

CHAPITRE VIII
COURANTS D'INDUCTION.

I. — PHÉNOMÈNES GÉNÉRAUX.

861. **Courants d'induction.** — On appelle *courants induits*, des courants qui prennent naissance dans un circuit fermé, placé au voisinage d'un autre circuit parcouru par un courant (*courant inducteur*), ou au voisinage d'un aimant (*aimant inducteur*), lorsqu'on imprime, aux uns ou aux autres, des déplacements modifiant leurs distances relatives. — L'énergie qui apparaît dans les divers effets produits par ces courants correspond au *travail* dépensé pour effectuer les déplacements eux-mêmes.

Les courants d'induction ont été découverts par Faraday en 1831. — Nous allons d'abord constater, par l'expérience, les phénomènes fondamentaux de l'induction.

862. **Induction produite par un courant, ou induction volta-électrique.** — Soient deux bobines A et B (fig. 655), formées chacune d'un fil de cuivre couvert de soie et enroulé sur un cylindre de bois creux. La bobine A étant reliée aux pôles d'une pile V, on obtiendra un premier circuit VA : ce sera le *circuit inducteur*. La bobine B étant reliée aux bornes du galvanomètre G, on obtiendra un second circuit fermé BG, qui sera le *circuit induit*. — On peut effectuer les trois expériences suivantes :

1° Les deux bobines étant séparées (fig. 655), et le courant inducteur étant établi dans le circuit VA, on introduit brusquement la bobine A dans la bobine B : on constate qu'il se développe, dans le circuit BG, un courant accusé par une déviation de l'aiguille du galvanomètre. Le sens dans lequel se produit cette déviation montre que le courant induit, qui prend naissance quand on *diminue la distance* des deux circuits, est *de sens contraire au courant inducteur*. — Ce courant n'a d'ailleurs qu'une durée extrêmement courte : l'aiguille, qui avait été brusquement écartée du zéro de la graduation, revient immédiatement sur elle-même ; elle oscille régulièrement de part et d'autre du zéro, et finit par s'arrêter dans cette position, qu'elle conserve tant que la distance des deux circuits reste constante.

Si maintenant, une fois l'aiguille revenue au zéro, on éloigne brusquement la bobine A de la bobine B, on observe une nouvelle déviation de l'aiguille, de sens contraire à la première. Donc, quand on *aug-*

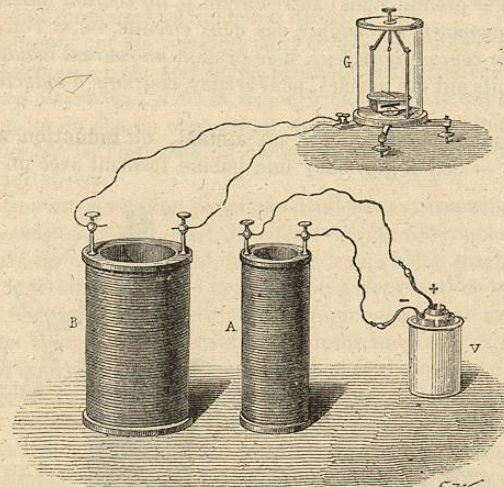


Fig. 655. — Induction produite par un courant.

mente la distance des deux circuits, il se développe un courant induit, qui est *de même sens que le courant inducteur*.

Nous appellerons *courant induit inverse*, celui qui se produit en sens inverse du courant inducteur ; *courant induit direct*, celui qui se produit dans le même sens que le courant inducteur.

2° Le circuit VA étant ouvert, et la bobine A étant placée dans la bobine B, et si l'on vient à *fermer* le circuit inducteur, on obtient un courant induit *inverse* (courant de fermeture). — Une fois l'aiguille revenue au zéro, si on vient à *rompre* le circuit VA, on obtient un courant induit *direct* (courant de rupture).

3° Enfin, la bobine A étant placée dans la bobine B, et le circuit VA étant fermé, si l'on vient à *augmenter l'intensité* du courant inducteur, par exemple en diminuant la résistance sans interrompre le circuit, on observe un courant induit *inverse*. — Si l'on *diminue l'intensité* du courant inducteur, on observe un courant induit *direct*.

Les résultats de la deuxième expérience sont évidemment compris dans ceux de la troisième : fermer ou rompre le circuit inducteur, c'est augmenter l'intensité du courant inducteur, à partir de zéro, ou diminuer cette intensité jusqu'à zéro. On est ainsi conduit à l'énoncé général suivant :

Étant donnés deux circuits fermés A et B, et l'un de ces circuits A étant parcouru par un courant, dit courant inducteur, si l'on diminue la distance des deux circuits, ou si l'on augmente l'intensité du courant inducteur, il se produit, dans l'autre circuit B, un courant induit inverse. — Si l'on augmente la distance des deux circuits, ou si l'on diminue l'intensité du courant inducteur, il se produit un courant induit direct.

Ces courants ont été appelés, par Faraday, courants d'induction volta-électrique.

863. Induction produite par un aimant, ou induction magnéto-électrique. — Soit B (fig. 656) une bobine formant avec un galvano-

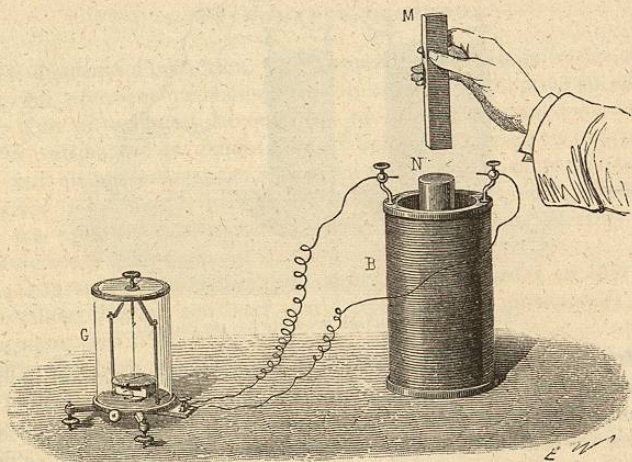


Fig. 656. — Induction produite par un aimant.

mètre G un circuit fermé BG. Un barreau de fer doux N étant placé dans la bobine, si l'on fait naître l'aimantation dans ce barreau, en approchant brusquement de son extrémité l'un des pôles d'un aimant M, le galvanomètre accuse la production d'un courant induit, dont le sens est inverse de celui des courants particuliers (841), orientés par l'aimantation dans le fer doux N. — Si maintenant, une fois l'aiguille du galvanomètre revenue au zéro, on supprime l'aimantation dans le barreau N, en enlevant brusquement l'aimant M, l'aiguille accuse un courant induit direct, c'est-à-dire de même sens que les courants particuliers du fer doux.

De même si, après avoir retiré de la bobine le barreau N, on y introduit brusquement l'aimant, il se produit un courant inverse. — Si l'on enlève l'aimant, il se produit un courant direct.

En résumé : Si l'on fait naître l'aimantation dans un corps magné-

tique placé à l'intérieur d'un circuit fermé, ou si l'on approche un aimant de l'intérieur de ce circuit, il se produit un courant d'induction dont le sens est inverse de celui des courants particuliers de l'aimant. — Si l'aimant inducteur perd son magnétisme, ou si l'on éloigne cet aimant, il se produit un courant d'induction direct.

Ces courants ont été appelés, par Faraday, courants d'induction magnéto-électrique. — On voit qu'ils résultent des variations de l'intensité du champ magnétique, dans la région occupée par le circuit induit. — Si l'intensité du champ magnétique augmente, il se produit un courant induit inverse ; si l'intensité du champ diminue, il se produit un courant induit direct.

La même interprétation s'applique d'ailleurs aux courants d'induction volta-électriques. — En effet, le circuit A (fig. 655), quand il est parcouru par un courant, donne naissance à un champ magnétique (818), comme le ferait un aimant ; or, en chacun des points de la région occupée par le circuit B, l'intensité du champ magnétique va en croissant quand on augmente l'intensité du courant inducteur A, ou quand on diminue la distance des deux circuits A et B ; l'intensité du champ magnétique va en décroissant dans les cas inverses. On peut donc dire que, ici encore, c'est aux variations d'intensité du champ magnétique, au voisinage du circuit B, que sont dus les courants induits.

864. Emploi du fer doux comme moyen d'augmenter l'induction volta-électrique. — Dans la bobine A, qui nous a servi comme inductrice dans l'étude des phénomènes d'induction volta-électrique (862), introduisons un noyau de fer doux. Ce noyau s'aimantant par le courant de la pile, et ses courants particuliers s'orientant alors dans le même sens que celui de la bobine A, leurs actions inductrices, sur la bobine B, doivent s'ajouter à celle de A. — On constate, par

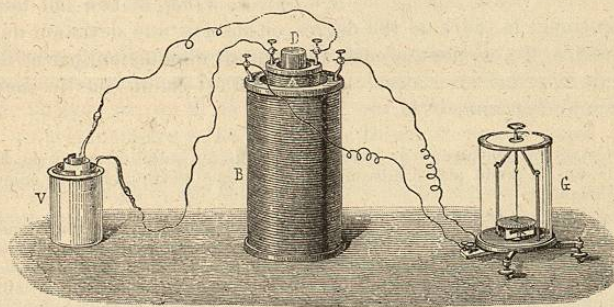


Fig. 657. — Emploi du fer doux, pour augmenter l'induction volta-électrique.

exemple, que si la bobine A, munie de son noyau D, est placée dans la bobine B (fig. 657), le courant induit de fermeture, accusé par le

galvanomètre, est beaucoup plus intense qu'en l'absence du noyau. — Il en est de même du courant induit *de rupture*, l'orientation des courants particuliers du fer disparaissant en même temps que le courant de la pile (*).

On peut dire qu'un noyau de fer doux, placé dans une bobine inductrice, a pour effet d'augmenter l'action inductrice exercée sur un circuit fermé voisin, en donnant, pour une même intensité du courant de la pile, une intensité totale plus grande au *champ magnétique* créé autour de cette bobine.

865. Induction produite par la Terre, ou induction telluro-électrique. — On sait qu'il existe autour de la Terre un champ magnétique (750). L'expérience suivante montre qu'on peut obtenir un courant induit, dans un circuit fermé, en imprimant à ce circuit un déplacement rapide par rapport à la direction des lignes de force du champ terrestre.

Sur un cadre circulaire MN (fig. 658), mobile autour d'un axe horizontal AB, est enroulé plusieurs fois un fil conducteur couvert de soie; ses deux extrémités sont reliées aux deux bornes d'un galvanomètre. L'axe de rotation AB étant placé perpendiculairement au méridien magnétique, et le plan du cadre étant d'abord perpendiculaire à l'aiguille d'inclinaison, c'est-à-dire aux lignes de force du champ terrestre

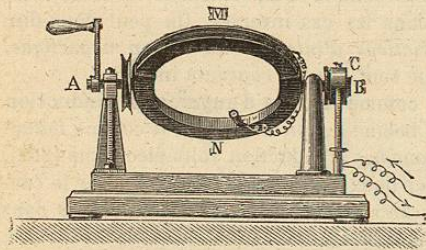


Fig. 658. — Induction produite par la Terre.

brusquement le cadre de 180 degrés, on observe une déviation du galvanomètre. Il s'est donc produit un courant d'induction, par ce déplacement imprimé au cadre. — L'appareil est connu sous le nom de *cerceau de Delezenne* (**).

(*) L'expérience montre qu'un *faisceau de fils* de fer, substitué au barreau D, renforce le courant induit plus énergiquement encore que ne fait un barreau unique de même diamètre.

(**) Un nouveau déplacement de 180°, dans le même sens, donne naissance à un nouveau courant induit, qui parcourt le fil du cadre *en sens inverse*. — On fixe généralement, sur l'axe de rotation, un *commutateur* C (fig. 658), semblable à celui des figures 600 et 601 : les deux extrémités du fil du cadre aboutissent aux deux faces métalliques du commutateur, et c'est par les deux ressorts fixés sur le pied de l'appareil qu'on établit les communications avec le galvanomètre. Dès lors, si l'on imprime au cadre un mouvement de rotation continu, les contacts des faces métalliques avec les ressorts étant intervertis à chaque demi-rotation, les courants induits parcourent toujours le fil du galvanomètre *dans le même sens*. — On peut ainsi obtenir une déviation *stable* de l'aiguille du galvanomètre, tant que le mouvement de rotation reste uniforme.

866. Induction d'un courant sur lui-même, ou self-induction. — On a vu (862, 2^e) que, lorsqu'un courant parcourt un circuit, et qu'on vient à rompre ou à refermer ce circuit, il y a production d'un courant induit, dans tout circuit fermé voisin du premier. — Il est naturel de penser que chacun des éléments d'un courant doit aussi exercer une action inductrice sur les éléments voisins qui font partie *de son propre circuit* : cette action doit être surtout sensible, si le circuit est enroulé sur lui-même, de manière que chacun de ses éléments ait dans son voisinage un grand nombre d'autres éléments. C'est la disposition adoptée dans les deux expériences suivantes, qui sont dues à Faraday. — Ces courants ont reçu le nom d'*extra-courants*, ou de courants de *self-induction*.

1^o On fait passer le courant d'une pile PN (fig. 659) dans un long fil

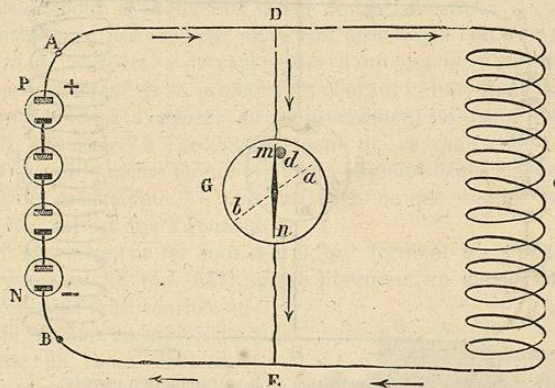


Fig. 659. — Démonstration de la self-induction directe.

métallique, que l'on enroule en une hélice C dans une grande partie de sa longueur : on réunit deux de ses points D, E, situés de part et d'autre de l'hélice, par un fil de dérivation, sur le trajet duquel est intercalé un galvanomètre G. Le courant de la pile se partage ainsi entre les deux branches de dérivation, DCE, DGE, qu'il parcourt dans le sens des flèches indiquées sur la figure; si *mn* est la direction du diamètre passant par le zéro du galvanomètre, on voit le pôle austral de l'aiguille venir, sous l'action du courant, à droite de *mn*, en *a* par exemple. On ramène alors l'aiguille, avec la main, dans la direction *mn*, et l'on place sur le cadran un petit obstacle *d*, à droite du point *m*, de manière à empêcher l'aiguille de s'écarter de ce côté. — Les choses étant ainsi disposées, si l'on interrompt le courant au voisinage de la pile, en A par exemple, le pôle austral reçoit une vive impulsion à gauche, après laquelle l'aiguille revient au zéro. Donc, *au moment de la rupture* du

courant de la pile, le circuit fermé DGECD a été parcouru par un courant, et ce courant avait, dans la portion DGE, un sens contraire à celui du courant de la pile; par suite, il avait, dans l'hélice C, le même sens que le courant de la pile. — C'est là, comme on l'a vu (862, 2°), le caractère d'un courant induit dû à la rupture d'un courant inducteur: c'est l'*extra-courant de rupture*, ou courant de *self-induction direct*.

2° On détermine, par une expérience préliminaire, la position *ab* (fig. 640) que prend l'aiguille du galvanomètre sous l'action du courant de la pile, et l'on place sur le cadran un petit obstacle *f* à la gauche du point *a*, de manière à empêcher l'aiguille de revenir au zéro quand on interrompra le courant en A. — Les choses étant ainsi disposées, et le circuit de la pile étant ouvert au point A, on constate que, à l'instant

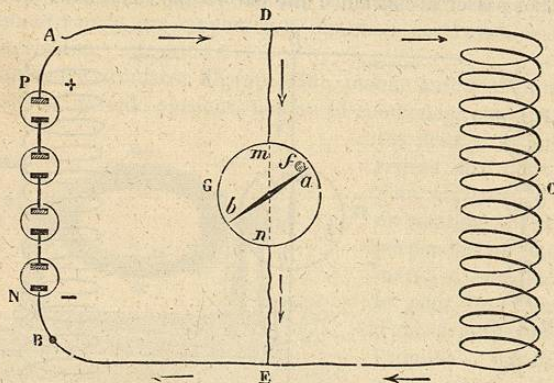


Fig. 640. — Démonstration de la self-induction inverse.

où l'on referme le circuit en A, le pôle austral de l'aiguille reçoit une vive impulsion à droite, après laquelle il revient en *a*. Donc, au moment de la fermeture du circuit, le fil DGE n'a pas été seulement parcouru par une portion du courant de la pile, ayant une intensité telle qu'elle amenât l'aiguille en *ab*; mais à ce courant s'en est ajouté un autre, d'une durée très courte, ayant le même sens dans la partie DGE, et ayant, par conséquent, dans l'hélice C, un sens contraire à celui du courant de la pile. — C'est le caractère d'un courant induit dû à la fermeture du courant inducteur: c'est l'*extra-courant de fermeture*, ou courant de *self-induction inverse*.

867. Loi de Lenz. — Dépense de travail, nécessaire à la production des courants d'induction. — La loi suivante, énoncée par le physicien russe Lenz, permet de définir le sens du courant induit qui prend naissance dans un circuit fermé, quand on déplace ce circuit d'une manière quelconque dans un champ magnétique.

Le sens du courant induit est tel, que l'action électromagnétique du champ sur ce courant tende à s'opposer au mouvement qui donne naissance au courant lui-même. — Si l'on se reporte aux résultats des expériences qui précèdent, il est aisé de voir que chacun d'eux satisfait à la loi de Lenz. — Pour appliquer la loi aux courants d'induction produits par les variations d'intensité du courant inducteur, et aux courants de self-induction, il suffit de remarquer qu'un accroissement d'intensité du courant inducteur, augmentant l'intensité du champ magnétique, doit avoir le même effet qu'une diminution de la distance des deux circuits.

La loi de Lenz n'a pas seulement l'avantage de réunir dans un même énoncé tous les résultats relatifs aux sens dans lesquels se propagent les courants d'induction. Elle rend manifeste la nécessité d'une dépense de travail, pour la production même de ces courants.

Considérons, par exemple, un circuit fermé, que l'on mettra en mouvement de manière à le rapprocher d'un aimant. Tant que durera ce rapprochement, il se produira un courant induit, dont le sens sera tel, qu'il tende à s'opposer au rapprochement lui-même: dès lors, le travail nécessaire à l'accomplissement de ce mouvement sera plus grand que si le même circuit avait subi le même déplacement en dehors du champ magnétique. — C'est, en effet, ce que montre l'expérience suivante, qui est due à Foucault.

Entre les pièces de fer doux A et B, qui forment les armatures d'un électro-aimant EE (fig. 641), passe librement un disque de cuivre D, que l'on peut faire tourner autour de son axe, au moyen d'un système de roues dentées et d'une manivelle qui n'est pas représentée sur la figure. Tant que l'électro-aimant n'est pas aimanté, il suffit d'un effort très faible pour imprimer au disque un mouvement de rotation très rapide. — Mais si, au moment où le disque est animé d'une grande vitesse, on vient à faire passer dans le fil de l'électro-aimant le courant de quelques éléments de Bunsen, de manière

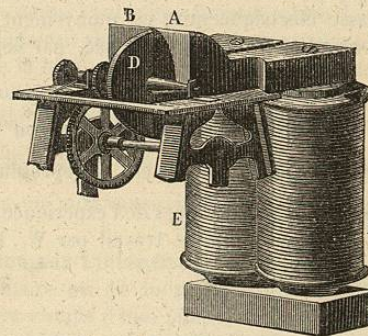


Fig. 641. — Expérience de Foucault.

à donner naissance à un champ magnétique intense, on constate que le disque est brusquement arrêté: cet arrêt est dû à la résistance développée par les courants induits, qui se sont produits dans le disque lui-même. — Si l'on veut alors continuer à faire tourner le disque, on ne parvient à lui imprimer qu'un mouvement de rotation beaucoup

plus lent, même avec un effort considérable. Le travail mécanique dépensé se transforme alors en énergie électrique, par la production de courants induits circulant dans le disque pendant la rotation; cette énergie électrique apparaît bientôt sous forme de chaleur: il se produit, en effet, dans la masse de cuivre, une élévation de température que l'on peut constater en y appliquant la main.

En résumé, on peut donc dire que la production des courants d'induction, par déplacement d'un circuit fermé dans un champ magnétique, constitue un mode de transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique, sous forme de courants. — Dans les effets produits par ces courants, se retrouve, soit sous forme de chaleur, soit sous toute autre forme, l'équivalent de l'énergie dépensée (*).

868. Force électromotrice d'induction. — Dans le cas d'un courant produit dans un circuit par une pile, nous avons appelé *force électromotrice*, la quantité d'énergie communiquée à chaque unité de masse électrique parcourant le circuit (755).

Or, considérons maintenant un circuit fermé, dont une partie sera mise en mouvement dans un champ magnétique invariable: ce sera, par exemple, une bobine à laquelle on imprimera un mouvement de rotation dans un champ magnétique, et dont les extrémités seront réunies par un conducteur extérieur au champ. Nous ferons d'abord abstraction des phénomènes de self-induction qui pourraient se produire dans ce circuit (**). — Soit W joules le travail dépensé pour imprimer à la bobine un déplacement déterminé, et θ la durée de ce déplacement; si l'intensité du courant induit est de i ampères, la masse électrique mise en mouvement est de $i\theta$ coulombs. Par suite, la quantité d'énergie dépensée, par coulomb, c'est-à-dire la *force électromotrice*, a pour valeur $\frac{W}{i\theta}$.

On peut donner à cette expression une autre forme, indépendante de i . En effet, le quotient $\frac{W}{i}$ représente le travail dépensé, dans les conditions particulières de l'expérience, *par unité d'intensité de courant*. Si l'on représente ce travail par W_1 , l'expression de la force électromotrice devient $\frac{W_1}{\theta}$.

(*) Nous avons dit (826) que, dans les galvanomètres, l'amortissement progressif des oscillations de l'aiguille aimantée est dû à la production de courants induits, qui prennent naissance dans le fil du multiplicateur. Dans ce cas, c'est le champ magnétique qui se déplace, par rapport au circuit fermé qui est fixe: la force vive de l'aiguille disparaît progressivement et se transforme en énergie électrique, sous forme de courants induits parcourant le cadre du multiplicateur, alternativement dans un sens et dans l'autre.

(**) La self-induction complique toujours les phénomènes électriques, toutes les fois qu'un courant d'intensité variable se propage dans un conducteur, quelle que soit l'origine de ce courant.

Supposons maintenant que $\frac{W_1}{\theta}$ conserve une valeur constante pendant les divers intervalles de temps qui se succèdent; le courant conserve une intensité constante de i ampères. Or, d'une part, pendant chacun de ces intervalles de temps θ , le travail dépensé pour produire le courant est $W \equiv W_1 i$ joules; d'autre part, l'énergie calorifique qui apparaît pendant le même temps θ , dans tout le circuit de résistance R , est exprimée, d'après la loi de Joule (802), par $i^2 R \theta$. D'après le principe de la conservation de l'énergie, on doit avoir

$$W_1 i = i^2 R \theta,$$

d'où :

$$i = \frac{W_1}{\theta} \times \frac{1}{R}.$$

L'intensité du courant d'induction est donc proportionnelle à la force électromotrice d'induction $\frac{W_1}{\theta}$ et en raison inverse de la résistance du circuit: c'est l'énoncé des lois d'Ohm (800) — Dès lors, une bobine qui fait partie d'un circuit fermé, et qui est mise en mouvement dans un champ magnétique, de façon que l'intensité du courant induit reste constante, est assimilable à une pile dont la force électromotrice serait représentée par $\frac{W_1}{\theta}$ (*).

L'assimilation subsiste encore *quand le circuit est ouvert*. — Les deux extrémités du fil de la bobine étant séparées, on peut imaginer qu'on relie l'une d'elles au sol et qu'on mette l'autre en communication avec un électromètre; l'instrument indiquerait alors, entre les deux extrémités du fil, pendant le déplacement de la bobine dans le champ magnétique, une différence de potentiel de E volts (**). — On démontrerait, en raisonnant comme dans le cas d'une pile en circuit ouvert (751), que le nombre E est égal au nombre $\frac{W_1}{\theta}$, qui exprime, en joules, l'énergie communiquée à chaque coulomb mis en mouvement quand le circuit est fermé.

869. Effets de la self-induction sur l'intensité du courant d'une pile, au moment de la fermeture ou de la rupture du circuit. — Au moment de la *fermeture* du circuit d'une pile, la self-induction donnant naissance à un courant de sens contraire à celui de la pile (866), on doit considérer les divers éléments du circuit comme étant le

(*) Cette proposition n'est plus rigoureusement exacte quand le courant induit n'est pas constant.

(**) On peut faire cette expérience avec le cerceau de Delezenne (fig. 658), en lui imprimant une demi-révolution.

siège d'une force électromotrice de self-induction inverse, qui s'oppose à l'établissement du courant principal. Il en résulte, pendant les premiers instants, une diminution de l'intensité de ce courant; en d'autres termes, le courant de la pile n'acquiert que graduellement son régime régulier. — Pour une pile de force électromotrice déterminée, et pour un circuit de résistance totale déterminée, la durée de cet accroissement progressif d'intensité sera d'autant plus grande que chacun des éléments du circuit aura dans son voisinage un plus grand nombre d'autres éléments.

Au moment de la rupture du circuit d'une pile, la self-induction donnant naissance à un courant de même sens que celui de la pile, on doit considérer les divers éléments du circuit comme étant le siège d'une force électromotrice de self-induction directe, qui peut acquérir une valeur considérable lorsque le circuit est replié plusieurs fois sur lui-même. — C'est ainsi que s'expliquent les effets suivants :

La rupture du circuit d'une pile formée d'une dizaine d'éléments de Bunsen, lorsque le conducteur intermédiaire n'est pas replié sur lui-même, ne donne naissance qu'à une faible étincelle. Au contraire, si l'on interpose dans le circuit une bobine portant un fil enroulé un grand nombre de fois, l'étincelle de rupture éclate avec un bruit comparable à celui d'une capsule fulminante. Cependant la résistance introduite par la bobine ne peut que diminuer l'intensité du courant de la pile, à l'état permanent; l'effet qui se produit ici doit donc être attribué à la force électromotrice de self-induction directe, qui s'établit au moment de la rupture du circuit.

Lorsque le circuit d'une pile contient une bobine, et que, prenant dans les mains les deux extrémités du fil de cette bobine, on les détache vivement, de manière que la bobine forme alors avec le corps de l'opérateur un circuit fermé, on ressent une commotion violente. L'intensité de cette commotion est encore beaucoup augmentée, si l'on introduit dans la bobine un faisceau de fils de fer doux. C'est encore un effet de la force électromotrice de self-induction directe.

870. Comparaison des courants induits de fermeture et de rupture. — Lorsque, dans la disposition représentée par la figure 637, on ferme et on rompt alternativement le circuit inducteur VA, on observe, au galvanomètre G intercalé dans le circuit induit B, des déviations de l'aiguille égales et contraires. — Or, lorsqu'on fait passer dans un galvanomètre un courant dont la durée est assez petite pour que l'aiguille soit encore sensiblement au zéro à l'instant où le courant cesse, l'impulsion donnée à l'aiguille est à la fois proportionnelle à l'intensité i et à la durée θ de ce courant; c'est-à-dire que, dans ce cas, la déviation observée, au lieu de mesurer l'intensité i d'un courant instantané, mesure la quantité d'électricité $i\theta$, mise en mouvement pendant la durée très petite de ce courant. — Soient i et θ l'intensité

et la durée du courant de fermeture, i' et θ' l'intensité et la durée du courant de rupture. De l'égalité des deux déviations de l'aiguille, on doit conclure que les quantités d'électricité $i\theta$ et $i'\theta'$, mises en mouvement dans ces deux courants induits, sont égales entre elles; c'est ce que l'on énonce souvent en disant que les deux courants induits, de fermeture et de rupture, sont égaux en quantité.

Mais ces deux courants induits n'ont pas la même intensité. — Pour le vérifier grossièrement, il suffit de faire communiquer les deux extrémités du fil induit avec deux poignées métalliques, que l'on tient dans les mains. On éprouve une commotion, soit à la fermeture du courant inducteur, soit à la rupture; mais la commotion la plus forte est toujours celle qui est produite par le courant de rupture. — C'est donc le courant direct qui a la plus grande intensité.

Il est d'ailleurs facile de concevoir qu'il en soit ainsi, d'après ce qu'on vient de voir des effets de la self-induction sur l'intensité du courant inducteur (869). Au moment de la fermeture, la self-induction inverse prolongeant l'intervalle de temps nécessaire pour que le courant inducteur atteigne son intensité régulière, la durée θ du courant induit de fermeture doit être beaucoup plus grande que la durée θ' du courant induit de rupture; et puisque les quantités d'électricité mises en mouvement dans ces deux courants induits sont égales, l'intensité i' du courant induit de rupture doit être beaucoup plus grande que l'intensité i du courant induit de fermeture.

871. Effets de la self-induction, dans la décharge d'une bouteille de Leyde. — Lorsque, pour décharger une bouteille de Leyde électrisée, on met l'armature externe en communication avec l'une des extrémités d'un conducteur, et qu'on approche l'autre extrémité à une petite distance de l'armature interne, on peut obtenir, suivant les conditions de l'expérience, deux résultats très différents.

Si le conducteur est un fil métallique fin et long, non replié sur lui-même, de manière que les effets de self-induction soient très faibles, il se produit, de l'armature positive à l'armature négative de la bouteille, un courant dont l'intensité, d'abord nulle, passe par un maximum, pour redevenir nulle: on observe alors une seule étincelle, peu sonore. — Dans ce cas, la décharge est dite continue, et l'énergie préalable des conducteurs électrisés se retrouve presque tout entière, après cette étincelle unique, sous forme de chaleur dégagée dans le fil métallique.

Si, au contraire, le fil métallique est enroulé plusieurs fois sur lui-même, de manière à donner lieu à une self-induction intense, on constate, en observant le phénomène lumineux dans un miroir tournant, une série d'étincelles de moins en moins brillantes, se succédant pendant la durée de la décharge. — On conçoit en effet que, dès qu'une première étincelle détermine un déplacement d'électricité positive, de l'armature positive à l'armature négative, le courant ainsi produit donne naissance, dans les replis du circuit, à une force électromotrice de self-induction inverse, fournissant une seconde étincelle en sens inverse de la première, et ainsi de suite. L'électricité oscille donc ainsi entre les deux armatures, jusqu'à ce que l'énergie accumulée dans

les conducteurs électrisés ait été dépensée, soit en chaleur dégagée dans le circuit, soit en vibrations sonores ou calorifiques dans l'étincelle complexe ainsi produite. — Cette forme de décharge est dite *décharge oscillante*.

II. — BOBINES D'INDUCTION.

872. Principe des bobines d'induction. — Nous appellerons spécialement *bobines d'induction* des appareils qui servent à obtenir, au moyen d'un courant de grande intensité et de force électromotrice relativement faible, un courant de force électromotrice très grande.

Une bobine d'induction se compose essentiellement d'une hélice inductrice A (fig. 637), contenant un noyau de fer doux D, et d'une hélice induite B. — Par des alternatives de fermeture et de rupture du courant inducteur A, on fait alternativement apparaître et disparaître un champ magnétique puissant dans le voisinage du circuit B. Tout se passe comme si, le champ magnétique demeurant invariable, on amenait brusquement le circuit induit B dans ce champ, pour l'en éloigner ensuite. — Pour obtenir une force électromotrice d'induction aussi considérable que possible, on devra, d'une part, faire en sorte que le champ magnétique soit puissant, c'est-à-dire que le courant inducteur ait une grande intensité; on devra, d'autre part, donner une grande longueur au fil qui constitue l'hélice B.

La première idée de cet appareil est due à Masson; les détails de construction ont été réalisés par Ruhmkorff, vers 1851.

873. Bobine de Ruhmkorff. — Autour d'un faisceau de fils de fer doux, est enroulé un *gros fil* (de 2 à 5 millimètres de diamètre) formant seulement deux ou trois couches autour du fer doux : c'est ce fil, de faible résistance, qui constitue le circuit inducteur. Il est placé à l'intérieur d'un tube de verre, sur lequel est enroulé un grand nombre de fois un fil très long et très fin, qui constituera le circuit induit : dans les bobines de grandes dimensions, la longueur de ce fil peut atteindre 120 000 mètres; son diamètre est d'environ un cinquième de millimètre. Le tout forme une grosse bobine S (fig. 642), terminée par deux disques de verre. On a représenté, sur la gauche, marqués des signes + et —, les conducteurs qui mettent la pile en communication avec le fil inducteur. Le courant arrive en R' dans un commutateur (fig. 645) dont la position est supposée telle, que le courant passe en E et arrive au point I par une bande métallique fixée sur le socle de l'appareil. Le courant passe ensuite dans un interrupteur, qui est représenté à droite dans la figure 642; la figure 644 en indique les détails, à une échelle un peu plus grande. — L'interrupteur se compose d'un petit marteau dont la tête O, qui est en fer doux, est placée à une petite distance au-dessous de l'extrémité du faisceau de fils de fer qui forme le noyau de la bobine, et qui dépasse le disque de verre, comme

le montre la figure 642; le manche du marteau, qui est en cuivre, est articulé à la partie supérieure de la colonne métallique D (fig. 644); au-

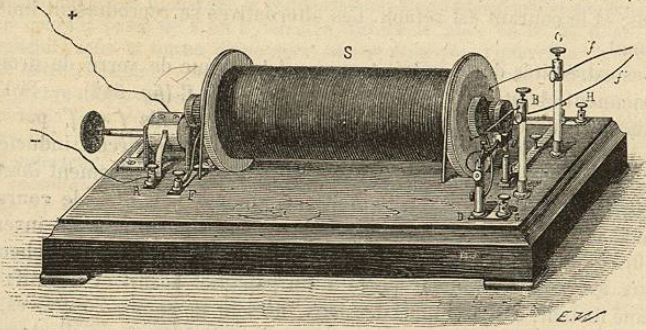


Fig. 642. — Bobine de Ruhmkorff.

dessous de la tête du marteau, est une sorte de petite enclume e, formée

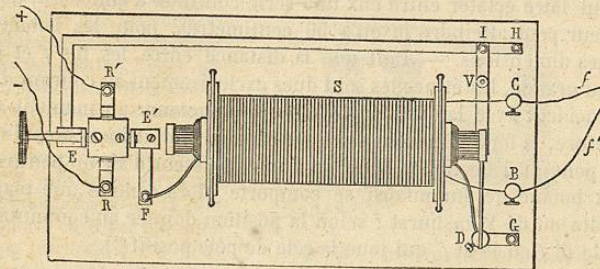
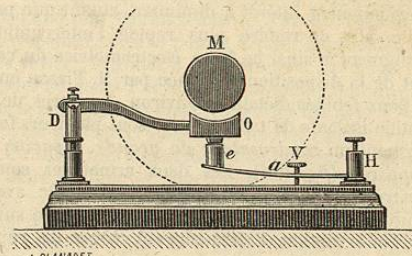


Fig. 643.

par un cylindre de cuivre vertical qui est supporté par une lame métallique. — Le courant, après avoir suivi l'enclume e et le marteau O, passe de D dans la bobine inductrice (fig. 645), sort par le fil qui aboutit à la borne F, et retourne à la pile après avoir traversé le commutateur.



Voici maintenant comment fonctionne l'interrupteur. — Dès que, par le jeu du commutateur (note de la page 678), le courant inducteur est établi, le faisceau de fer s'aimante, attire la tête O du marteau, lui fait