

CHAPITRE VI

PRODUCTION DE LA FORCE ÉLECTROMOTRICE

924. **Machines électriques à frottement.** — Dans les chapitres précédents nous avons étudié les effets résultant de l'existence de charges électriques sur des corps ou de différences de potentiel entre des points, sans indiquer comment on peut réaliser ces conditions. C'est l'étude des principaux moyens de réalisation de ces conditions que nous allons étudier maintenant.

Les appareils dont nous avons à nous occuper peuvent se diviser en deux groupes suivant qu'ils ont pour effet principal d'amener un corps à un très haut potentiel ou de donner naissance à un courant. En réalité, la différence est plus apparente que réelle, car dans les deux cas on arrive à reproduire entre deux points une certaine différence de potentiel, et la distinction basée sur la valeur plus ou moins considérable est théoriquement de peu d'importance; il en est de même de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle se rétablit cette différence de potentiel lorsque l'équilibre électrique a été rétabli. Mais, dans la pratique, la distinction est importante, et les appareils des deux groupes ont des applications très différentes; aussi convient-il de les étudier séparément.

Les machines électriques sont des appareils destinés à amener un corps à un haut potentiel, à lui communiquer une forte charge électrique: les machines employées actuellement sont basées les unes sur l'électrisation par le frottement, les autres sur l'électrisation par influence; nous nous occuperons d'abord des premières.

925. — Le type des machines électriques à frottement est la machine de Ramsden (fig. 435), machine classique sur laquelle nous pouvons passer rapidement.

Dans cette machine, par la rotation du plateau de verre P entre les coussins C, C, le plateau s'électrise positivement et les coussins négativement; mais ceux-ci sont mis en communication permanente avec le sol et sont maintenus constamment à l'état neutre, ce qui permet la continuation de l'action qui cesserait, sans cela, dès que les coussins auraient atteint une certaine charge. Le plateau de verre passant entre les peignes a, b armés de pointes agit par influence sur ces peignes et sur les conducteurs métalliques A, B portés par des pieds isolants: les conducteurs se chargent positivement, et par les pointes il se produit un retour à l'équilibre électrique qui, ramenant le plateau à l'état neutre, lui permet de s'électriser de nouveau par son passage ultérieur entre les coussins. Un électroscope de Henley, petit pendule à balle de sureau E,

permet de se rendre compte du degré d'électrisation; celui-ci ne peut, d'ailleurs, dépasser une certaine limite, car les pertes par l'air et par les supports croissent avec la charge même et, lorsque celle-ci a atteint une certaine valeur, l'action de ces pertes compense l'augmentation d'électrisation due à l'action du frottement.

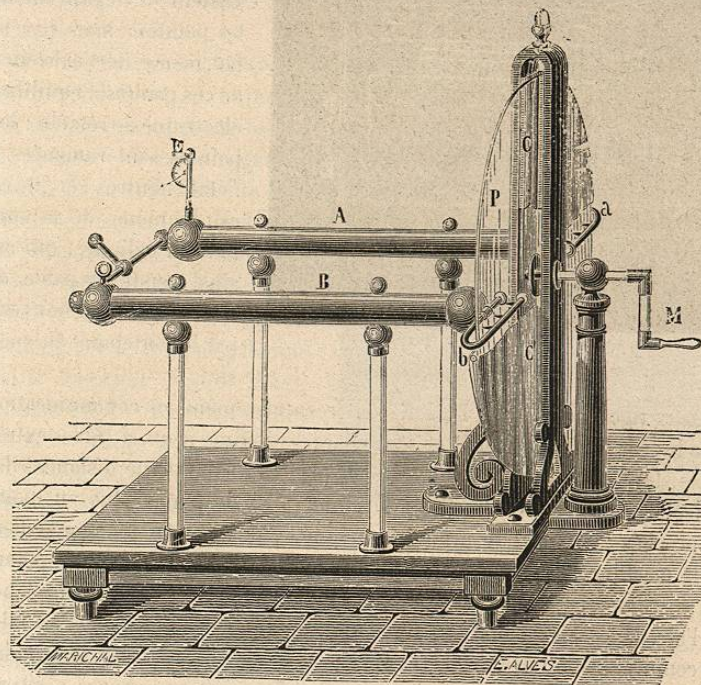


Fig. 435.

Lorsqu'on veut électriser un corps, on le met en communication avec les conducteurs par l'intermédiaire d'une tige métallique.

Cette machine produit seulement l'électrisation. Elle a été employée pour les bains statiques (880); mais, actuellement, on la remplace généralement par une machine à influence.

926. — Dans certaines circonstances, il peut être nécessaire d'obtenir à volonté l'électrisation positive ou l'électrisation négative: on peut alors employer la machine de Nairne, basée absolument sur le même principe et qui ne diffère de la précédente que par quelques dispositions matérielles.

La machine de Nairne comprend un cylindre de verre C (fig. 436) que l'on peut faire tourner autour de son axe: ce cylindre est placé entre deux conducteurs métalliques A et B portés sur des pieds isolants. L'un d'eux A porte un coussin contre lequel frotte le cylindre; par suite du

frottement, le cylindre s'électrise positivement et le coussin négativement. L'autre conducteur B porte un peigne muni de pointes : lorsque la partie électrisée du cylindre passe devant le peigne, il se produit d'abord un

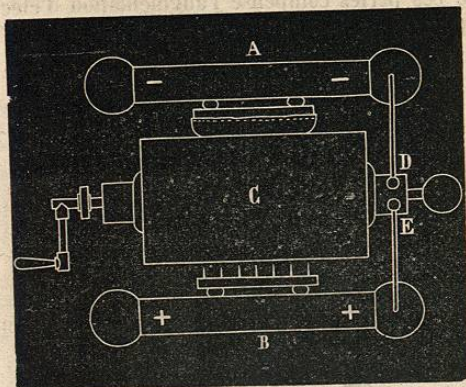


Fig. 436.

effet d'influence qui électrise positivement le conducteur et négativement les pointes ; mais par le fait même de l'existence de ces pointes, l'équilibre électrique se rétablit ; les pointes sont ramenées à l'état neutre, et il en est de même de la surface du cylindre, qui est ainsi rendu capable de s'électriser à nouveau par le frottement du coussin.

Deux tiges métalliques D et E sont respectivement en communication avec les conducteurs A et B et sont chargées comme ceux-ci. Si les extrémités, terminées par des sphères, sont placées à une petite distance, des étincelles éclateront entre elles à des intervalles de temps plus ou moins rapprochés : cet effet se produira lorsque, par suite du fonctionnement de la machine, il y aura entre les sphères D et E une différence de potentiel correspondant à des tensions assez grandes pour vaincre la résistance de l'air. Mais, en général, les tiges sont écartées, et l'une d'elles est mise en communication avec la terre ; si c'est la boule D, le coussin sera maintenu à l'état neutre et les conducteurs B et E auront une charge positive, l'effet sera le même que dans la machine de Ramsden ; mais si, au contraire, c'est le conducteur E qui est relié au sol, ce qui le maintiendra à l'état neutre, les conducteurs A et D seront chargés négativement et produiront l'électrisation négative des corps qu'on y reliera par une tige métallique.

La mise en rotation du plateau de verre de la machine de Ramsden ou du cylindre de la machine de Nairne ne peut être produite et entretenue que par l'action d'une force appliquée à la manivelle : il y aura donc nécessairement dépense d'une certaine quantité de travail mécanique, et la production de la différence de potentiel est la conséquence de cette dépense. Il y a transformation de l'énergie actuelle dépensée sous forme mécanique en énergie potentielle correspondant aux charges manifestées, énergie potentielle qui passe à l'état actuel lors de la décharge, par étincelle, par exemple. La transformation n'est pas totale d'ailleurs, car une partie du travail mécanique se transforme en chaleur, notamment, celle-

ci se manifestant, comme dans tout frottement, par une élévation de température des corps en contact.

927. **Electrophore. Machines à influence.** — La plus simple des machines à influence est l'électrophore : cet appareil comprend essentiellement un disque de matière isolante A (fig. 437) et un plateau P métallique, ou en bois recouvert d'une feuille de métal, et porté par un manche en verre.

On électrise, en le battant avec une peau de chat, le disque isolant qui est généralement en résine ou en ébonite (caoutchouc durci) ; ce disque s'électrise négativement. Si on approche le plateau, celui-ci subira l'influence et présentera sur ses deux faces des électrisations opposées ; mais si on le met en communication avec le sol, par exemple en le touchant avec le doigt, on sait qu'il conservera seulement la charge positive (837).

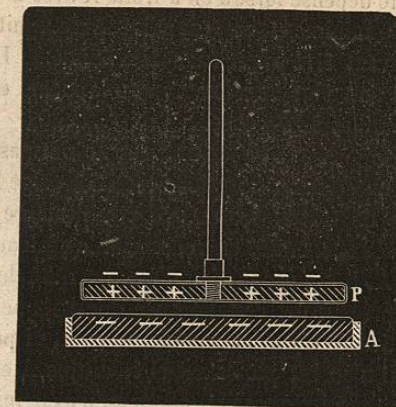


Fig. 437.

Si alors on rompt la communication avec le sol, puis qu'on soulève ensuite le plateau, celui-ci reste chargé positivement ; cette charge peut alors être utilisée, quoiqu'elle ne soit pas très forte : elle peut, par exemple, donner une étincelle et a été quelquefois utilisée dans les eudiomètres pour provoquer la combinaison d'un mélange de gaz.

Comme nous l'avons dit (837), dans ces conditions la charge A n'a pas été modifiée s'il n'y a pas eu contact entre les deux corps : on peut donc, de nouveau, abaisser le plateau P qui a été déchargé et l'action précédemment indiquée se reproduira. Théoriquement, on pourrait opérer ainsi indéfiniment, de telle sorte que la charge unique fournie à A au début peut être la cause de l'obtention d'une infinité de charges contraires sur le plateau P.

En réalité, on pose le plateau P sur le disque A, ce qui diminue la distance du corps influencé au corps influençant et augmente l'action. Si le disque A était conducteur, ce contact aurait pour effet de ramener A au même potentiel que P, c'est-à-dire à l'état neutre, puisque ce plateau est mis en communication avec le sol. Mais il n'en est pas ainsi à cause de la nature de A qui est isolant : si le contact existait en tous les points, la surface de A serait déchargée, mais l'action d'influence pourrait continuer quoique moindre, parce que l'électrisation de A n'est pas seulement superficielle, mais pénètre jusqu'à une certaine profondeur. En

réalité, il n'en est pas ainsi, et la surface de A n'est pas totalement déchargée; cela tient à ce qu'il n'y a pas contact intime entre le disque A et le plateau P qui se touchent seulement par un petit nombre de points; c'est en ces points seulement que l'équilibre électrique se rétablit à cause de la grande résistance de la résine.

928. — Quelle est dans cet appareil la cause à laquelle il faut attribuer l'obtention de l'électrisation qui se manifeste en P, et qui peut produire divers effets? Ce ne peut être absolument au travail mécanique qui a été dépensé lorsqu'on a frotté A avec la peau de chat, car cette dépense a été minime et, en tout cas, définie, limitée, tandis que les effets obtenus peuvent être reproduits indéfiniment. La réponse à cette question est d'autant plus intéressante que la même explication s'applique à toutes les machines à influence.

Supposons que le disque A ne soit pas électrisé; soulevons le plateau d'une certaine quantité: cet effet exige la dépense d'une certaine quantité de travail mécanique pour vaincre l'action de la pesanteur. Mais lorsque, ensuite, on redescend le plateau P pour le ramener au contact de A, il y a production d'une quantité de travail rigoureusement égale à la précédente, de telle sorte que lorsque P est revenu à sa position primitive, il n'y a, en somme, ni gain, ni perte de travail mécanique.

Il n'en est plus ainsi si le disque A est électrisé: le plateau P s'électrise par influence et, après qu'il a été mis en communication avec le sol, conserve une électrisation contraire à A. Soulevons-le alors: nous aurons à dépenser pour produire ce mouvement une certaine quantité de travail qui sera plus grande que celle dépensée dans le cas précédent, car il y a à vaincre non seulement l'action de la pesanteur, mais encore l'attraction qui s'exerce entre A et P, corps électrisés contrairement, car ces deux forces s'opposent au mouvement. Quand le plateau P a été déchargé, on le descend pour le ramener à la position précédente, et il y a alors restitution de travail mécanique, mais la quantité ainsi restituée est la même que dans le cas précédent, puisque P n'est plus électrisé. La dépense de travail mécanique est plus grande dans le second cas que dans le premier, tandis que le gain est le même: il y a donc effectivement dans le second cas une certaine quantité de travail non restituée, perdue, ou plutôt transformée, car c'est à cette dépense qu'il faut attribuer la production d'énergie dans le plateau P, énergie qui se manifeste lorsque l'étincelle éclate. A chaque mouvement, il y a donc dépense de travail mécanique en même temps qu'il y a apparition d'énergie potentielle correspondant à l'électrisation de P.

Donc dans ce cas, comme dans celui des machines à frottement, c'est à une dépense de travail mécanique qu'est due l'apparition de la différence de potentiel que mettent en évidence les effets que nous avons eu l'occasion d'indiquer.

929. — Les machines électriques à influence, qu'on désigne quelquefois maintenant sous le nom de machines à induction, sont généralement assez compliquées, et nous serions entraîné fort loin si nous voulions en donner une théorie complète. Aussi nous bornerons-nous, à ce point de vue, à en faire comprendre le principe à l'aide d'une disposition simple de laquelle on peut rapprocher plus ou moins complètement les principaux types en usage: c'est la machine de Varley.

Elle est constituée par un disque en ébonite AA (fig. 438) tournant dans son plan autour de l'axe C; sur ce disque sont fixés un certain nombre de pièces métalliques B_1, B_2, \dots, B_6 présentant chacune une partie saillante b . Deux lames fixes, isolées D, D' sont situées derrière le disque A; chacune d'elles porte en d, d' deux saillies métalliques qui sont touchées successivement par les parties b lors de la rotation. Enfin, aux deux extrémités du diamètre horizontal se trouvent deux pièces métalliques EE' que nous supposerons d'abord reliées au sol, mais qui, en réalité, sont réunies entre elles.

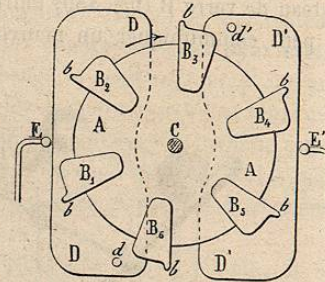


Fig. 438.

Supposons que la pièce D soit électrisée positivement et que l'on fasse tourner le disque mobile dans le sens de la flèche.

Le secteur B subit l'influence de D, et lorsqu'il vient rencontrer la pièce E, il reste chargé négativement, la charge positive passant dans le sol. Par la rotation la pièce B_1 arrive au contact avec d' et communique par son intermédiaire une charge négative à D' qui était à l'état neutre. Mais D' va agir par influence sur le secteur qui, lorsqu'il aura touché E', restera électrisé positivement. Ce secteur positif arrivera en d qu'il touchera; la pièce D est déjà électrisée positivement, mais, par suite de la charge négative des secteurs qui ont dépassé E, cette charge ne sera pas répartie uniformément et la plus grande partie sera vers l'extrémité supérieure de D; la charge vers d sera donc faible et le secteur positif qui arrive en B_6 cédera une partie de sa charge à D dont l'électrisation augmentera, par suite. Le secteur B_1 se retrouvera alors à sa première position; mais à la suite de cette première révolution, la charge de D aura augmenté et le plateau D' qui était à l'état neutre sera électrisé négativement.

On conçoit aisément que des effets analogues se produiront à chaque révolution, augmentant chaque fois la valeur des charges de D et de D'.

On voit que les contacts en E et E' ont lieu au même instant et qu'ils ont pour effet de produire des charges contraires; aussi, au lieu de mettre ces pièces en contact séparément avec le sol, on peut les réunir l'une à

l'autre : les actions opposées qui se manifestent se neutraliseront et, après chaque contact, les deux pièces E et E' seront ramenées à l'état neutre ainsi que la tige qui les réunit, ce qui est une condition nécessaire.

Enfin on comprend qu'il n'y aurait pas une modification essentielle au mode de fonctionnement de la machine si partout les pièces qui doivent venir au contact étaient remplacées par des pointes qui auraient également pour effet de rétablir l'équilibre électrique.

930. **Machine de Holtz.** — La machine de Holtz se compose d'un plateau de verre B (fig. 439) tournant autour d'un axe horizontal auquel on peut communiquer un mouvement de rotation assez rapide, 8 à 10

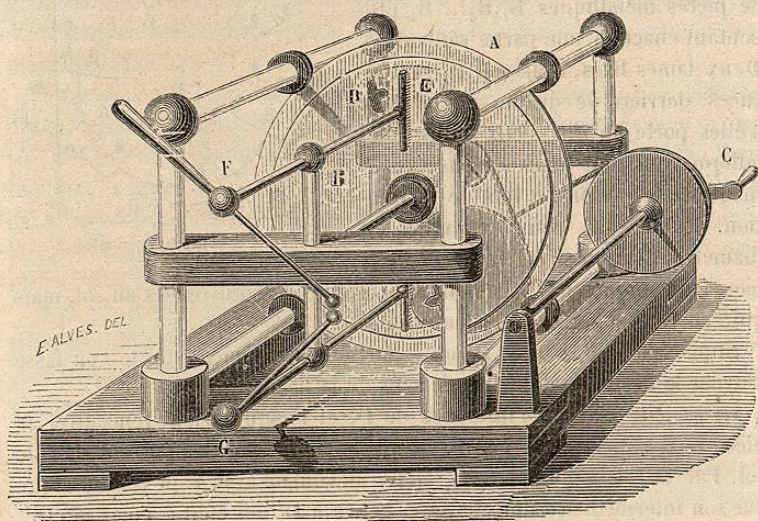


Fig. 439.

tours par seconde, à l'aide d'une manivelle C. Parallèlement et à une faible distance se trouve un autre disque de verre fixe A, percé en son centre d'une ouverture dans laquelle passe librement l'axe du plateau mobile. Le disque fixe A présente en outre aux extrémités d'un même diamètre deux ouvertures ou fenêtres. Des armatures de papier collées sur la face externe du disque sont prolongées dans chaque fenêtre par deux parties en pointe dirigées l'une et l'autre en sens contraire de la rotation du plateau. De l'autre côté de ce plateau, en face des fenêtres, se trouvent des peignes montés à l'extrémité de conducteurs F et G portés par des pieds isolants.

Pour faire fonctionner la machine, on électrise l'une des armatures en papier en la mettant en contact avec un bâton de résine préalablement frotté avec une peau de chat : le bâton de résine peut être remplacé par une plaque d'ébonite. On met en rotation le plateau mobile et, comme

dans la machine de Varley, la charge augmente progressivement sur cette armature, et une charge contraire paraît et croît sur l'autre armature. Au début de l'opération, il faut maintenir en contact les conducteurs F et G ; mais lorsque les armatures ont atteint une certaine charge, on peut écarter les conducteurs, et des séries d'étincelles ou d'aigrettes apparaissent entre leurs extrémités.

Dans ces conditions, la machine fournit une assez grande quantité d'électricité, mais la différence de potentiel est peu élevée et les étincelles, nombreuses, sont maigres et de faible longueur. Lorsqu'on veut obtenir des effets plus puissants, on relie les deux conducteurs aux deux armatures d'un condensateur : la machine charge le condensateur et lorsque la charge a atteint une valeur suffisante les deux armatures sont ramenées à l'état d'équilibre électrique par une étincelle qui est très nourrie parce qu'elle correspond à la charge tout entière du condensateur (841) ; mais par contre, nécessairement, les étincelles n'éclatent pas aussi fréquemment.

En réalité, la disposition n'est pas tout à fait aussi simple, et on emploie deux condensateurs dont les armatures extérieures sont reliées entre elles par l'intermédiaire d'une tige métallique, et dont les armatures extérieures sont reliées respectivement aux tiges F et G.

On emploie fréquemment maintenant un modèle de cette machine à quatre plateaux : il comprend en somme la réunion de deux machines identiques mises à côté l'une de l'autre de manière que les disques fixes soient parallèles et à une petite distance. Le mode de fonctionnement est le même que dans la machine simple, mais le débit est deux fois plus grand.

L'amorçage de la machine est quelquefois peu aisé ; l'humidité de l'atmosphère notamment peut rendre le fonctionnement de l'appareil très difficile, quelquefois même impossible. Mais la machine donne de bons résultats lorsqu'elle est amorcée.

931. **Machine de Wimshurst.** — Parmi les machines à influence qui sont le plus souvent employées, surtout pour les applications médicales, il faut citer la machine de Wimshurst (fig. 440).

La machine de Wimshurst se compose de deux plateaux de verre placés parallèlement à une petite distance et tournant en sens contraire autour du même axe. Ces plateaux présentent collées sur les faces externes des lames d'étain en forme de bandes disposées suivant des rayons : une tige métallique portant des balais également métalliques est disposée en face de chaque plateau, de manière que les balais touchent la surface en deux points diamétralement opposés et que les diverses bandes métalliques viennent successivement les rencontrer. Ces deux tiges sont inclinées de manière à être symétriquement placées par rapport à la verticale. Enfin des peignes, disposés comme ceux de la

machine de Ramsden, existent aux extrémités du diamètre horizontal et embrassent à la fois les deux plateaux; ces peignes sont reliés à des conducteurs entre lesquels éclatent les étincelles.

Pour augmenter les effets obtenus, ces conducteurs sont souvent reliés à des condensateurs, comme dans la machine de Holtz; pour les machines

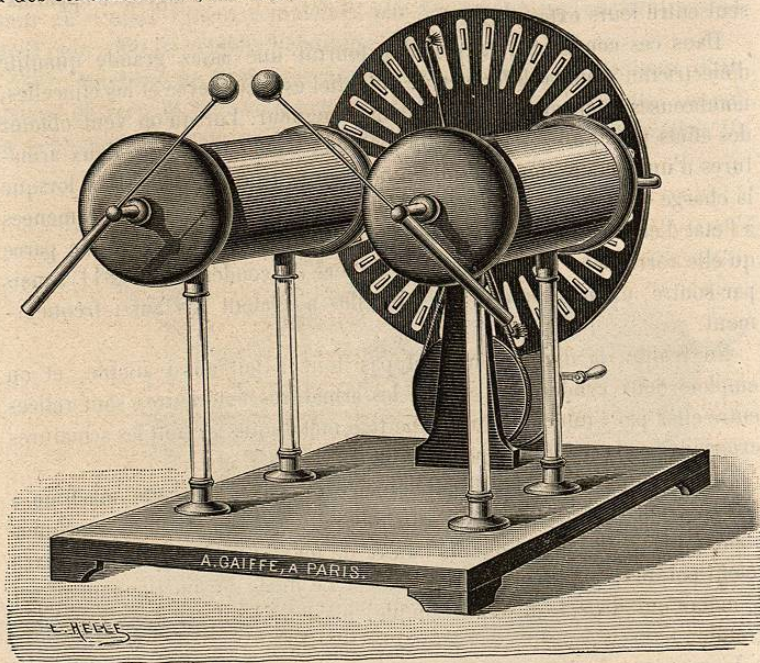


Fig. 440.

destinées aux applications médicales, M. Gaiffe a remplacé ces condensateurs par des conducteurs de surface relativement grande.

932. Des couples ou éléments électriques. — Lorsqu'une machine électrique fonctionne d'une manière continue, elle arrive comme nous l'avons indiqué à un régime permanent; on a calculé le débit qu'elle fournit dans ces conditions: il est très petit. Dans un exemple cité par M. Joubert, une machine de Holtz double débitait seulement 0,00017 coulomb par seconde; cette électricité pouvait cependant produire des effets notables à cause de la grande différence de potentiel qui accompagnait son mouvement, différence de potentiel qui était de 4800 volts environ.

Comme nous l'avons dit, il existe des appareils basés sur des principes différents qui produisent des effets qui se manifestent dans des conditions inverses, étant susceptibles de produire beaucoup d'électricité dans un temps donné mais avec une faible différence de potentiel; ces appareils sont désignés sous le nom générique de *couples* ou d'*éléments* de pile,

et on appelle *pile* la réunion d'un certain nombre d'éléments diversement groupés. On construit enfin maintenant, sous le nom de machines d'induction, des appareils qui peuvent donner à la fois un grand débit électrique et une grande différence de potentiel; mais, comme on le verra, ce dernier résultat n'est pas la conséquence d'une action simple, mais bien d'un groupement convenablement fait de parties élémentaires ne produisant chacune qu'une faible différence de potentiel.

Nous avons vu, dans le chapitre précédent, que les courants peuvent produire des effets calorifiques, chimiques, mécaniques, magnétiques; inversement des actions calorifiques, chimiques, mécaniques, magnétiques peuvent faire naître des différences de potentiel et par suite des courants: il y a reversion.

933. Thermo-électricité. — Occupons-nous d'abord des actions calorifiques: on peut aisément comprendre que l'échauffement (ou le refroidissement), en un point d'un conducteur homogène, ne peut créer de part et d'autre de ce point une différence de potentiel, car l'existence de celle-ci correspond à une asymétrie dont on ne pourrait trouver l'explication dans les conditions de l'expérience.

Par contre, on conçoit qu'une différence de potentiel puisse apparaître lorsqu'il se manifestera une asymétrie dans la répartition de la chaleur dans un conducteur: c'est le cas, par exemple, qui se présente, lorsqu'on met en contact les extrémités de deux fils métalliques dont l'un a été chauffé. Mais dans ce cas, la différence de potentiel ne se maintient pas, parce que, par suite de la conduction, la chaleur se répartit bientôt également dans les deux parties mises en contact.

Il n'en est pas de même lorsqu'on réunit deux métaux différents et qu'on porte le point de contact à une température différente de celle que présentent les autres parties de ces métaux; il y a une répartition de la température qui est et se maintient différente des deux côtés du point soumis à l'action calorifique, à cause de la différence de nature des corps; on conçoit qu'à cette asymétrie de répartition calorifique puisse correspondre une asymétrie de répartition électrique.

L'expérience montre que, dans ce cas, cette asymétrie électrique existe: il se manifeste une différence de potentiel.

Disons, sans insister toutefois, qu'il n'est pas nécessaire d'employer des corps de nature différente, mais que le même effet se manifeste si l'on fait usage d'un corps présentant entre divers points des différences dans les propriétés physiques.

Étant donné le rôle que joue ainsi la température de corps différents aux points de contact ou de soudure, on ne peut prévoir absolument ce qui arriverait si l'on formait un circuit avec deux métaux A et B soudés à une extrémité et chauffés, par exemple, en ce point; le circuit ne pourrait être fermé que par la production d'une soudure nouvelle au moins

si l'on réunissait directement les extrémités libres de A et de B, de deux ou d'un plus grand nombre, si l'on interposait un ou plusieurs conducteurs; la question est complexe.

Aussi est-il préférable d'étudier un système formé d'un barreau B d'un certain métal soudé à ses deux extrémités à deux barreaux d'un autre métal A, A' : il sera donc possible de fermer le circuit sans soudure nouvelle, en réunissant directement les extrémités libres de A, A' ; si on réunit ces extrémités par un fil d'une autre nature, on aura deux soudures, mais qui seront identiques, au sens près, et dont par conséquent les effets devront s'annuler s'il y en a.

L'ensemble des trois barreaux ABA' constitue un *couple thermo-électrique* : ce couple peut produire et maintenir entre ses extrémités une différence de potentiel lorsque les soudures qu'il comprend sont portées et maintenues à des températures différentes. Il constitue donc un électromoteur (827); les extrémités libres des barreaux A, A' sont les pôles du couple.

On reconnaît que la valeur de la différence de potentiel observée varie avec les températures des soudures et que, comme il était d'ailleurs facile de le prévoir, elle change de sens si l'on intervertit ces températures. Il n'existe pas une relation simple entre les deux éléments; cependant, entre certaines limites, la différence de potentiel croît en même temps que la différence de température ¹ et même si la variation est faible, on peut admettre qu'il y a sensiblement proportionnalité.

934. — On met généralement en évidence l'existence des phénomènes thermo-électriques à l'aide de l'étrier de Seebeck (fig. 441); cet appareil est constitué par un cadre formé de deux métaux différents A B et C D C soudés aux points de jonction; on place le cadre dans la direction du méridien magnétique et on

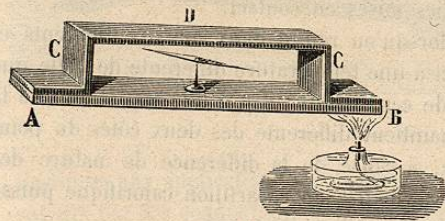


Fig. 441.

y introduit une aiguille aimantée portée sur un pivot. Cette aiguille est déviée lorsqu'on établit une différence de température entre les deux

1. Pour deux métaux donnés, la différence de potentiel E est donnée par la formule

$$E = A (t_2 - t_1) \left(t_0 - \frac{t_2 + t_1}{2} \right)$$

dans laquelle t_1 et t_2 sont les températures auxquelles sont maintenues les deux soudures; A et t_0 sont des constantes dépendant de la nature des métaux constituant le couple; la température t_0 est désignée sous le nom de *point neutre*; elle jouit de propriétés particulières que la discussion de la formule met en évidence.

soudures : le sens de la déviation est le même d'ailleurs soit qu'on chauffe B, soit qu'on refroidisse A, c'est le sens de la différence de température qui intervient. Pour la même raison, la déviation change de sens quand on change la soudure échauffée.

La déviation de l'aiguille indique l'existence d'un courant et nous pouvons dire que, dans le couple thermo-électrique considéré, il existe une FEM produisant la variation de potentiel nécessaire à l'établissement du courant. Cette FEM est toujours assez faible, mais comme, d'autre part, le couple constitué entièrement par des métaux, corps très conducteurs, a peu de résistance, il peut être utilisé avantageusement dans quelques cas pour la production de courants électriques.

935. — Dans les indications générales données sur les courants dans les chapitres précédents, nous avons toujours indiqué que nous prenions un électromoteur quelconque, sans rien spécifier sur sa nature : le courant produit est toujours le même, quelle que soit la cause à laquelle est due la différence de potentiel qui lui donne naissance; c'est même cette remarque qui explique et justifie l'introduction de la force électromotrice. Il n'y a donc pas lieu de parler de courants thermo-électriques : il y a des couples thermo-électriques, c'est-à-dire des électromoteurs qui produisent une différence de potentiel sous l'influence de la chaleur; mais les courants auxquels ils donnent naissance ne diffèrent en rien des courants produits par tout autre électromoteur : ce sont des courants électriques, sans qualification spéciale.

Les couples thermo-électriques peuvent se grouper de diverses manières, et on peut leur appliquer tout ce que nous avons dit sur ces groupements en général.

936. **Piles thermo-électriques.** — Au début, les piles thermo-électriques formées par la réunion d'un certain nombre de couples, ont été utilisées pour l'étude des lois relatives au courant, à cause de leur faible résistance. Depuis, on a cherché à s'en servir comme source pratique de courants électriques; mais des difficultés se sont présentées, notamment à cause des détériorations diverses qui se manifestaient dans les soudures soumises à l'action prolongée de la chaleur. Deux modèles paraissent cependant susceptibles de donner de bons résultats; nous les décrirons sommairement.

La *pile Noé* est formée par des barreaux cylindriques constitués par un alliage de zinc et d'antimoine, reliés entre eux par des fils de maillechort; ces fils unissent l'extrémité centrale d'un barreau à l'extrémité périphérique d'un barreau voisin, de telle sorte que les éléments sont montés en série; les barreaux sont placés horizontalement suivant les rayons d'un cercle au nombre de 12 à 20; à l'extrémité centrale, ils sont terminés par un fil de cuivre et ce sont ces fils qui sont soumis à l'action de la flamme, source de chaleur, les soudures étant ainsi échauffées seulement par