

munique enfin à une machine quelconque, par exemple, à une machine à broyer.

M. Froment a dans ses ateliers une machine électro-motrice de la force d'un cheval-vapeur. Mais jusqu'ici ces machines n'ont pu être appliquées à l'industrie, la dépense des acides et du zinc qu'elles consomment l'emportant de beaucoup sur celle du combustible dans les machines à vapeur de même force. L'application des machines électro-motrices dépend donc surtout aujourd'hui des perfectionnements qu'attend la pile.

CHAPITRE VI.

PHÉNOMÈNES D'INDUCTION.

743. **Induction par les courants discontinus.** — On a déjà vu (628) qu'on désigne sous le nom d'*induction*, l'action qu'exercent à distance les corps électrisés sur les corps à l'état neutre; mais c'est surtout quand il s'agit des effets produits par l'électricité dynamique que cette dénomination est usitée. M. Faraday, qui, le premier, en 1832, a fait connaître cette classe de phénomènes, a nommé *courants d'induction* ou *courants induits*, des courants qui se développent dans les conducteurs métalliques, sous l'influence des courants électriques, et aussi sous l'influence d'aimants puissants, ou même sous celle de l'action magnétique de la terre; et il a nommé *courants inducteurs*, les courants qui agissent par induction.

L'induction ne se produit qu'au moment où le courant inducteur commence ou finit, ou qu'autant que sa puissance inductive varie, soit parce que l'intensité du courant croît ou décroît, soit parce que la distance entre les deux fils augmente ou diminue.

On constate l'induction des courants, au moment de l'ouverture et de la fermeture du circuit qu'ils parcourent, au moyen d'une bobine à deux fils (fig. 605). On nomme ainsi un cylindre de carton ou de bois, sur lequel s'enroulent en hélice, d'abord un gros fil de cuivre, puis un plus fin, tous les deux recouverts de soie ou de coton. Le gros fil, qui ne fait qu'un petit nombre de tours, vient se terminer à deux bornes *c* et *d* fixées sur une planchette qui porte la bobine; tandis que le fil fin, qui recouvre le premier et qui fait un très-grand nombre de tours, vient aboutir à deux bornes *a* et *b*. Ayant mis ces deux dernières en communication avec un galva-

nomètre, on fixe à la borne *d* une des électrodes d'une pile, et tenant à la main l'autre électrode, on la met en contact avec la borne *c*, ce qui fait passer le courant dans le gros fil, mais dans le gros fil seulement. Or, on observe alors les phénomènes suivants :

1° Au moment où le gros fil commence à être traversé par le courant, le galvanomètre, par la déviation de l'aiguille, indique dans le fil fin un courant *inverse* du premier, c'est-à-dire de sens contraire; lequel n'est qu'instantané, car l'aiguille revient aussitôt

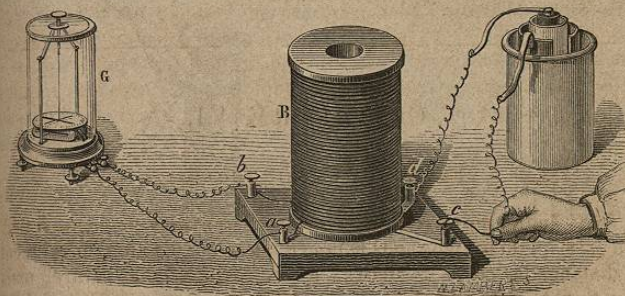


Fig. 605.

au zéro, et y reste tout le temps que le gros fil est parcouru par le courant inducteur.

2° A l'instant où, les communications étant rompues, le gros fil cesse d'être traversé par un courant, il se produit de nouveau, dans le fil fin, un courant induit, instantané comme le premier, mais *direct*, c'est-à-dire de même sens que le courant inducteur.

Ces phénomènes peuvent être assimilés à ceux qui ont été étudiés dans l'électricité statique sous le nom d'électrisation par influence (628); on peut, en effet, les considérer comme le résultat de la décomposition et de la recomposition, molécule à molécule, de l'électricité naturelle du fil induit par l'influence de l'électricité qui se propage dans le fil inducteur. Cette théorie de la production des courants induits est celle qu'adopte M. de La Rive dans son *Traité d'électricité*.

744. **Les courants continus peuvent aussi donner naissance à des courants induits.** — Ce n'est pas seulement à la fermeture ou à l'ouverture du courant inducteur qu'un courant induit se développe. En effet, il suffit qu'un courant s'approche ou s'éloigne d'un circuit métallique fermé pour donner lieu à une nouvelle décomposition ou recomposition de fluide, et faire naître un courant induit. Pour le démontrer, soient une bobine creuse B, à un seul

fil très-fin et très-long (fig. 606), et une seconde bobine A à un seul fil aussi, mais gros et court, laquelle est de dimensions telles, qu'elle peut se placer dans la première. Or, la bobine A étant parcourue par un courant, si on la plonge brusquement dans la bobine B, un galvanomètre en communication avec cette dernière indique, par le sens de sa déviation, qu'il se produit instantané-

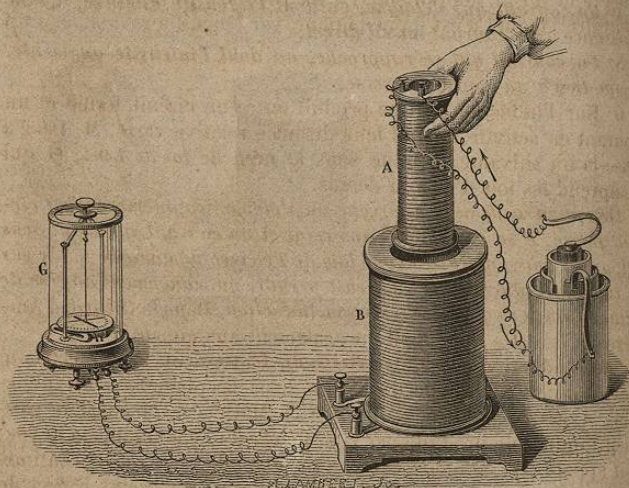


Fig. 606.

ment dans la grosse bobine un courant *inverse*, qui cesse aussitôt, le galvanomètre revenant au zéro et y restant tout le temps que la petite bobine est dans la grosse. Mais si on la retire rapidement, le galvanomètre accuse dans le fil fin un courant induit *direct*. Lorsque, au lieu d'introduire et de retirer brusquement la bobine à gros fil, on l'approche ou l'éloigne lentement, le galvanomètre n'indique qu'un courant faible, et d'autant plus faible, que le mouvement est plus lent.

Si, au lieu de faire varier la distance du courant inducteur, on fait varier son intensité, en augmentant ou en diminuant la résistance du circuit, on remarque encore qu'il se produit dans le fil fin un courant induit, inverse si l'intensité du courant inducteur augmente, direct si elle diminue.

745. **Conditions pour qu'il y ait induction, loi de Lenz.** — En résumant les deux paragraphes qui précèdent, on en déduit les lois suivantes :

1° La distance restant la même, un courant continu et constant ne développe pas d'induction dans un circuit voisin.

2° Un courant qui commence fait naître un courant induit inverse, c'est-à-dire de sens contraire.

3° Un courant qui finit produit un courant induit direct, ou de même sens.

4° Un courant qui s'éloigne, ou dont l'intensité diminue, donne naissance à un courant induit direct.

5° Un courant qui se rapproche, ou dont l'intensité augmente, donne lieu à un courant inverse.

6° Sur l'induction qui se produit entre un circuit fermé et un courant en activité, quand leur distance relative varie, M. Lenz a posé la loi suivante, connue sous le nom de *loi de Lenz*, et qui comprend les lois 4 et 5 ci-dessus.

Lorsqu'un courant s'approche ou s'éloigne rapidement d'un circuit fermé, il se développe dans celui-ci un courant induit de sens tel, qu'en agissant suivant les lois de l'électro-dynamique (714) sur le courant inducteur, il lui ferait prendre un mouvement inverse de celui en vertu duquel il exerce son induction. Dans la théorie d'Ampère (727), cette loi s'applique également aux aimants.

746. **Induction par l'électricité de frottement.** — L'électricité des machines électriques développe aussi des phénomènes d'induction. Avec l'appareil suivant, dû à M. Matteucci, on constate très-bien l'induction produite par la décharge d'une bouteille de Leyde. Cet appareil se compose de deux plateaux de verre, de 33 centimètres de diamètre environ, fixés verticalement dans deux cadres de laiton A et B (fig. 607). Ces plateaux sont portés sur des pieds mobiles, et peuvent s'approcher ou s'écarter à volonté. Sur la face antérieure du plateau A est enroulé, en spirale, un fil de cuivre C, d'un millimètre de diamètre et de 25 à 30 mètres de longueur. Les deux bouts de ce fil passent au travers du plateau, l'un au centre, l'autre à la partie supérieure, et se terminent à deux petites pinces semblables à celles qui sont représentées en *m* et en *n* sur le plateau B. Dans ces pinces s'engagent deux fils de cuivre recouverts de soie *c* et *d*, qui sont destinés à recevoir le courant inducteur.

Sur la face du plateau B, qui est en regard du plateau A, s'enroule un fil de cuivre, aussi en spirale, mais plus fin que le fil C. Ses extrémités aboutissent aux pinces *m* et *n*, qui reçoivent deux fils *h* et *i*, destinés à transmettre le courant induit. Les deux fils enroulés sur les plateaux A et B sont non-seulement recouverts de soie, mais chaque circuit est isolé du suivant par une couche épaisse de vernis à la gomme laque, condition indispensable pour expérimenter avec l'électricité des machines électriques, laquelle

est toujours beaucoup plus difficile à isoler que celle des piles, à cause de sa plus grande tension.

Pour démontrer la production du courant induit par la décharge d'une bouteille de Leyde, on fait communiquer, comme le montre le dessin, l'un des bouts du fil C avec l'armature extérieure de la bouteille, et l'autre avec le crochet; à l'instant où l'étincelle part, l'électricité qui passe dans le fil C agissant par influence sur le fluide neutre du fil enroulé sur le plateau B, un courant instantané prend naissance dans ce fil. En effet, une personne qui tient dans les mains deux cylindres de cuivre en communication avec les fils

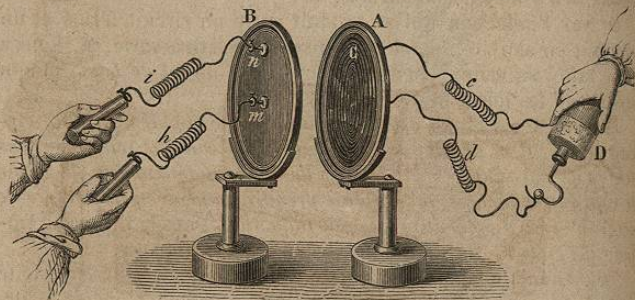


Fig. 607.

i et *h*, reçoit une commotion dont l'intensité est d'autant plus forte, que les plateaux sont plus rapprochés. Cette expérience montre que l'électricité des machines électriques peut, aussi bien que celle de la pile, donner naissance à des courants d'induction.

L'appareil de M. Matteucci peut aussi servir à démontrer l'induction par la variation de distance ou d'intensité. Pour cela, on fait communiquer les fils *c* et *d* avec les pôles d'une pile, et les fils *i* et *h* avec un galvanomètre. Approchant alors ou écartant les plateaux, le galvanomètre fait voir qu'il y a un courant induit sur le plateau B.

747. Induction par les aimants. — On a vu que l'influence d'un courant aimante un barreau d'acier (732); réciproquement, un aimant peut faire naître, dans les circuits métalliques, des courants d'induction. M. Faraday l'a démontré au moyen d'une bobine à un seul fil de 200 à 300 mètres de longueur. Les deux extrémités du fil étant mises en communication avec un galvanomètre, comme le montre la figure 608, on introduit brusquement dans la bobine, qui est creuse, un fort barreau aimanté, et l'on observe alors les phénomènes suivants.

1. Au moment où l'on introduit le barreau, le galvanomètre indique, dans le fil, un courant induit instantané, inverse de celui qui existe autour du barreau, en assimilant celui-ci à un solénoïde, comme on l'a fait dans la théorie d'Ampère (727).

2. Aussitôt qu'on retire le barreau, l'aiguille du galvanomètre, qui était revenue au zéro, indique un courant induit direct.

On peut encore constater l'influence inductrice des aimants par l'expérience suivante. On place, dans la bobine à un seul fil, un

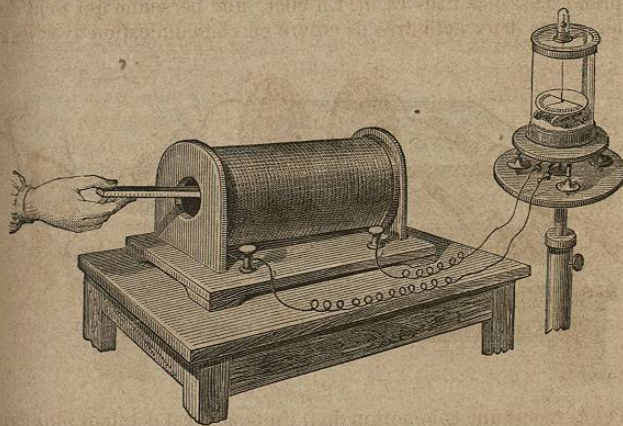


Fig. 608.

barreau de fer doux, et l'on approche brusquement un fort aimant; l'aiguille du galvanomètre est déviée, revient au zéro aussitôt que l'aimant est fixe, et se dévie en sens contraire quand on l'éloigne. L'induction est ici produite par l'aimantation du fer doux, dans l'intérieur de la bobine, sous l'influence du barreau aimanté.

On obtient les mêmes effets d'induction dans le fil d'un électro-aimant, si, en avant des extrémités de celui-ci, on fait tourner rapidement un fort barreau aimanté, de manière que ses pôles agissent successivement par influence sur les deux branches de l'électro-aimant; ou bien encore, en formant deux bobines autour d'un aimant en fer à cheval, et en faisant passer une plaque de fer doux avec rapidité devant les pôles de l'aimant; le fer doux, en s'aimantant par influence, réagit sur l'aimant, et il en résulte, dans le fil, des courants induits, successivement de sens contraires.

L'induction par les aimants est une frappante confirmation de la théorie d'Ampère sur le magnétisme (727). En effet, dans cette théorie, les aimants étant de véritables solénoïdes, toutes les expé-

riences qui viennent d'être mentionnées s'expliquent par l'induction des courants qui parcourent la surface des aimants. En un mot, l'induction par les aimants est encore une induction par les courants.

748. **Induction par les aimants dans les corps en mouvement.** — Arago observa, le premier, en 1824, que le nombre d'oscillations que fait une aiguille aimantée, dans des temps égaux, quand on l'écarte de sa position d'équilibre, est très-affaibli par le voisi-

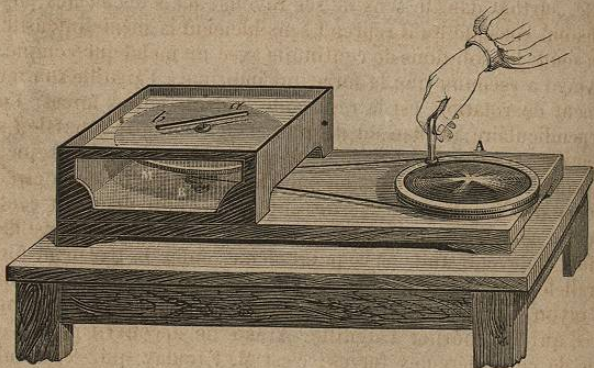


Fig. 609.

nage de certaines masses métalliques, et notamment du cuivre rouge, qui peut réduire le nombre des oscillations de 300 à 4. Cette observation conduisit le même physicien, en 1825, à un fait non moins inattendu : celui de l'action rotative qu'une plaque de cuivre en mouvement exerce sur une aiguille aimantée.

On constate ce phénomène au moyen de l'appareil représenté dans la figure 609. Il se compose d'un disque métallique M, mobile autour d'un axe vertical. Sur cet axe est une poulie B, autour de laquelle s'enroule un cordon sans fin qui va passer sur une poulie plus grande A. En faisant tourner celle-ci avec la main, on peut imprimer au disque M un mouvement de rotation très-rapide. Au-dessus du disque est un carreau de verre fixe, auquel est adapté un petit pivot qui porte une aiguille aimantée *ab*. Or, si le disque prend un mouvement lent et uniforme, l'aiguille est déviée dans le sens du mouvement et s'arrête à 20 ou 30 degrés du méridien magnétique, selon la vitesse de rotation du disque. Mais si cette vitesse augmente, l'aiguille finit par être déviée de plus de 90 degrés : alors elle est entraînée, décrit une révolution entière, et suit le mouvement du disque jusqu'à ce qu'il s'arrête.

L'effet décroît avec la distance de l'aiguille au disque, et varie beaucoup avec la nature de celui-ci. Le maximum d'effet a lieu avec les métaux ; avec le bois, le verre, l'eau, etc., il est nul. MM. Babbage et Herschel, en Angleterre, ont trouvé qu'en représentant par 100 l'action d'un aimant sur un disque de cuivre, cette action, sur les autres métaux, est représentée par les nombres suivants : zinc, 95 ; étain, 46 ; plomb, 25 ; antimoine, 9 ; bismuth, 2. Enfin, l'effet est très-affaibli si le disque présente des solutions de continuité, surtout dans le sens de ses rayons ; mais les mêmes physiciens ont constaté qu'il reprend sensiblement la même intensité si l'on soude les solutions de continuité avec un métal quelconque.

Arago a reconnu que la force qui imprime à l'aiguille son mouvement de rotation est la résultante de trois autres forces, l'une perpendiculaire au plan du disque, et agissant par répulsion sur l'aiguille ; la seconde, dirigée dans le sens du rayon du disque, et agissant d'abord par répulsion sur l'aiguille à partir de la circonférence du disque, puis décroissante en s'approchant du centre, pour se changer en force attractive en approchant davantage de ce point, et devenir nulle en ce point même ; enfin, la troisième force, parallèle au plan du disque, est perpendiculaire, en chaque point, au rayon, et son action est attractive ; c'est donc cette dernière force qui fait tourner l'aiguille. Arago ne découvrit point l'origine de ces différentes forces ; c'est M. Faraday qui, le premier, en 1832, a fait voir, à l'aide du galvanomètre, qu'elles étaient dues à des courants d'induction développés dans les disques par l'influence de l'aiguille aimantée (764).

749. **Induction par l'action de la terre.** — M. Faraday a reconnu, le premier, que le magnétisme terrestre peut développer des courants induits dans les corps métalliques en mouvement, en agissant comme un puissant aimant placé dans l'intérieur du globe, dans la direction de l'aiguille d'inclinaison, ou plutôt, conformément à la théorie d'Ampère, comme un circuit de courants électriques dirigés de l'est à l'ouest parallèlement à l'équateur magnétique. Il le constata en plaçant une longue hélice de fil de cuivre recouvert de soie dans le plan du méridien magnétique, parallèlement à l'aiguille d'inclinaison ; en faisant tourner cette hélice de 180 degrés autour d'un axe qui la traversait en son milieu, il observa qu'à chaque demi-révolution, un galvanomètre en communication avec les deux bouts de l'hélice était dévié.

Pour démontrer les courants induits développés par l'action de la terre, M. Delezenne a construit l'appareil représenté dans la figure 610, lequel est connu sous le nom de *cerceau de Delezenne*. Il se compose d'un cerceau de bois RS, de près d'un mètre de dia-

mètre, fixé à un axe *oi*, auquel on peut imprimer un mouvement de rotation plus ou moins rapide au moyen d'une manivelle *M*. L'axe *oi* est porté par un cadre *PQ*, mobile lui-même autour d'un axe horizontal. A l'aide d'aiguilles fixées à ces deux axes, un premier cercle gradué *b* indique l'obliquité du cadre *PQ*, et, par suite, de l'axe *oi* par rapport à l'horizon, et un deuxième cercle gradué *c* marque le déplacement angulaire imprimé au cerceau. Autour de celui-ci s'enroule en hélice un fil de cuivre recouvert de soie, dont les deux bouts arrivent aux deux anneaux métalliques d'un commutateur *a* analogue à celui qui sera décrit ci-après dans l'appareil de Clarke, et dont l'usage est de ramener le cou-

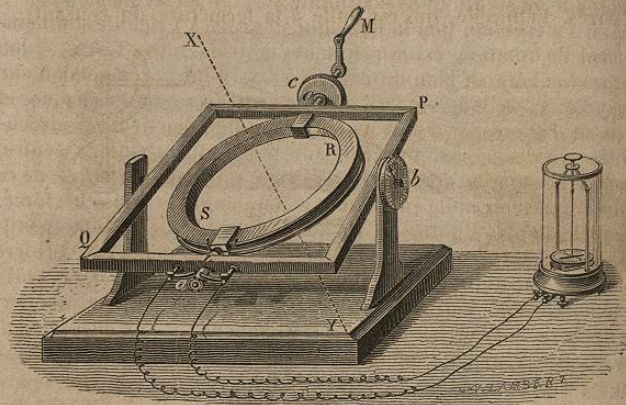


Fig. 610.

rant à être toujours de même sens, quoique sa direction change à chaque demi-révolution du cerceau. Enfin, sur chacun des anneaux du commutateur s'appuient deux lames de laiton qui transmettent successivement le courant à deux fils en communication avec un galvanomètre.

L'axe *oi* étant dans le méridien magnétique, et le cerceau *RS* perpendiculaire à la direction *XY* de l'aiguille d'inclinaison, si on lui imprime un mouvement de rotation lent, l'aiguille du galvanomètre est déviée, et par l'angle de sa déviation indique, dans l'hélice qui entoure le cerceau, un courant induit dont l'intensité augmente jusqu'à ce qu'on ait tourné de 90 degrés; puis la déviation décroît et devient nulle quand le cerceau a fait une demi-révolution. Si le mouvement de rotation continue, le courant reparaît, mais en sens contraire, atteint un second maximum à 270

degrés, et devient nul de nouveau après un tour complet. Dans le cas où l'axe *oi* est parallèle à l'aiguille d'inclinaison, il ne se produit pas de courant.

750. **Induction d'un courant sur lui-même, extra-courant.** — Lorsqu'on ouvre un circuit fermé, parcouru par un courant voltaïque, on n'obtient qu'une étincelle à peine sensible, si le fil qui réunit les deux pôles est court. De plus, si l'on fait partie du circuit en tenant dans chaque main une électrode, on ne ressent aucune commotion, à moins que le courant ne soit très-intense. Au contraire, si le fil est long, et surtout s'il est enroulé un grand nombre de fois sur lui-même, de manière à former une bobine à plis serrés, l'étincelle, qui est nulle à la fermeture du courant;

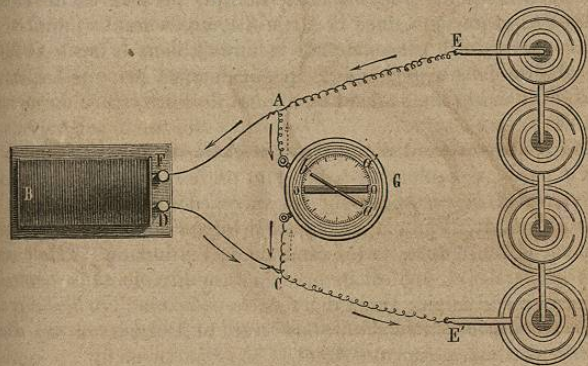


Fig. 611.

acquiert, quand on l'ouvre, une grande intensité, et si l'on est placé dans le circuit, on reçoit alors une commotion d'autant plus forte, que le nombre des spires est plus grand.

M. Faraday a expliqué ce renforcement du courant au moment de la rupture par une action inductrice que le courant, dans laquelle il se produit, dans toute la bobine, un courant induit direct, c'est-à-dire de même sens que le courant principal. C'est ce courant induit qu'on désigne sous le nom d'*extra-courant*.

Pour constater l'existence de l'*extra-courant* au moment de l'ouverture, M. Faraday a disposé l'expérience comme le montre la figure 611. Des pôles d'une pile partent deux fils de cuivre qui se rendent à deux bornes *D* et *F*, auxquelles aboutissent les bouts d'une bobine à fil fin *B*. Sur le parcours des fils, des points *A* et *C* partent deux autres fils qui se rendent à un galvanomètre *G*.

Par suite, le courant parti du pôle E se bifurque en A en deux courants, l'un qui traverse le galvanomètre, l'autre la bobine, pour revenir tous les deux au pôle négatif E.

L'aiguille du galvanomètre étant alors déviée par le courant qui va de A en C, on la ramène au zéro, et on l'y maintient par un obstacle qui l'empêche de tourner dans le sens Ga, mais la laisse libre dans le sens opposé. Or, en rompant la communication en E, on remarque qu'à l'instant où le circuit est ouvert, l'aiguille est déviée dans le sens Ga'; ce qui indique un courant contraire à celui qui avait lieu pendant l'établissement du courant, et allant par conséquent de C vers A. Mais le courant de la pile ayant cessé, le seul circuit fermé qui persiste est le circuit AFBDC, et puisque, dans la partie CA, un courant va de C en A, il faut donc qu'il parcourt tout le circuit dans le sens AFBDC, c'est-à-dire dans le même sens que le courant principal. C'est ce courant, qui apparaît ainsi au moment de l'ouverture du circuit, qui est l'extra-courant.

731. **Extra-courant d'ouverture et extra-courant de fermeture.** — Ce n'est pas seulement à l'instant où le courant finit que les spires, réagissant les unes sur les autres, donnent naissance à un courant induit; il en est encore ainsi lorsqu'on ferme le courant; seulement, ici, d'après la loi générale de l'induction (743), le courant qui se développe est inverse, c'est-à-dire de sens contraire au courant principal. De là deux extra-courants : l'*extra-courant de fermeture*, ou *extra-courant inverse*, et l'*extra-courant d'ouverture*, ou *extra-courant direct*.

Ce dernier courant, étant de même sens que le courant principal, s'ajoute à lui et augmente l'étincelle de rupture; au contraire, l'extra-courant inverse, étant de sens contraire à celui du courant principal, en diminue l'intensité et affaiblit ou annule l'étincelle au moment de la fermeture. C'est donc seulement à la rupture que l'extra-courant, combiné avec le courant principal, peut donner des effets puissants.

Pour recueillir l'extra-courant direct, on soude à chacun des bouts du fil d'une bobine simple, c'est-à-dire à un seul fil, un appendice métallique, une plaque de cuivre, par exemple, et l'on tient une plaque dans chaque main, ou on les fait communiquer entre elles par le conducteur qu'on veut soumettre à l'extra-courant, celui-ci se produisant à chaque interruption du courant qui passe dans le fil de la bobine. On trouve ainsi que l'extra-courant direct donne de violentes commotions, de vives étincelles, décompose l'eau, fond le platine, et fait dévier l'aiguille aimantée. M. Abria, qui a fait de nombreuses recherches sur les courants

d'induction, a trouvé que l'intensité de l'extra-courant égale 0,72 environ de celle du courant principal.

Les effets ci-dessus acquièrent une intensité encore plus énergique, si l'on introduit dans la bobine un barreau de fer doux, ou, ce qui revient au même, si l'on fait passer le courant dans les bobines d'un électro-aimant. C'est encore là un phénomène d'induction dû à l'aimantation du fer doux dans l'intérieur de la bobine (747). En effet, à chaque désaimantation du fer, les courants d'Ampère développés à la surface réagissent sur la bobine, et y font naître un courant de même sens que l'extra-courant.

Dans ce qui précède, les effets des deux extra-courants se superposent à ceux du courant principal. Or, un savant suédois, M. Edlund, a fait disparaître cette difficulté par une disposition d'appareil qui permet d'annuler complètement l'action du courant principal sur les instruments de mesure, et ne laisse subsister que celle de l'extra-courant. En expérimentant ainsi, M. Edlund est arrivé aux deux lois suivantes :

1^o *Chacun des extra-courants est proportionnel à l'intensité du courant inducteur.*

2^o *L'extra-courant direct est toujours un peu plus faible que l'extra-courant inverse.* Ce qu'on peut expliquer en observant qu'au moment où l'on interrompt le circuit après l'avoir laissé fermé quelque temps, le courant principal est affaibli par la polarisation qui se produit toujours plus ou moins dans la pile (677); d'où il résulte que le courant inducteur est plus faible au moment de l'interruption qu'au moment de la fermeture. Autrement, M. Edlund admet que les deux extra-courants sont égaux, du moins quant aux quantités totales d'électricité qu'ils font passer dans une même section du fil; mais quant aux actions magnétisantes ou physiologiques, les deux courants diffèrent. En effet, d'après les recherches de M. Rijke, l'extra-courant inverse possède, dans ce cas, une plus grande intensité et une moindre durée que l'extra-courant direct (*Annales de chimie et de physique*, 1858, tome LIII, p. 59).

Dans tout ce qui précède, le courant inducteur a agi constamment sur un circuit fermé. Or, lorsqu'il agit sur un circuit ouvert, il y a encore induction. Toutefois elle ne se manifeste plus alors par des courants, mais seulement par une accumulation d'électricités contraires aux deux extrémités du circuit: accumulation d'où résulte une série d'étincelles lorsque les deux bouts du circuit sont assez rapprochés. En sorte que, par leur forte tension, leur instantanéité, leurs effets lumineux, les phénomènes qui apparaissent alors semblent plutôt du domaine de l'électricité statique que de celui de l'électricité voltaïque.

Après avoir fait connaître les appareils fondés sur les courants d'induction, nous reviendrons plus loin (764) sur l'intensité de ces courants.

752. **Courants induits de différents ordres.** — Malgré leur instantanéité, les courants induits peuvent eux-mêmes, par leur influence sur des circuits fermés, donner naissance à de nouveaux courants induits, puis ceux-ci à d'autres, et ainsi de suite, de manière à produire des *courants induits de différents ordres*.

Ces courants, découverts par M. Henri, à New-Jersey, se constatent en faisant réagir les unes sur les autres une suite de bobines formées chacune d'un fil de cuivre recouvert de soie et entouré sur lui-même en spirale dans un même plan, comme celle qui est représentée sur le plateau A, dans la figure 607. On remarque que les courants qui se produisent alors dans les bobines sont alternativement de sens contraires, et que leur intensité décroît à mesure qu'ils sont d'un ordre plus élevé.

MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES.

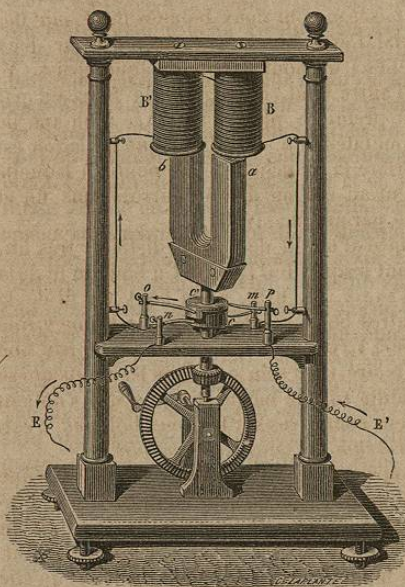


Fig. 612.

753. **Appareil de Pixii.** — On donne le nom de *machines magnéto-électriques* à des appareils dans lesquels on utilise l'induction par les aimants (747) pour obtenir des courants induits puissants, reproduisant tous les effets des courants voltaïques. La première machine de ce genre fut construite par Pixii fils, en 1832.

Cet appareil se compose d'un électro-aimant fixe BB' , supporté par deux colonnes de bois (fig. 612). Au-dessous est un faisceau aimanté en fer à cheval, porté par un axe vertical, auquel on imprime un mouve-

ment de rotation plus ou moins rapide à l'aide de deux roues d'angle et d'une manivelle. Les pôles a et b du faisceau, rasant alors le fer doux des bobines B, B' , l'aimantent par influence successive-ment en sens contraires. Or, le fer doux, à chaque aimantation et à chaque désaimantation, fait naître dans le fil des bobines des courants induits qui se propagent dans les fils parallèles aux colonnes, gagnent un commutateur cc' , et de là les fils E, E' . On va voir ci-après (754) que pendant une révolution complète du faisceau aimanté, il se produit en réalité deux courants de sens contraires, mais que par l'effet du commutateur cc' , le courant est toujours ramené à être de même sens dans les deux fils E, E' .

Quant à la théorie de ces courants, comme elle est identiquement la même que celle des courants qu'on obtient dans l'appareil de Clarke, nous renvoyons à ce que nous allons dire de cet appareil, le seul en usage aujourd'hui.

754. **Appareil de Clarke.** — Clarke, à Londres, a construit un appareil qui est une modification de celui de Pixii. Cet appareil se compose d'un faisceau aimanté A (fig. 613), très-puissant, recourbé en fer à cheval, et appliqué verticalement le long d'une planchette de bois. En avant de ce faisceau sont deux bobines B, B' , mobiles autour d'un axe horizontal. Ces bobines sont enroulées sur deux cylindres de fer doux, reliés à un bout par une plaque épaisse V , aussi de fer doux, et à l'autre bout, en regard du faisceau, par une plaque de laiton. La première plaque est fixée à un axe de cuivre qui porte un commutateur go , et à la plaque de laiton est fixé un axe portant, derrière la planchette, une poulie à laquelle on transmet le mouvement au moyen d'une courroie sans fin et d'une grande roue R mue par une manivelle.

Chaque bobine est formée d'un fil de cuivre distinct, très fin, recouvert de soie, et faisant jusqu'à 1500 tours. Un bout du fil de la bobine B se réunit, sur l'axe k (fig. 619), à un bout du fil de la bobine B' , et les deux autres bouts viennent aboutir à une virole de cuivre g , qui est fixée à l'axe, mais qui en est isolée par une enveloppe cylindrique d'ivoire. On a soin que dans les bouts qui se réunissent, le courant induit soit de même sens, ce qui s'obtient en enroulant les fils en sens contraires sur les deux bobines; c'est-à-dire que l'une est *dextrorsum* et l'autre *sinistrorsum*.

Lorsque les bobines tournent, le fer doux sur lequel chacune est enroulée s'aimante alternativement en sens contraires sous l'influence des pôles de l'aimant, et dans chaque fil il se produit un courant induit qui change de direction à chaque demi-révolution. En effet, suivons une des bobines, B par exemple, pendant qu'elle effectue une révolution complète devant les pôles du faisceau ai-

manté, en convenant de représenter par a et b les pôles de celui-ci, et par a' et b' ceux que prend successivement l'extrémité du fer doux de la bobine. De plus, considérons cette dernière au moment où elle vient de passer devant le pôle austral a du faisceau (fig. 614). Le fer possède alors un pôle boréal dans lequel on sait

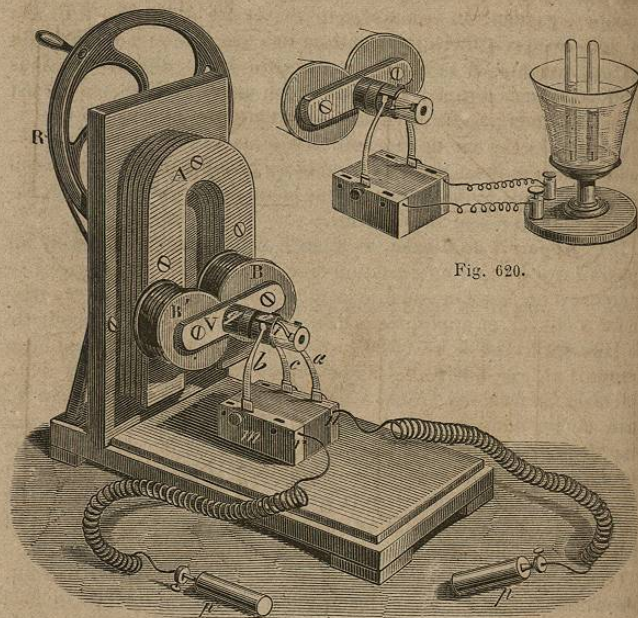


Fig. 620.

Fig. 613 ($h = 50$).

que les courants d'Ampère (727) sont dirigés dans le sens des aiguilles d'une montre. C'est le contraire qui semble indiqué par la flèche b' ; mais qu'on observe que nous supposons les bobines vues ici comme elles le sont dans la figure 613, et que ce serait en les regardant par le bout qui rase l'aimant que les courants d'Ampère paraîtraient tourner dans le sens des aiguilles d'une montre. Cela posé, ces courants agissent par induction sur le fil de la bobine pour y faire naître un courant de même sens, car la bobine s'éloignant du pôle a , son fer doux se désaimante, et les courants d'Ampère vont cesser (745, 4°). L'intensité du courant induit dans la bobine va donc en décroissant jusqu'à ce que la droite qui joint les axes des deux bobines soit perpendiculaire à celle qui joint

les pôles a et b du faisceau. A ce moment, le magnétisme est nul dans le fer doux; mais aussitôt, s'approchant du pôle b , son fer doux s'aimante en sens contraire, et prend actuellement un pôle austral (fig. 615). Or, les courants d'Ampère sont alors dirigés dans le sens de la flèche a' ; et comme ils commencent, ils déve-

Fig. 614.

Fig. 615.

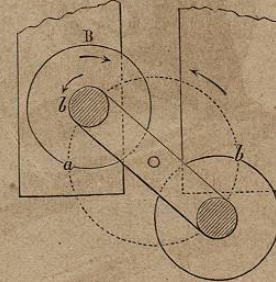
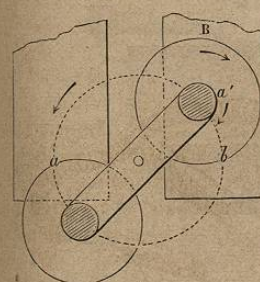
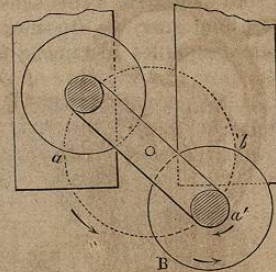
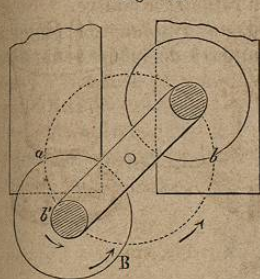


Fig. 616.

Fig. 617.

loppent dans le fil de la bobine un courant inverse (745, 5°), lequel se trouve être de même sens que celui qui est développé dans le premier quart de révolution. De plus, ce second courant se superpose au premier, puisque en même temps que la bobine s'éloigne de a , elle s'approche de b . En résumé, pendant la demi-révolution inférieure de a en b , le fil de la bobine a été successivement parcouru par deux courants induits de même sens; et si le mouvement de rotation est suffisamment rapide, on pourra pendant cette demi-révolution admettre un courant unique dans le fil.

Un raisonnement identique appliqué aux figures 616 et 617 fera voir que pendant la demi-révolution supérieure, le fil de la bobine B est encore parcouru par un seul courant, mais de direction opposée à celle du courant pendant la demi-révolution infé-

rieure. D'ailleurs tout ce qui vient d'être dit de la bobine B s'applique évidemment à la bobine B'. Toutefois, les bobines étant l'une *dextrorsum*, l'autre *sinistrorsum*, il est à remarquer que pendant chaque demi-révolution inférieure ou supérieure, les courants sont constamment de même sens dans les deux bobines. A la demi-révolution suivante, ils changent tous les deux, mais ils sont encore de même sens l'un par rapport à l'autre.

Commutateur. — On nomme ainsi un système de pièces à l'aide desquelles on ramène à être toujours de même sens, dans

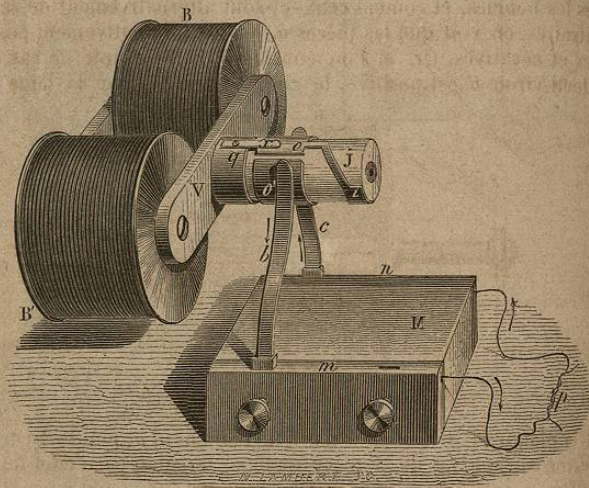


Fig. 618.

les lames *b* et *c* (fig. 613), les courants alternatifs qui se développent dans les bobines. Les figures 618 et 619 donnent sur une plus grande échelle, l'une une vue perspective, l'autre une coupe horizontale du commutateur de Clarke. Il se compose d'un cylindre isolant d'ivoire ou de buis J, dans l'axe duquel est un cylindre de cuivre *k* d'un moindre diamètre, fixé à l'armature V et tournant avec les bobines. Sur le cylindre d'ivoire est d'abord une virole de laiton *q*; puis, plus en avant, deux demi-viroles *o*, *o'*, aussi de laiton et complètement isolées l'une de l'autre. La demi-virole *o'* est en communication avec l'axe *k* par une vis *r* (fig. 619), et la demi-virole *o* l'est avec la virole *q* par une languette *x* qui les unit. Enfin, sur les faces latérales d'un bloc de bois M, sont deux plaques de laiton *m*, *n*, sur lesquelles sont

maintenues par des vis de pression deux lames métalliques élastiques *b* et *c*, qui s'appuient successivement sur les demi-viroles *o* et *o'* quand la rotation a lieu.

Ces détails connus, on a déjà dit que deux bouts des fils des bobines, ceux de même sens, viennent aboutir à l'axe métallique *k*, et, par suite, à la demi-virole *o'*; tandis que les deux autres bouts, encore de même sens entre eux, se réunissent à la virole *q*, et, par suite, à la demi-virole *o*. Finalement, les pièces *o*, *o'*, sont donc constamment les pôles des courants alternatifs qui se développent dans les bobines, et comme ceux-ci sont alternativement de sens contraires, on voit que les pièces *o*, *o'* sont alternativement positives et négatives. Or, si l'on considère, par exemple, le cas où la demi-virole *o'* est positive, le courant descend par la lame *b*,

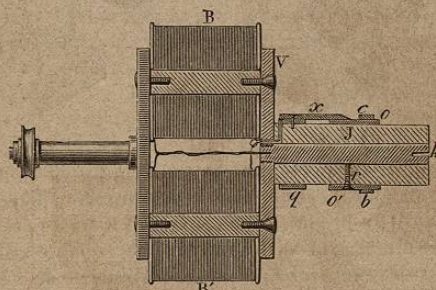


Fig. 619.

suit la plaque *m*, arrive en *n* par le fil conjonctif *p*, monte en *c*, et se ferme au contact de la pièce *o*; puis, lorsque, par l'effet de la rotation, *o* prend la place de *o'*, le courant conserve la même direction, car, comme il est alors renversé dans les bobines, *o* est devenu positif et *o'* négatif; et ainsi de suite tout le temps qu'on fait tourner les bobines.

Avec les deux lames *b* et *c* seules, les deux courants contraires qui partent des deux demi-viroles *o* et *o'* ne pourraient se réunir. Pour fermer le courant, il faut faire communiquer les deux pièces *m* et *n* entre elles, au moyen d'un conducteur quelconque. On ferme aussi le courant au moyen d'une troisième lame *a* (fig. 613) et de deux appendices *i*, dont un seul est visible sur la figure. Ces deux appendices sont isolés l'un de l'autre sur le cylindre d'ivoire, mais communiquent respectivement avec les pièces *o*, *o'*. Toutes les fois que la lame *a* touche un de ces appendices, elle est en communication avec la lame opposée *b*, et le courant est fermé, car il passe de *b* en *a*, puis gagne la lame *c* par la plaque *n*.