

enroulé une bobine autour d'un cylindre de fer doux, et ayant renfermé le tout dans un tube de verre plein d'eau, il a imprimé au système un mouvement de rotation rapide entre les branches d'un fort électro-aimant. Un thermomètre placé dans le liquide servait à mesurer la quantité de chaleur dégagée par les courants d'induction dans le fer doux et dans le fil de cuivre enroulé autour.

M. Foucault a fait récemment, à ce sujet, une expérience remarquable, à l'aide de l'appareil représenté dans la figure 645. Cet appareil consiste en un puissant électro-aimant fixé horizontalement sur une table. Deux pièces de fer doux A et B sont en contact avec les pôles de l'électro-aimant, de manière que, s'aimantant elles-mêmes par influence, elles concentrent leur action magnétique inductrice sur les deux faces d'un disque métallique D. Ce disque, qui est de cuivre rouge, de 75 millimètres de diamètre et de 7 millimètres d'épaisseur, s'engage en partie entre les pièces A et B, où il reçoit, à l'aide d'une manivelle et d'une suite de roues et de pignons, une vitesse de 150 à 200 tours par seconde.

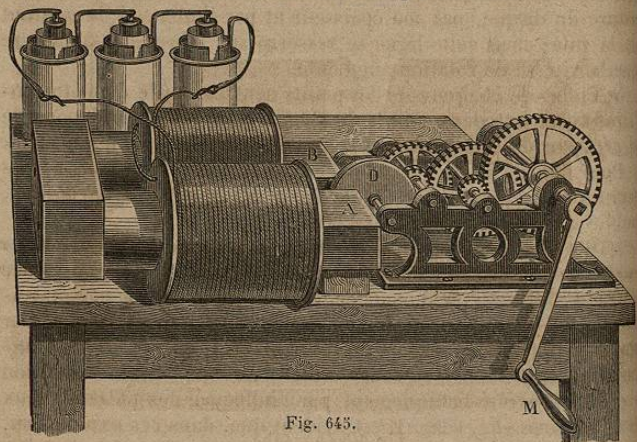


Fig. 645.

Tant que le courant de la pile ne passe pas dans le fil de l'électro-aimant, on n'éprouve qu'une très-faible résistance à tourner la manivelle, et si, une fois qu'elle a pris, avec les roues et le disque, un mouvement de rotation rapide, on l'abandonne à elle-même, la rotation continue assez longtemps en vertu de la vitesse acquise. Mais lorsqu'on fait passer le courant, le disque et les autres pièces s'arrêtent presque instantanément, et si alors on reprend la manivelle, on éprouve une résistance considérable. Or, si malgré cette

résistance, on continue à tourner, c'est ici que la force qu'on dépense se transforme en chaleur, le disque s'échauffant d'une manière remarquable. Dans une expérience faite devant nous par M. Foucault, la température du disque s'est élevée, en trois minutes, de 10 degrés à 61, le courant étant fourni seulement par trois éléments de Bunsen. Avec six, la résistance est telle, qu'on ne pourrait tourner longtemps.

### \* CHAPITRE VII.

#### EFFETS OPTIQUES DES AIMANTS PUISSANTS, DIAMAGNÉTISME.

767. **Effets optiques des aimants puissants.** — M. Faraday a découvert, en 1845, qu'un puissant électro-aimant exerce, sur plu-

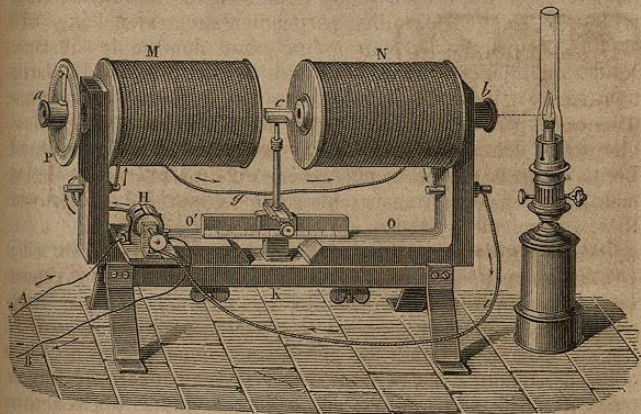


Fig. 646 (h=43).

sieurs substances transparentes, une action telle, que, si un rayon polarisé les traverse dans la direction de la ligne des pôles magnétiques, le plan de polarisation est dévié soit à droite, soit à gauche (570), suivant le sens de l'aimantation.

La figure 646 représente l'appareil de M. Faraday; il est formé de deux électro-aimants M et N extrêmement puissants, fixés à deux chariots de fer O, O', qui peuvent se rapprocher plus ou moins en glissant sur un support K. Le courant d'une pile de 10



à 11 couples Bunsen entre en A, gagne un commutateur H, la bobine M, puis la bobine N par le fil *g*, descend dans le fil *i*, passe de nouveau dans le commutateur, et sort en B. Les deux cylindres de fer doux qui occupent l'axe des bobines sont percés de trous cylindriques pour laisser passer les rayons lumineux. Enfin, en *b* et en *a*, sont deux prismes de Nicol (568, 4°), le premier servant de polariseur, et le second d'analyseur. A l'aide d'une alidade, ce dernier tourne au centre d'un cercle gradué P.

Ces prismes étant placés de manière que leurs sections principales soient perpendiculaires entre elles, le prisme *g* éteint complètement la lumière transmise au travers du prisme *b*. Si alors on place en *c*, sur l'axe des deux bobines, une plaque à faces parallèles, de flint ou de verre, la lumière est encore éteinte tant que le courant ne passe pas; or, aussitôt que les communications sont établies, la lumière reparait, mais colorée, et si l'on tourne l'analyseur *a* à droite ou à gauche, selon la direction du courant, la lumière passe par les différentes teintes du spectre, ainsi qu'il arrive avec les quartz taillés perpendiculairement à l'axe (571). M. Ed. Becquerel a fait voir qu'un grand nombre de substances solides ou liquides peuvent ainsi faire tourner le plan de polarisation, sous l'influence d'aimants puissants. M. Faraday admet que, dans ces expériences, la rotation du plan de polarisation est due à une action des aimants sur les rayons lumineux; Biot et M. Ed. Becquerel pensent que ce phénomène est dû à une action des aimants sur les corps transparents soumis à leur influence, hypothèse généralement admise.

768. **Effets diamagnétiques des aimants puissants.** — On a déjà vu (591) qu'on nomme *diamagnétiques* des corps qui sont repoussés par les aimants. Cette dénomination a été adoptée par M. Faraday, qui, le premier, observa ce genre de phénomène en 1847. Les effets diamagnétiques des aimants ne se manifestent qu'autant que ceux-ci sont très-puissants, et c'est avec l'appareil de M. Faraday (fig. 646) qu'ils ont été découverts et étudiés. On rencontre des substances diamagnétiques également dans les solides, dans les liquides et dans les gaz, ainsi que le démontrent les expériences suivantes, pour lesquelles on visse, sur les bobines, des armatures de fer doux S et Q de formes diverses.

1° *Diamagnétisme des solides.* — Un petit cube de cuivre rouge étant suspendu entre les deux aimants par un fil de soie tordu, et tournant rapidement sur lui-même par l'effet du fil qui se détord (fig. 648), à l'instant où le courant passe dans les bobines, le cube s'arrête dans la position où il se trouve. Si l'on donne à la pièce mobile la forme d'une petite barre rectangulaire, elle se met en

croix avec l'axe des bobines, ou se dirige suivant cet axe, selon qu'elle est formée d'une substance diamagnétique, comme le bismuth, l'antimoine, ou bien d'une substance magnétique, comme le fer, le nickel, le cobalt.

2° *Diamagnétisme des liquides.* — Les liquides présentent aussi les phénomènes de magnétisme et de diamagnétisme. Pour en faire l'observation, on en remplit de petits tubes de verre très-minces qu'on suspend à la place du cube *m* dans la figure 648. Si les liquides sont magnétiques, comme les dissolutions de fer, de nickel, de cobalt, les tubes se dirigent dans le sens de l'axe des deux

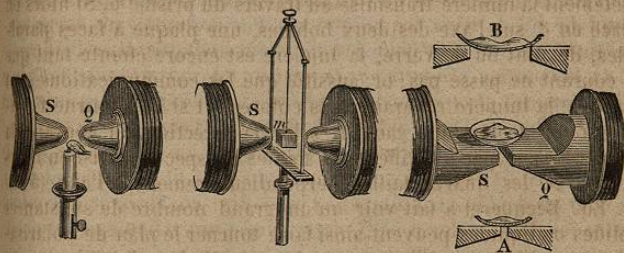


Fig. 647.

Fig. 648.

Fig. 649.

électro-aimants; mais s'ils sont diamagnétiques, comme l'eau, l'alcool, l'éther, l'essence de térébenthine et la plupart des dissolutions salines, les tubes se placent dans une direction perpendiculaire à l'axe des aimants.

L'action des aimants puissants sur les liquides magnétiques ou diamagnétiques s'observe encore au moyen de l'expérience suivante, faite pour la première fois par M. Plücker. On verse une dissolution de chlorure de fer dans un verre de montre, et l'on pose celui-ci sur les deux armatures S et Q des électro-aimants de l'appareil de Faraday. Aussitôt que le courant passe dans les électro-aimants, on voit la dissolution former, selon l'intervalle des bobines, un ou deux renflements, comme on l'a représenté en A et en B (fig. 649); ces renflements persistent tant que passe le courant, et se produisent, à des degrés différents, avec tous les liquides magnétiques. Les liquides diamagnétiques présentent des effets inverses, ainsi que l'a constaté M. Plücker pour le mercure, en observant sa courbure sur une pièce d'argent fraîchement amalgamée et posée sur les armatures.

3° *Diamagnétisme des gaz.* — M. Bancalari a observé, le premier, que la flamme d'une bougie placée entre les deux bobines de l'appareil de Faraday en est fortement repoussée (fig. 647). Toutes les



flammes présentent, à des degrés différents, le même phénomène. M. Quet a obtenu des effets de répulsion extrêmement intenses en soumettant à la même expérience la lumière électrique de la pile obtenue avec les deux cônes de charbon de la figure 547.

Depuis l'expérience de M. Bancalari, M. Faraday et M. Ed. Becquerel ont fait de nombreuses recherches sur le diamagnétisme des gaz, ainsi que nous l'avons déjà dit en parlant de l'action des aimants puissants sur tous les corps (591). De plus, M. Faraday a reconnu que l'oxygène, qui est magnétique à la température ordinaire, devient diamagnétique à une température très-élevée, et que souvent le magnétisme ou le diamagnétisme d'une substance dépend du milieu dans lequel elle est. Par exemple, un corps magnétique dans le vide peut devenir diamagnétique dans l'air.

4<sup>o</sup> *Détonation produite par la rupture du courant sous l'influence d'un puissant électro-aimant.* — Nous citerons encore, comme effet remarquable de l'appareil de M. Faraday, l'expérience suivante, due à M. Ruhmkorff. Lorsqu'on place entre les deux pôles S et Q de la figure 647 les deux extrémités du gros fil dans lequel passe le courant de l'électro-aimant, c'est-à-dire en fermant le courant entre les deux pôles S et Q, cette fermeture a lieu sans étincelle et sans bruit, ou seulement avec un bruit et une étincelle faibles. Mais, au moment où l'on interrompt le courant, on entend une détonation violente, presque aussi forte que celle d'un coup de pistolet. Il semblerait donc ici que c'est l'extra-courant (750) dont l'intensité serait puissamment accrue par l'influence des deux pôles de l'électro-aimant.

769. *Théorie du diamagnétisme.* — Plusieurs théories ont été proposées pour donner l'explication des phénomènes diamagnétiques. On a déjà vu (591) que M. Ed. Becquerel admet que la répulsion exercée par les aimants sur certaines substances serait due à ce qu'elles sont entourées par un milieu plus magnétique qu'elles, ce qui est évidemment une application du principe d'Archimède. M. Plücker a donné une théorie qui diffère de celle de M. Ed. Becquerel, mais dans laquelle il s'appuie aussi sur le principe d'Archimède. M. Faraday a rattaché les phénomènes diamagnétiques aux phénomènes d'induction, en admettant que dans un corps diamagnétique, comme le bismuth, par exemple, il se produit, à l'approche d'un fort aimant, des courants d'induction sur lesquels réagissent les courants d'Ampère. De sorte que, les pôles de même nom se plaçant alors en présence, il y a répulsion, de même que dans les solénoïdes. Dans les substances magnétiques, au contraire, il se produit des courants orientés de manière que les pôles non identiques sont en présence, et alors il y a attraction.

## \* CHAPITRE VIII.

## COURANTS THERMO-ÉLECTRIQUES.

770. *Expérience de Seebeck.* — Il n'a été question jusqu'ici que de courants électriques développés par les actions chimiques; c'est là, en effet, la source d'électricité dynamique la plus puissante. Or, la chaleur peut aussi donner naissance à des courants, très-faibles, il est vrai, mais remarquables par la liaison qu'ils

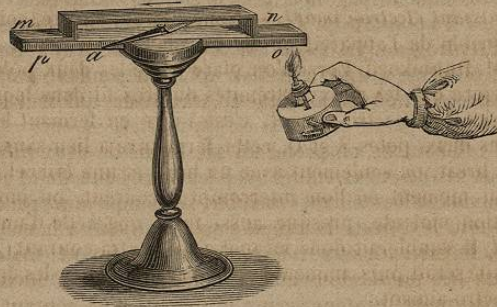


Fig. 650.

établissent entre la chaleur et l'électricité, et par l'application qu'ils ont reçue dans l'appareil de Melloni. On a donné à ces courants le nom de *courants thermo-électriques*, pour les distinguer des courants dus aux actions chimiques, qu'on désigne sous le nom de *courants hydro-électriques*.

On savait déjà que plusieurs cristaux naturels, comme la tourmaline, la topaze, acquéraient des propriétés électriques lorsqu'on élevait leur température, et Volta avait annoncé qu'une lame d'argent chauffée inégalement à ses deux extrémités constituait un élément électromoteur; mais c'est Seebeck, professeur à Berlin, qui, le premier, en 1821, montra que le mouvement du calorique dans un circuit métallique donne naissance à des courants électriques.

Ces courants se constatent au moyen du petit appareil représenté dans la figure 650, lequel consiste en une lame de cuivre *mn* dont les extrémités sont recourbées et soudées à une lame de bismuth *cp*. Dans l'intérieur du circuit ainsi formé est une aiguille aimantée *a*



mobile sur un pivot. Ayant placé l'appareil dans la direction du méridien magnétique, on chauffe légèrement l'une des soudures, comme le montre le dessin, et l'on voit alors l'aiguille prendre une déviation qui indique la production d'un courant de  $n$  vers  $m$ , c'est-à-dire de la soudure chaude à la soudure froide, dans le cuivre. Si, au lieu de chauffer la soudure  $n$ , on la refroidit avec de la glace, en conservant à l'autre soudure sa température, il se produit encore un courant, mais en sens inverse, c'est-à-dire de  $m$  vers  $n$ , et, dans les deux cas, le courant a d'autant plus d'énergie, que la différence de température des deux soudures est plus grande.

771. **Cause des courants thermo-électriques.** — Les courants thermo-électriques ne peuvent être attribués au contact, car ils peuvent se développer dans des circuits formés d'un seul métal. Ils ne proviennent pas non plus d'actions chimiques, puisque M. Becquerel a constaté qu'ils se produisent également dans le vide et dans l'hydrogène. En observant ces courants à l'aide du galvanomètre, le même savant a trouvé qu'ils dépendent toujours de l'inégale propagation du calorique au travers des différentes parties du circuit.

Pour le démontrer, on prend un arc formé de deux métaux, et l'on réunit ses deux extrémités avec les deux bouts du fil galvanométrique, soit en les soudant ensemble, soit simplement par contact. Tant que tous les points du circuit ainsi formé sont à la même température, le galvanomètre n'indique aucun courant; mais si l'on chauffe un des points de contact, immédiatement la déviation de l'aiguille du multiplicateur accuse le passage d'un courant.

Si toutes les parties du circuit sont homogènes, il ne se manifeste aucun courant lorsqu'on chauffe un quelconque de ses points, parce qu'alors le calorique se propage également dans toutes les directions. C'est ce qui arrive, par exemple, si l'on réunit les deux bouts du fil de cuivre qui s'enroule autour du galvanomètre avec un second fil de cuivre. Mais si l'on détruit l'homogénéité de ce dernier fil en un de ses points, en le tordant plusieurs fois sur lui-même, ou en le nouant, et qu'on le chauffe alors près de ce point, l'aiguille indique, par sa déviation, un courant allant du point chauffé au point où l'homogénéité a été détruite. En chauffant de l'autre côté de ce dernier point, le courant se produit en sens inverse.

772. **Pouvoir thermo-électrique des métaux.** — On nomme *pouvoir thermo-électrique* d'un métal, l'intensité relative du courant produit par la propagation de la chaleur dans ce métal. Pour une même différence de température entre deux points voisins, ce pouvoir varie d'un métal à un autre, et, pour un même métal, il augmente avec la différence de température.

En formant des circuits de différents métaux, dont une soudure était portée à 20 degrés, tandis que les autres étaient maintenues à zéro, M. Becquerel a pu ranger les métaux dans l'ordre croissant de leur pouvoir thermo-électrique, savoir : bismuth, platine, argent, étain, plomb, cuivre, or, zinc, fer et antimoine; chacun étant positif avec ceux qui le précèdent et négatif avec ceux qui le suivent.

773. **Théorie des courants thermo-électriques.** — Pour expliquer la production des courants par l'action de la chaleur, M. Becquerel admet que, lorsqu'un circuit métallique est chauffé dans une de ses parties, le fluide neutre est décomposé, de manière qu'au moment où les molécules s'échauffent, elles s'emparent de l'électricité positive et repoussent l'électricité négative. Puis, les molécules suivantes, s'échauffant à leur tour, s'électrisent positivement en cédant leur électricité négative aux premières, et ainsi de suite à mesure que le calorique se propage; en sorte qu'il se produit un courant d'électricité positive de la partie chaude vers la partie froide, et un courant d'électricité négative en sens contraire.

Dans un circuit homogène, le calorique se propageant également dans tous les sens, la partie échauffée donne lieu à deux courants contraires et de même intensité, dont l'effet est nul sur l'aiguille du galvanomètre. Mais si le circuit cesse d'être homogène, la conductibilité calorifique n'étant plus la même, et le circuit s'échauffant plus dans un sens que dans l'autre, il se produit deux courants inverses d'inégale intensité; en sorte que l'énergie du courant observé est alors la différence de celle de ces deux courants. Le courant obtenu est donc d'autant plus intense, que la différence des pouvoirs thermo-électriques des deux métaux est plus grande. Quant à la direction de ce courant, il découle de la théorie ci-dessus que le pôle positif correspond au métal qui a le plus grand pouvoir thermo-électrique, et le pôle négatif à l'autre.

774. **Propriétés des courants thermo-électriques.** — Les courants thermo-électriques se distinguent des courants hydro-électriques en ce que, conduits, comme eux, par les métaux, ils ne sont pas par les liquides, ou ne le sont qu'à un degré extrêmement faible. Toutefois cette différence ne tient point à la nature de ces courants, mais seulement à leur tension, qui est considérablement plus faible que celle des courants hydro-électriques. M. Pouillet a constaté, en effet, au moyen du galvanomètre différentiel, que l'intensité du courant thermo-électrique développé par un couple bismuth et antimoine dont les soudures sont maintenues à une différence de température de 100 degrés, est cent mille fois moindre que celle du courant hydro-électrique d'une pile à auges ordinaire de 12 couples.



N'étant pas conduits par les liquides, à cause de leur faible tension, les courants thermo-électriques ne produisent, en général, aucun effet chimique. Cependant M. Botto, à Turin, en réunissant 150 couples thermo-électriques de platine et de fer, a pu obtenir des traces de décomposition dans les liquides.

Les courants thermo-électriques ont, de même que les courants hydro-électriques, une action directrice sur l'aiguille aimantée; mais comme, vu leur faible tension, ils s'affaiblissent rapidement lorsque la longueur du circuit qu'ils traversent augmente, on doit éviter de leur faire parcourir de longs fils, quand on les fait passer dans le circuit du galvanomètre; c'est pourquoi, dans ce cas, on forme le circuit d'un fil court et gros, tandis que dans les galvanomètres destinés aux courants hydro-électriques, le fil est fin et long.

775. **Pile thermo-électrique de Nobili.** — On nomme *piles thermo-électriques*, des appareils destinés à accumuler les tensions thermo-électriques qui se produisent dans un circuit composé de plusieurs métaux, quand on chauffe les soudures de deux en deux, les autres soudures étant maintenues à une température constante.

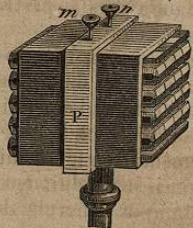


Fig. 651.



Fig. 652.

La première pile de ce genre, construite par Ørsted et Fourier, se composait d'une suite de petits barreaux de bismuth et d'antimoine, soudés à la suite les uns des autres en ligne droite ou en cercle. De deux en deux soudures, les barreaux de bismuth se terminaient par une partie coudée qui plongeait dans de la glace à zéro, tandis que les autres soudures étaient portées à une température de 200 à 300 degrés, à l'aide de petites lampes.

Nobili a modifié la forme de la pile thermo-électrique, dans le but de lui donner un assez grand nombre de couples sous un petit volume. Pour cela, il a réuni les couples bismuth et antimoine de manière qu'après avoir formé une rangée de cinq couples, comme le montre la figure 652, le barreau de bismuth *b* se soude latéralement à l'antimoine d'une seconde rangée semblable, puis le dernier bismuth de celle-ci à l'antimoine d'une troisième rangée, et ainsi de suite pour quatre rangées verticales, contenant ensemble 20 couples, commençant par un antimoine et finissant par un bismuth. Ainsi disposés, ces couples sont isolés les uns des autres au

moyen de petites bandes de papier enduites de vernis, puis renfermés dans un étui de cuivre P (fig. 651), de façon que les soudures seules apparaissent aux deux bouts de la pile. Deux boutons de cuivre *m* et *n*, isolés dans un anneau d'ivoire, communiquent intérieurement, l'un avec le premier antimoine, et représente le pôle positif, l'autre avec le dernier bismuth, et représente le pôle négatif. Ces boutons communiquent avec un galvanomètre, lorsqu'on veut observer le courant thermo-électrique.

776. **Thermo-multiplicateur de Melloni.** — La pile thermo-électrique de Nobili, construite comme le représente la figure 651 et combinée avec le galvanomètre, est devenue, entre les mains

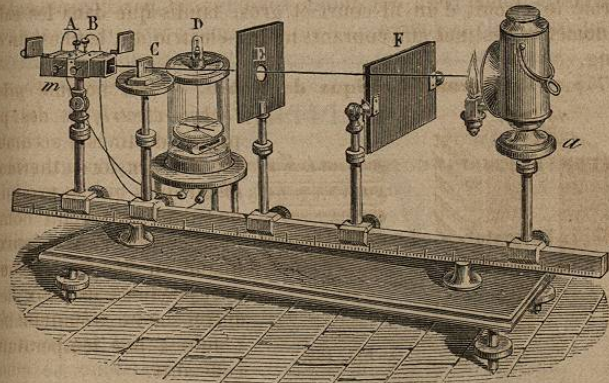


Fig. 653.

de Melloni, l'appareil thermométrique le plus sensible que l'on connaisse. Ce savant, qui a donné à cet appareil le nom de *thermo-multiplicateur*, l'a disposé comme le montre la figure 653.

Sur une tablette de bois, supportée par quatre vis calantes, est fixée, *de champ*, une règle de cuivre d'un mètre de longueur et divisée en centimètres. Sur cette règle se placent, à des distances variables, à l'aide de vis de pression, les différentes pièces dont se compose l'appareil, savoir : un support *a*, sur lequel se met une lampe Locatelli ou une autre source de chaleur, puis des écrans F et E, un second support C où l'on place les corps sur lesquels on expérimente, et enfin la pile thermo-électrique *m*. Près de l'appareil est un galvanomètre D, muni d'un fil court et gros, qui vient communiquer en A et en B avec les deux pôles de la pile. La sensibilité de cet instrument est telle, que la chaleur de la main suffit, à la distance d'un mètre, pour développer dans la



pile un courant capable de faire dévier l'aiguille du galvanomètre. Quant à la graduation de ce dernier instrument, nous l'avons déjà fait connaître (709), ainsi que les importantes applications que Melloni a faites de son thermo-multiplicateur à l'étude du pouvoir diathermane des corps (389 à 399) et à la polarisation de la chaleur (582).

Pour employer le thermo-multiplicateur à la mesure des températures, on doit d'abord déterminer la relation qu'a la déviation de l'aiguille, et par suite l'intensité du courant, avec la différence des températures des soudures. Cela fait, la température des soudures non exposées à la source de chaleur une fois connue, la déviation donne celle des autres soudures, et par conséquent la température de la source.

### \* CHAPITRE IX.

#### INTENSITÉ, CONDUCTIBILITÉ ET VITESSE DES COURANTS; COURANTS DÉRIVÉS.

777. **Rhéostat.** — Le *rhéostat* sert à augmenter ou à diminuer la longueur du circuit que parcourt un courant, de manière à lui

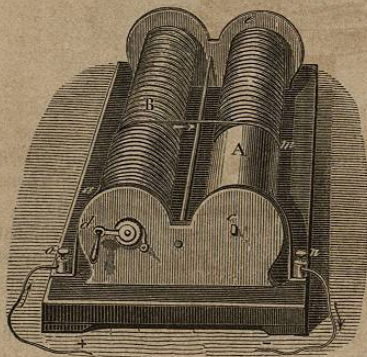


Fig. 654.

faire produire sur le galvanomètre une déviation déterminée. Cet appareil, dû à M. Wheatstone, se compose de deux cylindres parallèles, l'un A, de laiton, l'autre B, de bois (fig. 654). Ce dernier porte, dans toute sa longueur, une rainure en hélice, et se termine, à l'extrémité *a*, par un anneau de cuivre auquel est fixée l'extrémité d'un fil fin de laiton. Ce fil, qui a 40 mètres de long, s'enroule plus ou moins dans la rainure, passe sur le cylindre A, et, après un grand nombre de tours sur ce cylindre, va se fixer à son extrémité *e*. Enfin, deux vis de pression *n* et *o*, qui maintiennent fixes les conducteurs du courant qu'on veut observer, communiquent par deux lames d'acier, l'une avec le cylindre de cuivre A, l'autre avec l'anneau *a*.

Lorsqu'un courant entre en *o*, il traverse seulement la portion de fil enroulée sur le cylindre B, où les spires sont isolées par la rainure; puis une fois arrivé sur le cylindre A, qui est métallique et en contact avec le fil, le courant passe directement de *m* en *n*. Par conséquent, si l'on veut augmenter la longueur du circuit, il suffit de tourner la manivelle *d* de droite à gauche. Si, au contraire, on veut la diminuer, on pose la manivelle sur l'axe *c*, et tournant alors de gauche à droite, on enroule le fil sur le cylindre A. On peut donc ainsi diminuer ou augmenter à volonté l'intensité du courant, car on verra bientôt (779) que cette intensité est en raison inverse de la longueur du circuit. Quant à celle-ci, elle est donnée, en mètres et en centimètres, par deux aiguilles que font mouvoir, sur l'extrémité de l'appareil non visible dans le dessin, les cylindres A et B, lorsqu'ils tournent ensemble.

778. **Boussole des sinus.** — La *boussole des sinus* est un galva-

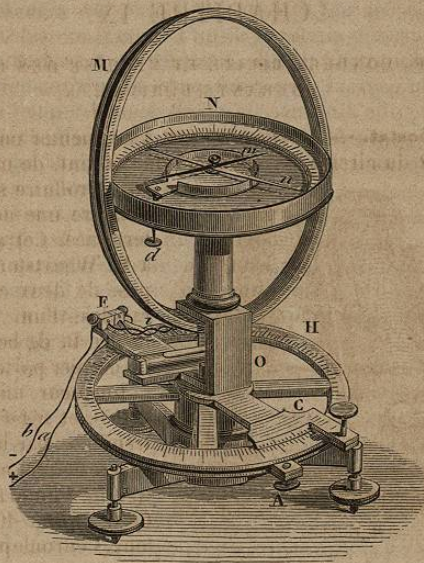


Fig. 655.

nomètre destiné à mesurer les courants intenses, mais au moyen duquel on est dispensé d'avoir recours à une table de graduation (709). Cet appareil, dû à M. Pouillet, diffère du galvanomètre déjà décrit, en ce que le fil de cuivre dans lequel passe le courant ne