arrière du plan de la figure, et par suite le pôle *b'*, qui correspond à *a*, en avant; cette action concorde avec celles qui s'exercent sur l'aiguille *ab*. Quant aux actions exercées sur l'aiguille *a'b'* par les trois côtés BC, CD, DF, il est facile de voir qu'elles sont inverses; mais comme ces côtés sont beaucoup plus éloignés de cette aiguille que le côté AB, leurs actions sont beaucoup plus faibles. L'action totale du rectangle sur l'aiguille extérieure doit donc être considérée comme s'ajoutant à l'action exercée sur l'aiguille intérieure, en sorte que ces deux actions tendent à faire tourner le système dans le même sens. — Si, au lieu d'un simple rectangle, on a un cadre portant un grand nombre de tours, chaque tour se comporte comme le courant rectangulaire qui vient d'être considéré.

Donc, en résumé, l'introduction, dans le *multiplicateur*, d'un système de deux aiguilles aimantées, d'une intensité presque égale, c'est-à-dire formant un système *presque astatique*, offre deux avantages : 1° de diminuer considérablement l'action de la terre; 2° d'augmenter l'action du courant lui-même. — Pour ces deux raisons, la sensibilité de l'appareil devient beaucoup plus grande.

562. **Galvanomètre.** — Le *galvanomètre* (fig. 441) n'est autre chose qu'un multiplicateur à deux aiguilles, auquel on joint un cercle divisé pour mesurer les déviations.

Un système de deux aiguilles aimantées, disposées comme il vient d'être dit, est suspendu à un fil de cocon L; ce fil est soutenu par un crochet fixé à un bouton K, qui permet de le faire monter ou descendre de petites quantités. Sur le cadre AB, est enroulé un fil de cuivre couvert de soie; les extrémités de ce fil vont aboutir à deux bornes métalliques C, C', fixées sur une planchette d'ivoire D. L'aiguille inférieure est au milieu du cadre (on en

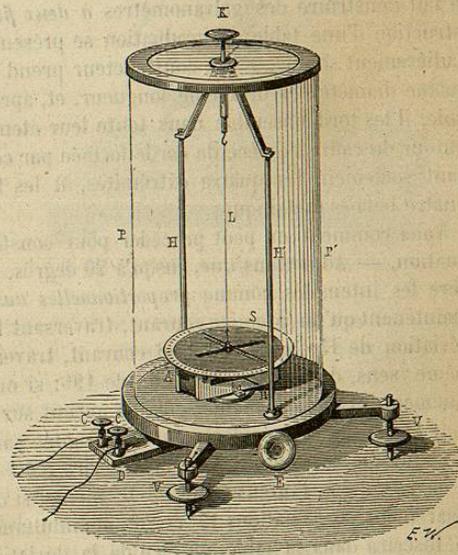


Fig. 441. — Galvanomètre.

peut voir une petite partie dans la figure); l'aiguille supérieure est en dehors du cadre, au centre d'un cercle de cuivre S, dont le contour est divisé en degrés; le diamètre qui passe par le zéro est parallèle aux tours du fil. L'appareil est environné d'une cloche de verre PP', qui préserve les aiguilles des agitations de l'air.

Lorsqu'on veut mettre le galvanomètre en expérience, on oriente d'abord le cadre AB parallèlement à la position prise par les aiguilles; pour cela, on fait tourner le cercle et le cadre autour de leur axe vertical, au moyen d'un engrenage qui correspond au bouton extérieur E, jusqu'à ce que le zéro de la graduation vienne se placer sous l'une des extrémités de l'aiguille extérieure. — On fixe alors des fils conducteurs dans les bornes C, C', au moyen de vis de pression. Si ces fils font partie d'un circuit parcouru par un courant appréciable, le sens de la déviation fait connaître la *direction* de ce courant dans le fil; quant à son *intensité*, on peut la déduire de la grandeur de la déviation, si l'on a construit, comme nous allons l'indiquer, une table fournissant, en regard des diverses déviations, les intensités des courants qui les produisent. — Pour les déviations d'un petit nombre de degrés, on peut regarder les intensités comme proportionnelles aux déviations elles-mêmes.

563. **Graduation du galvanomètre à deux fils.** — M. Becquerel a fait construire des galvanomètres à deux fils, pour lesquels la construction d'une table de graduation se présente d'une manière particulièrement simple. — Le constructeur prend deux fils métalliques, de même diamètre et de même longueur, et, après les avoir couverts de soie, il les tord ensemble dans toute leur étendue; il enroule ensuite autour du cadre l'espèce de corde formée par ces deux fils, et, en séparant seulement les quatre extrémités, il les fait communiquer avec quatre bornes métalliques.

Voici comment on peut procéder pour construire une table de graduation. — Admettons que, jusqu'à 20 degrés, par exemple, on considère les intensités comme *proportionnelles aux déviations*. Supposons maintenant qu'un premier courant, traversant l'un des fils, donne une déviation de 13°; qu'un second courant, traversant l'autre fil dans le même sens, donne une déviation de 19°: si on les fait passer simultanément, et dans le même sens, ils auront sur les aiguilles une action dont l'intensité sera évidemment représentée par 32°: si donc on n'observe qu'une déviation de 30°, on inscrira dans la table, en regard de la déviation 30°, l'intensité 32. — De même, si deux courants donnent séparément les déviations 17° et 20°, et simultanément la déviation 34°, on inscrira dans la table, en face de la déviation 34°, l'intensité 37; et ainsi de suite.

Le galvanomètre à deux fils est souvent désigné sous le nom de *galvanomètre différentiel*, parce qu'il permet d'apprécier la différence d'in-

tensité de deux courants, en les faisant passer simultanément, mais en sens contraire, l'un dans un fil, l'autre dans l'autre.

564. **Des différences à apporter dans la construction des galvanomètres, selon les usages auxquels ils doivent être employés.** — L'interposition du fil d'un galvanomètre, dans un circuit parcouru par un courant, introduit toujours dans ce circuit une résistance qui a pour effet de diminuer l'intensité du courant lui-même. — Lorsqu'il s'agit du courant d'une source *hydro-électrique*, dont la résistance intérieure est très grande (540), la résistance du fil du galvanomètre, alors même qu'il aurait une petite section et une grande

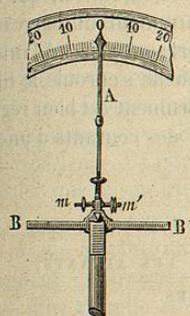


Fig. 442.

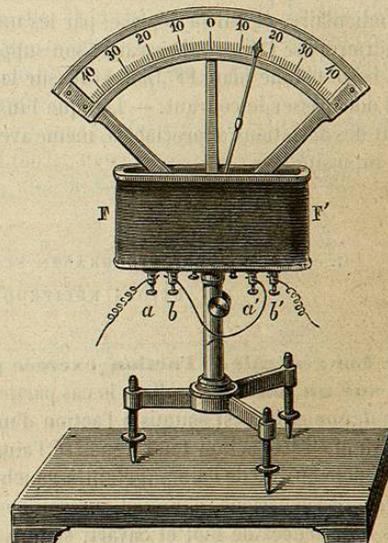


Fig. 443. — Galvanomètre de M. Bourbouze.

longueur, doit le plus souvent être considérée comme assez petite par rapport à celle de la pile. Il y a donc avantage, dans ce cas, à employer pour la construction du galvanomètre un fil très fin et très long, afin de pouvoir l'enrouler un très grand nombre de fois sur le cadre, et de multiplier ainsi l'action qu'il exerce sur l'aiguille. — On construit, en effet, des galvanomètres à *long fil*, qui comprennent de deux mille à trente mille tours, et qui sont, pour les courants des sources hydro-électriques, d'une grande sensibilité.

Au contraire, lorsqu'il s'agit de courants produits par les piles *thermo-électriques*, l'interposition d'un fil métallique un peu fin introduirait dans le circuit une résistance énorme, par rapport à celle qu'offre la pile elle-même: il en résulterait une diminution d'intensité qui pour-

rait rendre insensible l'action sur l'aiguille. Il est donc indispensable, dans ce cas, d'employer un instrument dont le fil soit assez gros et assez court. — On construit, pour cet usage, des galvanomètres à gros fil, qui comprennent de trente à trois cents tours.

565. **Galvanomètre de M. Bourbouze.** — M. Bourbouze a construit un galvanomètre moins sensible que le précédent, mais qui a l'avantage de donner des indications visibles de loin, pour un grand nombre de spectateurs.

L'aimant sur lequel doit agir le courant est un barreau d'acier BB' (fig. 442), mobile comme un fléau de balance, sur un couteau d'acier reposant sur un plan d'agate : il est muni d'une aiguille A, qui lui est perpendiculaire, et qui se déplace, par les mouvements du barreau, sur un cadran divisé (\*). — Le barreau et son support sont placés à l'intérieur d'une large bobine plate FF' (fig. 443), sur laquelle s'enroule le fil dans lequel doit passer le courant. — Lorsque l'instrument est bien réglé, on obtient des déviations appréciables, même avec des courants d'une assez faible intensité (\*\*).

## II. — ACTIONS DES COURANTS SUR LES AIMANTS, ET ACTIONS RÉCIPROQUES.

566. **Loi générale de l'action exercée par un courant rectiligne sur un aimant.** — Dans le cas particulier où un aimant mobile autour de son milieu est soumis à l'action d'un courant rectiligne, nous avons vu que cette action tend à mettre l'aimant en croix avec le courant, le pôle austral de l'aimant étant à gauche du courant : c'est la conséquence de l'expérience d'Ersted, interprétée par la loi d'Ampère (558). — Les expériences de Biot et Savart, soumises au calcul par Laplace, ont montré que tous les phénomènes observés, en faisant varier les

(\*) Deux petites masses  $m, m'$ , mobiles à vis sur une petite tige parallèle au barreau, permettent d'effectuer un réglage préalable, de manière que le barreau se place en équilibre dans la position horizontale, c'est-à-dire de manière que l'aiguille A vienne au zéro de la graduation. Une autre petite masse, mobile sur l'aiguille elle-même, permet de déplacer le centre de gravité de façon que cette espèce de balance ait une sensibilité aussi grande que possible.

(\*\*) Dans l'instrument représenté par la figure 443, la bobine porte deux fils, enroulés à côté l'un de l'autre, et dont les extrémités sont respectivement  $a, b, a', b'$ . Lorsque les extrémités  $b$  et  $a'$  sont réunies, comme le représente la figure, on peut faire passer un même courant dans toute la longueur formée par la succession des deux fils : il suffit, pour cela, d'attacher en  $a$  et  $b'$  les conducteurs qui amènent le courant dans l'instrument. — Mais on peut aussi, en supprimant la communication  $ba'$ , comparer les intensités de deux courants différents, en les faisant passer simultanément et en sens inverse dans les deux fils : l'instrument fonctionne alors comme un galvanomètre différentiel (565).

conditions d'assujettissement, ou les positions relatives de l'aimant et du courant, peuvent être réunis dans la loi générale suivante :

*Lorsqu'un courant rectiligne et indéfini est en présence d'un aimant, chaque pôle de l'aimant est sollicité par une force, dont la direction est perpendiculaire au plan qui passe par ce pôle et par le courant. L'intensité de cette force varie en raison inverse de la distance du pôle au courant lui-même.*

567. **Exemples de mouvements divers, imprimés à des aimants par des courants.** — L'énoncé qui précède permet de prévoir dans quels cas un aimant mobile doit se mettre en mouvement, ou rester en équilibre, sous l'influence d'un courant rectiligne indéfini et fixe. — Suivant la nature des liaisons auxquelles l'aimant est assujéti, l'action du courant peut déterminer, soit une *orientation*, soit un mouvement de *translation*, soit un mouvement de *rotation continue* : c'est ce que nous allons montrer par quelques exemples.

1° L'*orientation* d'un aimant sous l'influence d'un courant, est réalisée dans l'expérience d'Ersted (557); nous n'y reviendrons pas.

2° Voici une disposition, due à Boisgiraud, dans laquelle l'action d'un courant communiqué à un aimant un mouvement de *translation*. — Une aiguille aimantée très légère AB (fig. 444) est placée sur un flotteur, à la surface de l'eau; sous l'influence de la terre, elle s'orienté dans le plan du méridien magnétique, que nous supposons être le plan de la figure. Perpendiculairement au méridien magnétique, on dispose un long fil de cuivre rectiligne, dont C représente la section, et dont les deux extrémités sont mises en communication avec les pôles d'une pile : l'aiguille prend un mouvement de translation suivant sa propre direction, mouvement dont le sens dépend du sens du courant et de la position du fil par rapport aux deux pôles magnétiques (\*).

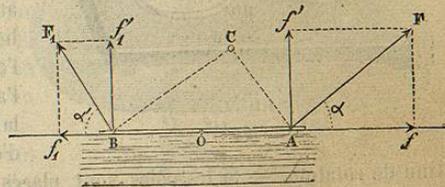


Fig. 444.

(\*) Pour nous rendre compte de ce résultat, supposons que le courant soit dirigé, dans le fil C, d'arrière en avant du plan de la figure, et que ce fil soit placé au-dessus de la moitié australe OA de l'aiguille. Le pôle A sera sollicité par une force F, située dans le plan de la figure et perpendiculaire à CA (566); de même, le pôle B sera sollicité par une force  $F_1$ , située dans le même plan et perpendiculaire à CB. La force F peut se décomposer en deux autres, l'une  $f$  égale à  $F \cos \alpha$  et dirigée suivant le prolongement de BA, l'autre  $f'$  verticale; de même  $F_1$  peut se décomposer en une force  $f_1$  égale à  $F_1 \cos \alpha'$  et dirigée suivant le prolongement de AB, et une force verticale  $f'_1$ ; les deux forces verticales  $f'$  et  $f'_1$ , qui ne peuvent tendre qu'à soulever l'aiguille, sont trop faibles pour vaincre la pesanteur et l'adhérence du liquide; les deux forces horizontales  $f$  et  $f_1$  tendent à entraîner l'aiguille, l'une dans la direction BA, l'autre en sens contraire. Or les intensités des forces totales F et  $F_1$  sont inversement propor-

3° Enfin, Faraday est parvenu à produire la *rotation continue* d'un aimant sous l'influence d'un courant, de la manière suivante. — On place verticalement, au milieu du mercure que contient une éprouvette de verre (fig. 445), un barreau aimanté *a*, lesté par un petit cylindre de platine *p*; un anneau métallique *K*, qui garnit intérieurement la partie supérieure de l'éprouvette, sert à mettre le mercure en communication, par le contour de sa surface, avec l'un des pôles d'une pile; le centre de cette même surface est mis en communication avec l'autre pôle, au moyen de la tige métallique *T*. — Au moment où l'on ferme le circuit, on voit l'aimant se rapprocher de la tige *T* et prendre autour d'elle un mouvement continu de rotation. — Si les pôles sont placés comme le suppose la figure, le courant marche, à la surface du mercure, de l'extrémité de la tige *T* vers les divers points de l'anneau *K*; alors, si le pôle émergé *a* est un pôle austral, la rotation s'effectue, en avant de la tige, de droite à gauche. Si l'on intervertit le sens du courant, le sens de la rotation est également interverti.

L'explication de ce mouvement peut se déduire des lois de l'électromagnétisme : nous nous contenterons de remarquer que le sens dans lequel il s'effectue, sous l'influence des portions les plus voisines du courant, est d'accord avec la loi d'Ampère (558). — Quant à la continuité du mouvement, on peut s'en rendre compte en remarquant que,

tionnelles aux distances *CA* et *CB*; *F* est donc plus grand que *F<sub>1</sub>*; la figure montre d'ailleurs que l'angle  $\alpha$  est plus petit que  $\alpha'$ ; donc  $\cos \alpha > \cos \alpha'$ ; donc, à plus forte raison,  $F \cos \alpha$  ou  $f$  est-il plus grand que  $F_1 \cos \alpha'$  ou que  $f_1$ ; la résultante des deux forces  $f$  et  $f_1$  est donc dirigée dans le sens *BA*. L'aiguille doit donc, dans ce cas, prendre un mouvement de translation suivant *BA*, c'est-à-dire dirigé du sud au nord, dans le plan du méridien magnétique. — Lorsque, par suite de ce mouvement, le milieu *O* arrive dans le plan vertical passant par la direction du courant, l'aiguille est animée d'une certaine vitesse qui lui fait dépasser cette position; mais, la force  $f_1$  devenant alors supérieure à  $f$ , la vitesse diminue, puis change de sens. L'aiguille oscille donc de part et d'autre de cette position d'équilibre stable, où elle finit par se fixer.

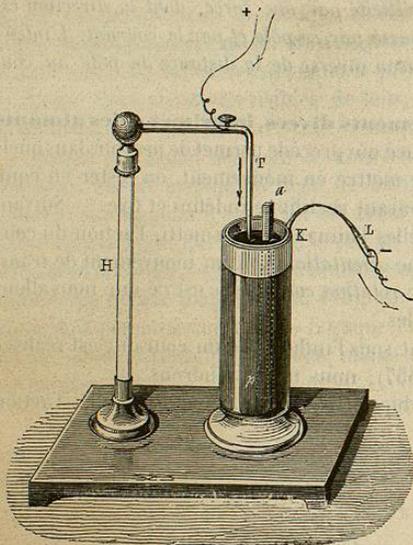


Fig. 445.

pendant le déplacement du barreau, les courants qui se propagent à la surface du mercure conservent toujours la même position par rapport au barreau lui-même : ils continuent donc à exercer sur lui la même action, et lui communiqueraient un mouvement indéfiniment accéléré, sans la résistance du liquide. — Nous indiquerons, dans le chapitre suivant (580), comment ces mêmes résultats peuvent s'expliquer facilement dans une théorie du magnétisme qui est due à Ampère.

568. **Exemples de mouvements imprimés à des courants par des aimants.** — Lorsqu'un aimant fixe est placé dans le voisinage d'un conducteur mobile, parcouru par un courant, ce conducteur peut se mettre en mouvement, sous l'influence de forces qui peuvent être considérées comme les *réactions* de celles que nous avons étudiées jusqu'ici. — Ici encore, suivant les liaisons auxquelles le courant est assujéti, le mouvement peut être, soit une *orientation*, soit un mouvement de *translation*, soit un mouvement de *rotation continue*.

1° On obtient l'*orientation* d'un courant mobile, sous l'influence d'un aimant, au moyen des piles flottantes de M. de la Rive. — Une lame de zinc *Z* et une lame de cuivre *C* (fig. 446) sont assujetties dans une rondelle de liège, et réunies à leur partie supérieure par un fil métallique rigide *L*. Si l'on fait flotter le liège sur un vase contenant de l'eau acidulée, il se produit un courant dans le fil. — Si l'on place horizontalement un barreau aimanté, au-dessus de la partie supérieure *L* et dans le même plan que le fil, on voit l'équipage se mettre en croix avec l'aimant, sa gauche venant se placer du côté du pôle austral. — C'est, comme on voit, l'expérience inverse de celle d'Ersted (557).

2° Le même appareil peut servir à obtenir un mouvement de *translation* d'un courant, sous l'influence d'un aimant. — Il suffit, pour cela, de placer le pôle du barreau aimanté un peu en avant du circuit *CLZ* et à la hauteur de son centre, l'axe du barreau étant perpendiculaire au plan du courant. Si c'est le pôle austral qu'on présente, l'expérience montre qu'il y a *répulsion*, dans le cas où le courant est dirigé de telle sorte que l'observateur, placé au pôle austral du barreau, voie ce courant circuler en sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre (comme le courant indiqué par la figure 446); il y a *attraction*, si, toutes les conditions étant d'ailleurs les mêmes, le courant est vu

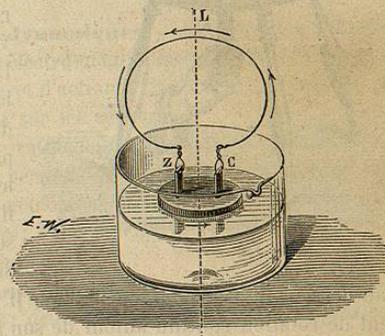


Fig. 446. — Pile flottante.

circulant dans le même sens que le mouvement des aiguilles d'une montre (\*):

3° L'action d'un aimant fixe peut aussi produire la *rotation continue* d'une portion de courant mobile, C'est ce que montre l'expérience suivante, inverse, quant au résultat, de celle que nous avons décrite

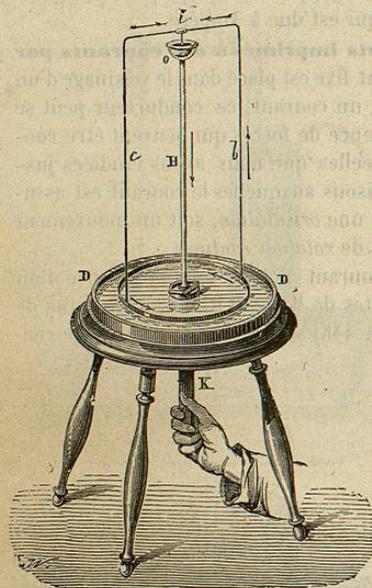


Fig. 447.

K au-dessous de la colonne métallique H, l'équipage prend un mouvement de rotation continu autour de son axe: si c'est le pôle austral de l'aimant qui a été présenté, la rotation a lieu de telle sorte que le système tourne dans le sens des flèches qui sont indiquées au milieu du liquide. — Le sens de cette rotation est, comme on voit, d'accord avec la loi d'Ampère (558); la continuité du mouvement peut se concevoir en remarquant que les courants verticaux conservent, quelle que soit leur position absolue, la même position par rapport à l'aimant. — Nous donnerons plus loin (582) une interprétation de cette expérience dans la théorie du magnétisme qui est due à Ampère.

(\*) L'interprétation de ces faits par les principes fondamentaux de l'électro-magnétisme est un peu plus compliquée que celle de l'expérience de Boisgiraud (567.2), parce que le courant a une forme circulaire: nous ne la donnons pas ici. — Nous engagerons seulement le lecteur à revenir sur ces résultats, après avoir lu le chapitre V, et en considérant l'aimant comme assimilable à un solénoïde: ils apparaîtront alors comme une conséquence nécessaire de cette assimilation, et pourront aisément se fixer dans la mémoire.

plus haut (567, 3°). — Une cuvette de zinc DD (fig. 447), contenant de l'eau aiguisée d'acide sulfurique, porte en son centre une colonne métallique H; sur la coupelle o qui termine cette colonne, repose, par une pointe qui plonge dans du mercure, un équipage formé de deux fils métalliques verticaux b et c, et d'un cercle de cuivre horizontal plongé dans l'eau de la cuvette: l'équipage tout entier est ainsi rendu mobile autour d'un axe vertical passant par la pointe i. L'action de l'acide sulfurique sur le zinc développe un courant, dans le circuit qui est formé par la cuvette, le liquide acide, les fils verticaux et la colonne H; ce courant marche dans le sens des flèches de la figure. Si l'on place le pôle d'un aimant

## CHAPITRE V

### ÉLECTRO-DYNAMIQUE

#### I. — ACTIONS DES COURANTS SUR LES COURANTS.

569. **Phénomènes électro-dynamiques.** — L'expérience d'Ørsted, et l'ensemble des phénomènes électro-magnétiques, ont conduit Ampère à la découverte d'une autre série d'actions: celles des courants sur les courants, et celles de la terre sur les courants.

Tous les phénomènes qui se rattachent à ces actions, et dont l'étude constitue l'*électro-dynamique*, peuvent s'interpréter au moyen de trois principes fondamentaux, que nous allons d'abord établir, savoir: 1° le principe des *courants parallèles*; 2° le principe des *courants angulaires*; 3° le principe des *courants sinueux*.

570. **Principe des courants parallèles.** — Deux courants parallèles et de même sens s'attirent; deux courants parallèles et de sens contraires se repoussent.

Pour vérifier ce principe, l'une des dispositions les plus simples est la suivante, qui a été imaginée par Ampère:

Un fil métallique *adefg* (fig. 448), replié comme l'indique la figure, est terminé à ses deux extrémités *a* et *b* par des pointes d'acier, qu'on plonge dans des godets pleins de mercure. Ces godets communiquent, l'un *a*, avec une colonne métallique creuse H, dans laquelle on peut amener un courant, au moyen d'un fil plongeant dans le godet M; l'autre *b*, avec une tige métallique H', située à l'intérieur de H, isolée dans un tube de verre, et par laquelle le courant, après avoir parcouru l'équipage mobile, revient au godet N et à la pile. Le conducteur *defg* peut ainsi, sans cesser d'être parcouru par le courant tourner autour d'un axe vertical passant par *a* et *b*.

Pour avoir une autre portion de courant fixe, dont nous puissions