La figure 1052 montre les stries dans l'acide carbonique à un quart de millimètre de pression; la couleur est verdâtre, et les stries n'ont pas la même forme que dans l'hydrogène. Dans l'azote, la lumière est jaune-rouge.

Expériences de Plücker. — Plücker, qui a étudié la lumière des tubes de Geissler, a trouvé qu'elle ne dépend pas de la substance des électrodes, mais de la nature du gaz ou de la vapeur qui est dans le tube. Il a constaté aussi que les lumières fournies par l'hydrogène, l'azote, l'acide carbonique, etc., diffèrent beaucoup, quant au spectre qu'elles fournissent, lorsqu'on les fait passer au travers d'un prisme.

1117. Application de la bobine de Ruhmkorff. — Fusée de Stateham — M. Stateham, ingénieur anglais, a trouvé que, lorsqu'un fil de cuivre AB (fig. 1033) est recouvert de gutta-percha sulfurée, il se forme, au bout de quelques mois, au contact du métal et de son enveloppe, une couche de sulfure

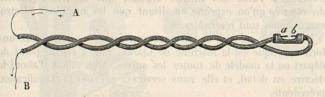


Fig. 1055.

de cuivre qui suffit pour conduire le courant. En effet, si, en une partie quelconque du circuit, on coupe la moitié supérieure de l'enveloppe, puis que, dans
l'échancrure ab ainsi formée, on enlève un morceau du fil de cuivre de 6 millimètres de longueur, un courant intense qui passe dans le fil est interrompu
de a en b, mais passe par le sulfure qui adhère à la gutta et le fait entrer en
ignition. D'où il résulte que si, dans la cavité ainsi creusée, on met un corps
inflammable, comme du coton-poudre ou de la poudre à canon, ce corps prend
feu : de là le nom de fusée de Stateham donné à cet appareil.

Pour faire partir la fusée avec un courant voltaïque, il faudrait une pile très puissante. Mais si l'on fait usage de la bobine de Ruhmkorff, on obtient les mêmes effets avec deux couples de Bunsen. La décharge de la bobine entre les points a et b suffit pour enflammer la fusée.

CHAPITRE XII

APPLICATIONS DE L'ÉLECTROMAGNÉTISME ET DE L'INDUCTION.

MACHINES ET MOTEURS ÉLECTROMAGNÉTIQUES.

1118. **Définitions**. — On comprend sous le nom général de machines électromagnétiques des appareils qui transforment le travail

1115. **Effluve électrique**. — On nomme effluve électrique le passage silencieux et sans chaleur apparente de l'électricité à travers un milieu gazeux.

En passant à travers les gaz sous la forme d'effluve, l'électricité donne naissance à des réactions chimiques remarquables, qui dépendent beaucoup de la forme sous laquelle agit la décharge. M. Berthelot a fait une étude approfondie de ces effets et en a découvert les lois expérimentales.

1116. **Tubes de Geissler**. — Lorsqu'on fait passer la décharge de la bobine dans des tubes de verre contenant une vapeur ou un gaz très raréfiés, la

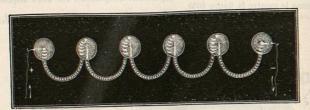


Fig. 1051.

lumière électrique présente un aspect remarquable. Elle apparaît sous la forme de zones (ou strates) alternativement brillantes et obscures, formant comme une pile de lumière entre les deux électrodes. Ces phénomènes, qui ont été étudiés par Masson, Grove, Gassiot, Plücker, etc., se produisent dans des tubes fermés, de verre ou de cristal, construits pour la première fois par Geissler. On y introduit un gaz ou une vapeur; puis, avant de les fermer, on y fait le vide à un demi-millimètre au moyen d'une machine pneumatique à mercure. Enfin, aux deux extrémités des tubes sont soudés deux fils de platine qui y pénètrent de 1 à 2 centimètres.

Aussitôt qu'on fait communiquer ces fils avec les pôles de la bobine de

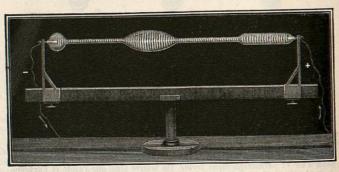


Fig. 1032.

Ruhmkorff, il se produit, dans toute la longueur des tubes, de magnifiques stries brillantes, séparées par des bandes obscures. Ces stries varient de forme, de couleur et d'éclat, avec le degré de vide, la nature du gaz ou de la vapeur, et les dimensions des tubes. Souvent le phénomène prend encore un

mécanique en magnétisme et en électricité par l'intermédiaire de l'induction magnéto-électrique : suivant que l'induction est produite par des aimants permanents ou par des électro-aimants, les machines sont appelées magnéto-électriques ou dynamo-électriques, On les divise également en machines à courants alternatifs et en machines à courants continus, suivant que les courants induits sont recueillis et utilisés tels qu'ils se produisent, c'est-à-dire alternativement directs et inverses, ou bien qu'ils sont redressés. c'est-à-dire envoyés tous dans le même sens, comme un courant voltaïque, dans le circuit extérieur.

Les moteurs électromagnétiques sont des machines qui transforment, au contraire, le magnétisme et l'électricité en travail mécanique. Nous verrons que cette transformation inverse peut s'opérer à l'aide des mêmes organes que la transformation directe : ce qu'on exprime en disant que les machines électromagnétiques sont réversibles.

Le premier appareil de ce genre qui ait été réalisé sous une forme pratique est la machine de Clarke. Elle a été le point de départ ou le modèle de toutes les autres. Nous allons d'abord la décrire en détail, et elle nous servira à préciser la classification précédente.

1119. Machine de Clarke. - 1º Historique. - Machine de Pixii. - La découverte de l'induction, par Faraday, date de 1850. Dès 1852, Pixii, constructeur d'instruments de physique à Paris, combina un ingénieux appareil pour réaliser les expériences de Faraday. Ce fut la première des machines magnétoélectriques; celle de Clarke ne fut qu'un perfectionnement de celle-ci.

L'appareil de Pixii se composait d'une double bobine de fils de cuivre, en forme d'électro-aimant, qui était fixée verticalement à un bâti en bois, et d'un gros aimant permanent, en fer à cheval, disposé pour tourner pôle contre pôle devant les noyaux de la bobine. Un petit organe, destiné à redresser les courants induits, était placé sur l'axe de rotation, au-dessus de la table qui supportait l'ensemble de l'appareil.

Machine de Saxton. - La pratique démontra bientôt qu'il était inutile de prendre une bobine induite aussi lourde que celle de Pixii, tandis qu'il y avait avantage à augmenter la masse et, par suite, la puissance de l'aimant inducteur. D'autre part, en renversant la proportion des poids des deux organes, inducteur et induit, il était naturel d'en renverser le mécanisme, en fixant le plus lourd et mobilisant le plus léger. C'est ce que fit Saxton. Il combina un nouveau modèle de machine à bobines horizontales, pouvant tourner devant les pôles d'un aimant fixe et couché horizontalement bout à bout. Clarke réalisa le même perfectionnement en prenant aussi une bobine mobile et horizontale, mais un aimant fixe, placé non plus bout à bout, mais verticalement.

2º Description. — L'aimant inducteur est formé d'un faisceau aimanté A (fig. 1034) très puissant, recourbé en fer à cheval; il est appliqué verticalement le long d'une planchette. En avant se trouve la double bobine induite B, B', mobile autour d'un axe hori-

zontal. Les deux moitiés de ce circuit sont enroulées sur deux cylindres de fer doux, reliés entre eux, à l'extrémité antérieure. par une épaisse plaque de fer doux V, et à l'autre extrémité, en regard de l'aimant, par une plaque de laiton. A cette dernière est fixé l'axe de l'appareil, qui porte, derrière la planchette, une poulie à laquelle on transmet le mouvement au moyen d'une courroie sans fin et d'une grande roue R à manivelle. Il se prolonge

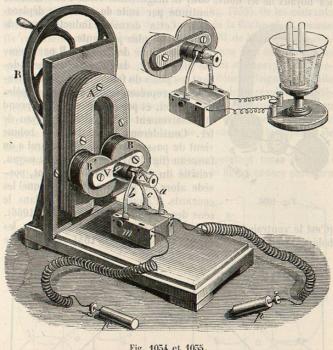


Fig. 1054 et 1055.

antérieurement par un cylindre en cuivre, fixé à la plaque de fer doux et portant le commutateur og.

Chaque bobine est formée d'un fil de cuivre très fin, recouvert de soie, et faisant jusqu'à 1500 tours. Les deux bouts antérieurs des fils des bobines viennent se souder à l'axe k (fig. 1036), et les deux autres bouts à une virole de cuivre q, qui est fixée à cet axe, mais en est isolée par un cylindre d'ivoire J. Pour que le courant induit soit de même sens dans les bouts qui se réunissent, on a soin d'enrouler les fils en sens contraires sur les deux bobines, c'est-à-dire que l'une est dextrorsum et l'autre sinistrorsum, comme le montrent les figures 996 et 997.

3° Génération du courant. — Les courants qui se développent dans les bobines B, B' sont des courants induits magnéto-électriques. Ils sont dus à deux causes : 1° à l'induction des bobines par l'aimant devant lequel elles se déplacent; 2° à l'induction par les noyaux de fer doux, dont le magnétisme varie d'une manière

continue par suite de ce même déplacement. Cette dernière induction est de beaucoup la plus puissante.

Suivons l'une des bobines, B par exemple (fig. 1056), dans son mouvement devant les pôles du faisceau aimanté. Convenons de représenter par a et b les pôles de celui-ci, et par a' et b' ceux que prend successivement l'extrémité du noyau de fer. Considérons l'instant où la bobine vient de passer devant le pôle austral a du faisceau (fig. 1037); l'extrémité du noyau, voisine du pôle austral de l'aimant, possède alors un pôle boréal dans lequel les courants d'Ampère sont dirigés dans le sens des aiguilles d'une montre (1066).

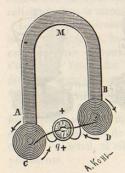
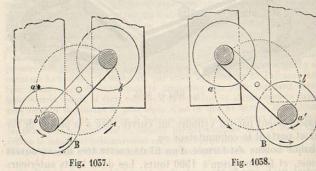


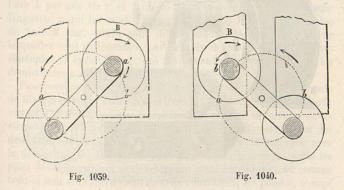
Fig. 1056.

(C'est le contraire qui est indiqué par la flèche b', parce que les bobines sont vues ici comme dans la figure 1034, c'est-à-dire



par derrière et non par devant : c'est 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.) Ces courants induisent dans le fil de la bobine des courants directs; car, la bobine s'éloignant du pôle a, l'intensité de son magnétisme (ou de ses courants particulaires) va en décroissant d'une manière continue : le courant induit garde donc toujours le même sens, jusqu'à ce que la droite qui joint les axes des bobines soit perpendiculaire à la ligne des pôles a et b du faisceau. A partir de ce moment, le novau s'approche du pôle b, et il s'aimante en sens contraire, et l'extrémité, qui était boréale pendant le premier quart de révolution, devient un pôle austral a' (fig. 1038). Or les courants d'Ampère sont alors dirigés dans le sens de la flèche a', et comme ils commencent, ils développent dans le fil de la bobine un courant induit inverse (1102, 1°), lequel se trouve être de même sens que le précédent. 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 qu'on peut considérer comme formant un courant unique, à cause de la rapidité de leur superposition.

Le même raisonnement fait voir que pendant toute la demirévolution supérieure (fig. 1039 et 1040) le fil est encore parcouru



par deux courants induits successifs de même sens et ne faisant qu'un courant unique, qui est inverse du précédent.

Tout ce qui vient d'être dit de la bobine B s'applique évidemment à la bobine B' et, grâce au mode d'enroulement des fils, elles sont parcourues l'une et l'autre pendant chaque demi-révolution inférieure par un courant de même sens, qui change pour toutes deux pendant la demi-révolution supérieure.

REMARQUE. — En considérant les aimants comme des solénoïdes et en appliquant dans ce cas la loi de Lenz (1103), on reconnaît qu'ils induisent eux-mêmes par déplacement dans les bobines des courants de même sens que les précédents. Cet effet d'induction directe se rencontre dans toutes les machines magnéto-électriques décrites ci-après.

4° Commutateur. — Principe. — Les courants induits, alternativement de sens contraire, sont appelés courants alternatifs. Si l'on veut les utiliser aux mêmes usages que les courants voltaïques, il faut nécessairement les redresser, c'est-à-dire les ramener à être toujours de même sens dans le circuit extérieur à la machine. Ce redressement s'effectue à l'aide d'un organe particulier, appelé commutateur, dont le principe est le suivant : Attacher les rhéophores du circuit extérieur, non pas à la bobine induite, mais-à deux frotteurs fixes, tels que les lames b et c (fig. 1041), auxquels

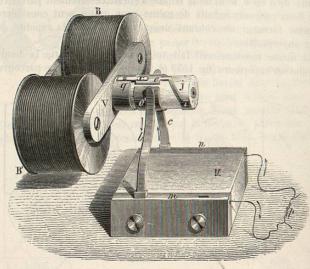


Fig. 1041.

les pôles contraires du circuit induit viennent s'appliquer successivement à chaque inversion du courant. On a construit un grand nombre de commutateurs; la forme et la combinaison des détails peuvent varier indéfiniment, mais le principe en est toujours le même : ce sont tous plus ou moins des variétés ou des copies du commutateur de Clarke, que nous allons décrire. Description. — Il se compose d'un cylindre isolant d'ivoire ou de buis J, dans l'axe duquel il y a un cylindre de cuivre k (fig. 1042), d'un moindre diamètre, fixé à l'armature V et tournant avec les bobines. Sur le cylindre d'ivoire il y a d'abord une virole de laiton q; puis, plus en avant, deux demi-viroles a, a, a, de laiton, complètement isolées l'une de l'autre. La demi-virole a communique avec

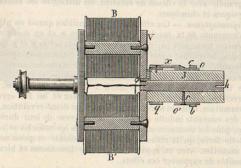


Fig. 1042.

l'axe k par une vis r, et la demi-virole o avec la virole g par une languette x qui les unit. Enfin, sur les faces latérales d'un bloc de bois M (fig. 1041) sont deux plaques de laiton m, n, sur lesquelles sont maintenues, par des vis de pression, deux lames élastiques de laiton b et c, qui s'appuient successivement sur les demi-viroles o et o' pendant la rotation.

Fonctionnement. — On a déjà vu (fig. 1036) que les deux bouts de fils qui forment l'une des extrémités du double circuit induit, viennent aboutir à l'axe métallique k, et par suite à la demivirole o', tandis que l'autre extrémité du circuit, formée par les deux autres bouts, communique avec la virole q, et par suite avec la demi-virole o. Les pièces o, o' sont donc en quelque sorte les pôles des courants qui se développent dans les bobines, et comme ceux-ci sont alternativement de sens contraires, les pôles o, o' sont eux-mêmes alternativement positifs et négatifs (fig. 1041).

Si l'on considère l'instant où la demi-virole o' est positive, le courant descend par la lame b, 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 ne peut changer de sens dans le circuit extérieur, car, en même temps qu'il est renversé dans les bobines, o est devenu positif et o' négatif.

Le support M est muni de deux garnitures métalliques latérales, qui communiquent avec les pôles b et c. C'est en deux points de ces lames que sont fixées les extrémités du circuit extérieur.

1120. Effets de l'appareil de Clarke. — Les courants fournis par cette machine produisent des effets analogues à ceux de la bobine de Ruhmkorff, mais moins intenses, parce que leur tension est moindre : cette tension peut d'ailleurs grandir avec la vitesse de rotation. On distingue les effets physiolo-

giques, physiques et chimiques.

Effets physiologiques. — Ces effets sont peu sensibles quand on utilise directement les courants de la machine. Si l'on fixe en n et en m (fig. 1041) deux hélices de cuivre terminées par deux cylindres ou manettes p et p' qu'on prend dans les mains, le courant passe dans le corps de l'expérimentateur sans effet bien appréciable. Mais si l'on a soin de disposer dans le circuit un interrupteur, c'est-à-dire une petite pièce qui interrompe le courant un grand nombre de fois par minute, il se produit, à chaque interruption, un extra-courant direct qui passe dans le corps de l'opérateur et lui fait éprouver une violente commotion. Celle-ci se renouvelle à chaque demi-révolution, et comme la tension des courants induits croît en raison inverse de leur durée, plus on tourne vite, plus les commotions sont fortes. Alors les muscles se contractent avec une telle force, qu'ils refusent d'obéir à la volonté et qu'on ne peut plus lâcher les manettes. Avec un appareil de grandes dimensions et bien construit il est impossible de supporter ces effets.

Le maximum d'intensité a lieu au moment où le plan des axes des bobines est perpendiculaire à la droite qui joint les deux pôles du faisceau aimanté; c'est alors, en effet, que le magnétisme des bobines subit sa plus grande

variation d'intensité.

Interrupteur. — Cet organe accessoire se compose d'une troisième lame élastique a (fig. 1034), et de deux appendices i qui partent des viroles o et o',



Fig. 1045.



Fig. 1044.

et sont isolés sur le cylindre d'ivoire. Toutes les fois que la lame a touche un de ces appendices, elle est mise en communication avec la lame opposée b, et le courant se trouve fermé en court circuit, car il passe alors de b en a, puis gagne la lame c par la plaque n. Au contraire, tant que la lame a ne touche pas un des appendices, le courant est interrompu, et un extra-courant prend naissance dans le conducteur qui réunit les deux plaques m et n.

Effets chimiques et effets physiques. — La figure 1053 montre comment on dispose l'expérience pour la décomposition de l'eau. La lame a est alors supprimée et le courant se trouve fermé par le liquide où se rendent les deux

électrodes.

Pour produire les effets physiologiques et chimiques, on se sert de bobines à fil fin et d'une longueur de 500 à 400 mètres. Pour les effets calorifiques, au contraire, les bobines sont à gros fil et d'une longueur de 25 à 50 mètres seulement. Les figures 1045 et 1044 montrent la forme qu'on donne alors aux bobines et au commutateur. La première représente l'inflammation de l'éther, et la seconde l'incandescence d'un fil métallique o, dans lequel passe, toujours dans le même sens, le courant allant de a en c.

1121. Perfectionnements directs de la machine de Glarke. — 1° Bobine et machine de Siemens. — La modification la plus importante qu'on ait

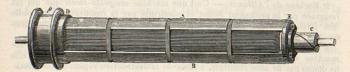


Fig. 1045.

apportée, depuis Clarke, aux machines d'induction fut la bobine construite en 1854 par Siemens et Halske. Cette bobine différait des bobines ordinaires à la fois par la forme du noyau et par le mode d'enroulement du fil.

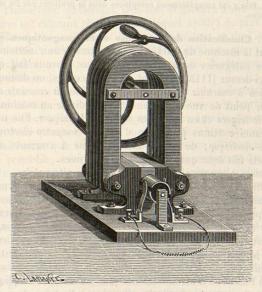


Fig. 1046.

La bobine est longitudinale, et a une longueur de 0",50 à 1",50, suivant la puissance qu'on veut donner à la machine. Le noyau est en fer doux ; il a été