

les flux des entrefers pour devenir le siège de courants induits que l'on capte dans un circuit extérieur où ils deviennent utilisables.

La machine est dite *dynamo* ou *magnéto* suivant que le système inducteur est un *électro-aimant*, (aimant temporaire de fer doux aimanté par un courant électrique qui circule autour de lui) ou un *aimant permanent* d'acier. On peut constituer un induit bipolaire au moyen d'un

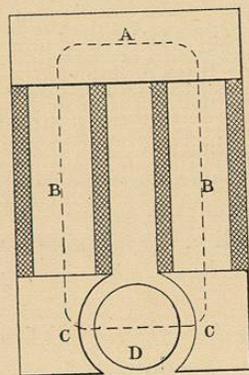


Fig. 28.

simple électro-aimant en fer à cheval (fig. 28) composé d'une culasse A, de deux noyaux B, entourés de fils, et de deux pièces polaires C. L'induit, dont nous indiquons l'âme D, doit être placé entre les deux pièces polaires dont les bouts sont alésés de manière à osculer sa surface cylindrique. L'électro-aimant et l'âme de l'induit forment un circuit magnétique, dans lequel le flux d'induction engendré par le courant excitateur traversant les spires, passe en suivant la direction moyenne indiquée sur la figure par une ligne pointillée. Les vides prismatiques arqués compris entre les pièces polaires et l'âme de l'induit

constituent les *entrefers*, qui sont traversés par un flux magnétique intense.

L'âme de l'induit ayant la forme cylindrique d'un *tambour*, on voit qu'une spire en fil de cuivre enroulée suivant une section méridienne du tambour constitue un circuit rectangulaire fermé, tournant autour de la ligne médiane parallèle à ses grands côtés. L'axe de rotation est perpendiculaire au flux de force des entrefers, flux que coupent périodiquement les grands côtés de la spire. Le circuit rectangulaire devient, par conséquent, le siège d'un courant induit alternatif. Au lieu d'une seule spire, on en emploie plusieurs, en les juxtaposant sur l'âme de l'induit suivant un enroulement régulier de manière à obtenir une bobine ; on incorpore même deux bobines dans le même circuit ; il en est ainsi dans les circuits Siemens et Edison, types les plus connus de l'*induit à tambour*, ainsi que

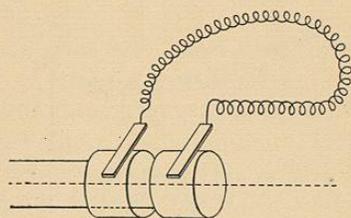


Fig. 29.

dans l'induit Gramme, type de l'*induit annulaire* dont l'âme est une couronne cylindrique, au lieu d'être un cylindre plein.

Le captage du courant *alternatif* dans le circuit extérieur, où il devient utilisable, exige l'emploi d'un *collecteur*, en connexion avec l'induit et tournant avec lui, dont les surfaces métalliques sont en contact avec des frotteurs immobiles (fig. 29) et reliés aux extrémités du circuit extérieur.

On peut aussi redresser les courants avant de les capter à l'extérieur. A cet effet on met l'induit en connexion avec les deux moitiés d'un *commutateur*, formé d'un tube fendu cintré et calé sur l'arbre de rotation (fig. 30). Deux balais frotteurs transmettent le courant au circuit extérieur, en le faisant changer de sens à chaque demi-tour. On capte ainsi un courant *ondulatoire* dont l'intensité varie périodiquement sans changer de signe.

On peut enrouler sur l'induit, au lieu de deux bobines seulement, un nombre $2N$ de bobines, disposées en poly-

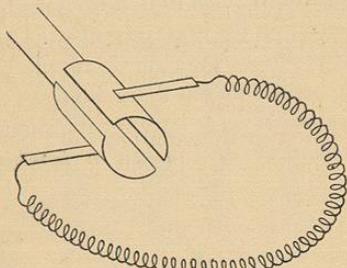


Fig. 30.

gone régulier, pour permettre le captage d'un courant sensiblement *continu*. A cet effet, on fixe sur l'arbre de rotation un tube analogue à un commutateur, mais divisé en $2N$ parties, au lieu de l'être en deux moitiés seulement ; ce tube, auquel on donne le nom de *collecteur*, est en contact avec deux balais frotteurs reliés aux extrémités du circuit extérieur. En orientant convenablement la ligne des contacts du collecteur et des deux balais, et en donnant à ces contacts une largeur déterminée, on arrive à rendre presque continu, c'est-à-dire à intensité sensiblement constante, le courant ondulatoire capté.

L'excitation de l'électro-aimant inducteur est nécessairement *séparée* lorsque l'on capte un courant alternatif ; en

d'autres termes, le courant électrique par lequel on fait parcourir le fil de l'inducteur doit être fourni par une source d'électricité indépendante de la dynamo. Mais lorsque l'on capte un courant continu, on peut recourir à l'*auto-excitation*, en empruntant à la dynamo elle-même le courant lancé dans le fil de l'électro-aimant. Cette auto-excitation peut-être faite soit en *série*, soit en *dérivation*, suivant que l'on envoie au fil inducteur la totalité ou une partie seulement du courant continu capté ; on peut aussi, en munissant d'un double enroulement le noyau de l'électro-aimant, faire l'excitation *compound*, qui est à la fois en série et en dérivation et qui permet, lorsqu'elle est bien calculée, de maintenir sensiblement constante, pour une rotation donnée de l'induit, soit la différence de potentiel entre les deux bornes de la machine, soit l'intensité du courant utilisable, malgré des variations importantes de la résistance extérieure.

Nous n'avons encore parlé que des machines bipolaires ; on fait aussi des machines *multipolaires*, avec des dispositions diverses de l'inducteur et avec d'ingénieux systèmes de bobinage de l'induit. La description et l'étude de toutes ces machines occupent une large place dans les traités d'électricité industrielle ; il est clair qu'elles seraient ici sans utilité.

Nous nous bornerons à dire quelques mots sur le *rendement* d'un générateur quelconque d'électricité, dynamo ou magnéto. Pour actionner ce générateur, il faut employer une *puissance motrice* extérieure P , fournie soit par une machine à vapeur, à gaz ou à pétrole, soit par une chute d'eau. Cette puissance motrice se divise en deux parties très inégales, dont la plus petite p représente les pertes dues aux résistances passives (frottements, hystérésis, courants de Foucault) tandis que la plus grande P' se transforme en *puissance électrique totale* de la machine. On

appelle *rendement théorique* le rapport $\frac{P'}{P}$, dont la valeur dans les meilleures machines peut atteindre 95 pour 100. Ce rendement théorique n'est pas d'ailleurs celui qui intéresse le plus les usagers de la machine ; il est clair, en effet, que la puissance électrique totale P' comprend deux parties inégales et bien distinctes, dont la plus petite p' représente la fraction *non disponible* correspondant aux pertes produites par la résistance des circuits intérieurs de la machine, tandis que la principale P'' , correspondant au circuit extérieur, est disponible et *utilisable*. C'est le rapport $\frac{P''}{P}$ qui représente le *rendement industriel* de la machine ; on peut regarder cette machine comme excellente lorsque la valeur de ce rapport atteint 90 pour 100.

41. *Induction mutuelle de deux courants.* — Nous avons vu précédemment que l'énergie d'un courant fermé dans un champ magnétique, (travail qu'il faudrait dépenser pour transporter ce courant, maintenu invariable, depuis l'infini jusqu'à sa position actuelle), a pour valeur

$$W = - I\varphi$$

I désignant l'intensité du courant, et φ désignant le flux de force magnétique qui le traverse, dans sa position actuelle, en pénétrant par sa face négative.

Supposons que le champ magnétique considéré soit celui que crée un autre courant fermé, d'intensité I' ; il est clair que le flux de force embrassé par le premier courant sera proportionnel à cette intensité I' ; nous aurons donc

$$\varphi = MI',$$

M désignant un coefficient indépendant de I' . Nous trouvons, un remplaçant φ par cette valeur,

$$W = MII'.$$

Cette énergie représente le travail qu'il faudrait dépenser pour amener les deux courants, maintenus invariables par la pensée, depuis l'infini jusqu'à leurs positions actuelles. Nous pourrions aussi calculer sa valeur en considérant l'énergie du second courant placé dans le champ magnétique créé par le premier, et nous trouverions

$$W = M'II',$$

M' désignant un coefficient indépendant de I .

En égalant ces deux valeurs de W , nous trouvons

$$M = M',$$

d'où nous concluons qu'il existe un *coefficient d'induction mutuelle* des deux courants. Pour définir d'une manière simple ce coefficient, il suffit de supposer que les intensités I et I' des deux courants deviennent l'une et l'autre égales à l'unité ; les formules précédentes donnent alors

$$W = - \varphi \text{ et } \varphi = M ;$$

par conséquent : *Le coefficient d'induction mutuelle de deux courants fermés est égal au flux de force magnétique qui traverserait l'un des circuits par sa face négative si l'intensité du courant dans l'autre circuit devenait égale à l'unité* : Ce coefficient dépend seulement des formes et des positions relatives des deux circuits, en sorte que sa nature est géométrique.

On démontre que *le coefficient d'induction mutuelle de deux circuits est toujours inférieur à la moyenne géométrique de leurs coefficients de self induction*.

42. *Principe des transformateurs.* — Lorsqu'une force motrice φ est appliquée à une machine de manière que son point d'application se déplace dans le sens de cette force avec une vitesse égale à v , le produit φv de ces deux facteurs

force et vitesse représente la *puissance mécanique* développée. Il existe beaucoup d'appareils qui permettent de transformer cette puissance, sans changer sa valeur, en un produit $\varphi'v'$ de deux autres facteurs, force φ' et vitesse v' , différents des deux premiers. Pour indiquer un exemple très simple, considérons un levier du premier genre AB (fig. 31), dans lequel le grand bras AO est double du petit bras OB ; appliquons en A la force motrice F et en B une force résistante P, double de F ; au bout d'une seconde, A

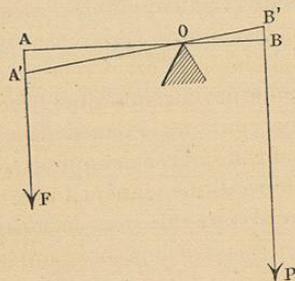


Fig. 31.

descendra en A', ayant parcouru l'arc vertical AA', tandis que B montera en B', ayant parcouru l'arc vertical BB', moitié de l'arc AA' ; la puissance motrice développée a pour valeur $AA' \times F$ et la puissance résistante vaincue a pour valeur $BB' \times P$; ces deux produits sont égaux ; nous avons donc modifié les deux facteurs force et vitesse sans changer la puissance, et cela conformément à cet adage si connu : *ce que l'on gagne en force, on le perd en vitesse*. Notre levier est un transformateur de puissance mécanique.

Cela posé, rappelons-nous que la puissance électrique est le produit EI des deux facteurs *force électromotrice* et *intensité* du courant ; par analogie avec ce qui a lieu pour

la puissance mécanique, on conçoit qu'il soit possible de transformer cette puissance électrique en une autre de même valeur qui sera le produit $E'I'$ de deux facteurs différents des premiers. En d'autres termes, étant donnée une puissance électrique disponible de I ampères sous E volts, on peut lui faire produire, dans un circuit donné, un courant de I' ampères sous E' volts. en satisfaisant à l'égalité.

$$EI = E'I'$$

Un *transformateur* est un appareil destiné à faire ainsi varier les deux facteurs d'une puissance électrique sans changer la valeur de leur produit. Prenons deux bobines en fil de cuivre, analogues à celles que nous avons sommairement décrites en parlant de l'aimantation temporaire du fer doux, ayant des nombres de spires n et n' très différents, et enchevêtrées l'une dans l'autre de manière à rendre aussi grand que possible leur coefficient d'induction mutuelle. Faisons passer dans la première, à laquelle on donne le nom de *circuit primaire*, un courant variable ; la seconde bobine, qui constitue le *circuit secondaire*, absolument indépendant et distinct du précédent, deviendra elle-même *par induction* le siège d'un courant variable, utilisable à l'extérieur. On peut assimiler le courant primaire à une machine-motrice, le courant secondaire à une machine-outil et l'induction mutuelle des deux courants comme un organisme de transmission qui reçoit le travail moteur et le communique à l'outil. Afin d'augmenter la valeur du coefficient d'induction mutuelle, on a toujours soin d'introduire à l'intérieur des deux bobines un noyau de fer doux dont la masse est convenablement divisée pour atténuer autant que possible les effets nuisibles de l'hystérésis et des courants de Foucault.

Dans un transformateur destiné aux usages industriels, le circuit primaire reçoit l'énergie électrique à faible inten-

sité et à haute tension, pour la restituer dans le circuit secondaire sous la forme d'énergie à forte intensité et à faible tension. On envoie dans le circuit primaire un courant alternatif sinusoïdal et l'on recueille dans le circuit secondaire un courant analogue et de même période. Désignons par R la résistance du circuit primaire et par I^2 la valeur moyenne du carré de l'intensité du courant envoyé dans ce circuit; soit de même R' et I'^2 la résistance et la valeur moyenne du carré de l'intensité du courant du circuit secondaire. La valeur de la puissance motrice ou primaire est RI^2 , produit de la force électromotrice $E = RI$ par l'intensité I ; celle de la puissance-outil ou secondaire est, de même, $R'I'^2$, produit de la force électromotrice $E' = R'I'$ par l'intensité I' . On aurait théoriquement, si la transformation utile de la puissance électrique était complète,

$$EI \text{ ou } RI^2 = E'I' \text{ ou } R'I'^2$$

Il n'en est pas tout à fait ainsi dans la pratique; le second membre est toujours un peu inférieur au premier, parce que dans toute machine, si bien exécutée qu'elle puisse être, il y a quelques déperditions inévitables, dues à ce qu'on appelle en général les résistances passives; mais ces déperditions sont assez faibles, dans les transformateurs industriels bien calculés et bien construits, pour que le rendement s'élève à 90 et même à 95 pour 100.

43. Bobine de Ruhmkorff. — C'est à Faraday qu'appartient l'idée première de la bobine d'induction dont Ruhmkorff a su faire, en 1851, un appareil qui donne des effets de tension tout à fait remarquables. A l'inverse des transformateurs industriels modernes, cet appareil permet de transformer une puissance motrice de grande intensité et de faible force électromotrice en une puissance induite de faible intensité et de force électromotrice considérable.

Comme le courant primaire est fourni par une pile P (fig. 32), il faut, pour obtenir des effets d'induction, le rendre intermittent; on introduit, à cet effet, dans le circuit primaire, comprenant le gros fils de la bobine un trembleur élastique, actionné périodiquement par l'attraction du noyau de fer doux qu'entourent les spires du circuit primaire. Lorsque le petit marteau de fer T prend

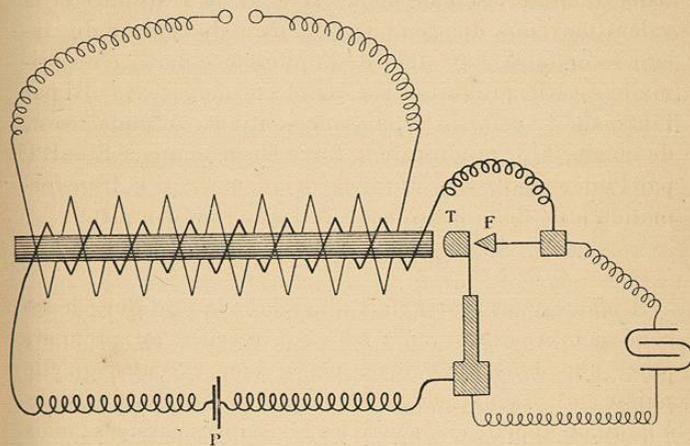


Fig. 32.

contact avec l'enclume représentée par la flèche F dans notre schéma, le courant passe dans le circuit primaire, le noyau de fer s'aimante temporairement et attire vers lui le marteau T en sorte qu'il y a rupture du courant; au bout d'un instant, l'aimantation du noyau de fer disparaît le ressort du trembleur ramène le marteau sur son enclume, en sorte que le courant passe à nouveau.

Le noyau de fer doux se compose ordinairement d'un faisceau cylindrique de fils de fer; cette division de sa masse métallique a pour objet d'empêcher autant que

possible la production nuisible des courants de Foucault.

Le circuit secondaire est enroulé par dessus le primaire ; il est à fil beaucoup plus fin que celui-ci et contient un nombre de spires considérable. Pour bien assurer l'isolement du fil de ce circuit secondaire, on l'enroule sous forme de galettes perpendiculaires à l'axe de la bobine et séparées entre elles par des cloisons isolantes ; de cette façon, il n'est pas à craindre que, par suite de la croissance de la force électromotrice d'une extrémité à l'autre du circuit induit, la différence de potentiel entre deux couches successives devienne assez grande pour faire jaillir des étincelles à travers les gaines isolantes du fil.

Fizeau a eu l'excellente inspiration d'adjoindre à la bobine un condensateur C, incorporé dans le circuit primaire, en dérivation sur l'interrupteur. Nous avons vu précédemment qu'au moment de la rupture d'un circuit parcouru par un courant, il se produit un extra-courant de rupture dû à la self-induction de ce circuit ; la rupture du circuit primaire de la bobine de Ruhmkorff est, pour ce motif, accompagnée d'une vive étincelle qui jaillit entre le marteau T et son enclume F, et qui prolonge un instant la durée du courant primaire. Le condensateur de Fizeau sert à diminuer, sinon à supprimer complètement, cet effet nuisible de la self-induction du circuit primaire, en emmagasinant à l'état statique la majeure partie de l'énergie de l'extra-courant de rupture ; le courant primaire s'éteint plus rapidement, ce qui rend plus énergique son action inductrice sur le circuit secondaire. Les électricités de noms contraires accumulées sur les deux armatures du condensateur doivent, pour se recombinaer ensuite, parcourir les spires de la bobine primaire ainsi que la pile, en donnant un courant inducteur inverse de celui de la pile et, par conséquent, favorable pour la désaimantation rapide du noyau de fer. Le condensateur, dont nous n'a-

vons donné qu'une indication schématique, est ordinairement placé sous la tablette isolante qui porte la bobine ; pour donner à chacune de ses armatures une grande surface sous un faible volume, on construit le condensateur avec deux séries de feuilles d'étain, entre lesquelles s'étendent des feuilles de carton ciré.

On démontre que *les quantités d'électricité induites dans le circuit secondaire pendant les périodes d'ouverture et de fermeture du circuit primaire sont égales.*

Le courant induit de la bobine de Ruhmkorff est alternatif, mais sa forme diffère beaucoup de celle d'un courant sinusoïdal. En prenant le temps pour abscisse et l'intensité du courant induit pour ordonnée, on obtient la représentation graphique indiquée par la figure 33. La

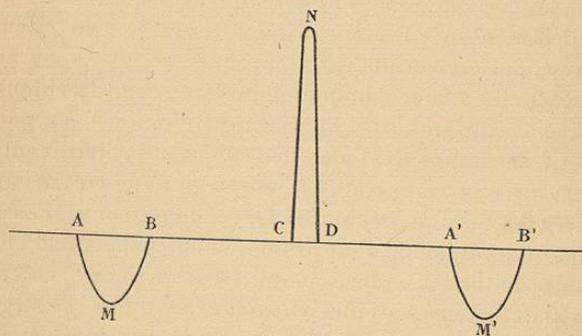


Fig. 33.

fermeture du courant primaire produit le courant induit inverse AMB ; vient ensuite un temps de repos BC ; la rupture du courant primaire produit le courant induit direct CND, et ainsi de suite. On donne aux courants de ce genre, qui sont à la fois alternatifs et interrompus, le nom de *courants faradiques*. Les surfaces circonscrites par les deux demi-ondes AMB et CND sont égales entre

elles, en vertu du théorème énoncé ci-dessus ; mais elles ne sont pas superposables ; le courant AMB dure plus longtemps mais est moins intense que le courant CND.

Pour les grandes bobines, capables de donner de longues étincelles, de charger des batteries de bouteilles de Leyde, de reproduire en général tous les effets que l'on peut obtenir au moyen des machines électrostatiques, on remplace le trembleur (interrupteur automatique actionné par la bobine elle-même) par l'interrupteur de Foucault, indépendant du circuit inducteur et mis en mouvement par un circuit voltaïque distinct. Cet appareil se compose essentiellement d'une pointe de platine, communiquant avec la pile, et d'un godet de verre contenant du mercure en communication avec le circuit inducteur ; la pointe doit osciller au-dessus du mercure, le toucher en descendant, pour fermer le circuit, et s'en séparer en remontant, pour rompre ce circuit.

L'Institut Polytechnique de Londres possède une grande bobine de Ruhmkorff qui donne des étincelles de 75 centimètres de longueur et de 2 centimètres de diamètre. Cette bobine est actionnée par une batterie de 40 éléments Bunsen. Elle a trois mètres de longueur ; son fil inducteur, de 2 mm. 4 de diamètre, a un développement de 3446 mètres ; son fil induit, de 0 mm. 4 de diamètre, a une longueur de 241 kilomètres. Trois étincelles de cette bobine suffisent pour charger une batterie de Leyde ayant une surface d'armature de 4 mètres carrés $\frac{1}{2}$.

44. *Courants à grande fréquence.* — Les courants alternatifs à haute tension et à grande fréquence, dont les propriétés sont si importantes et curieuses, s'obtiennent en mettant en œuvre les phénomènes de l'induction et ceux de la décharge oscillante (n° 14).

Un des appareils les plus simples que l'on puisse employer pour obtenir ces courants est celui que représente la figure 34, auquel les constructeurs MM. Ducretet et

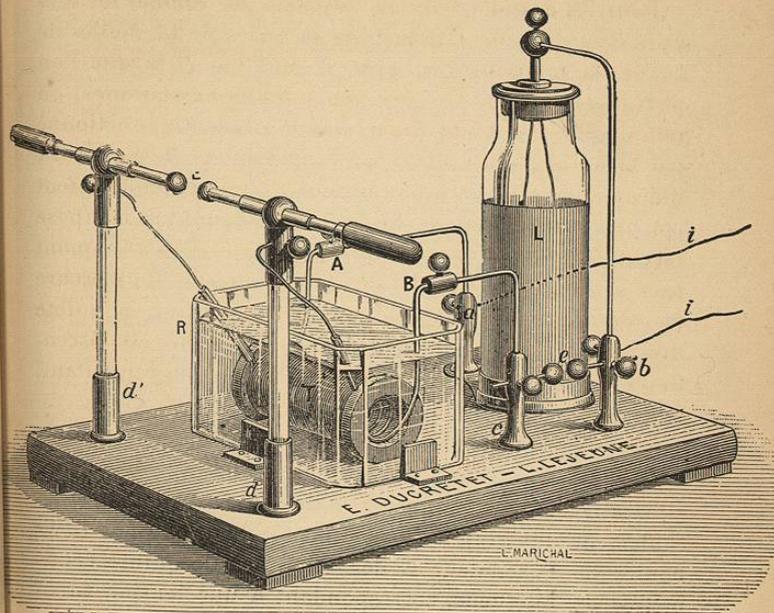


Fig. 34.

Lejeune donnent le nom de *petit appareil de Tesla*. On fait arriver en *ii* le circuit secondaire d'une bobine de Ruhmkorff, actionnée par une batterie d'accumulateurs et donnant des étincelles de 45 à 50 millimètres de longueur. Les deux armatures, intérieure et extérieure de la bouteille de Leyde L sont reliées aux extrémités *ii* de ce circuit secondaire, de manière que le courant induit de la bobine serve à la charger. Le circuit de décharge de cette bouteille de Leyde est relié en A et B au circuit primaire,

en gros fil de cuivre, d'un transformateur T, placé dans une cuve à huile R ; le circuit secondaire de ce transformateur vient aboutir aux tiges de l'excitateur E.

Le fonctionnement de cet appareil est facile à comprendre. Le courant induit de la bobine de Ruhmkorff charge la bouteille de Leyde dont la décharge se fait périodiquement, avec production d'une étincelle vive et bruyante, entre les deux boules de l'excitateur *e*, incorporé dans le circuit de décharge. Il faut remarquer, c'est là un point essentiel, que les décharges sont *oscillantes*, chacune d'elles se composant d'une série de décharges partielles, alternatives et décroissantes, qui se succèdent avec une rapidité vertigineuse (plus d'un million de décharges partielles par seconde) ; il se produit, par conséquent, dans le circuit de décharge un courant alternatif, à ondulations décroissantes, dont la fréquence est égale à celle des décharges partielles. Ce courant, en passant dans le circuit primaire du transformateur, produit par induction dans le circuit secondaire un autre courant alternatif de même fréquence mais d'une tension considérablement plus grande (1). On peut obtenir entre les deux boules de l'excitateur E des étincelles de quinze centimètres de longueur, correspondant à une tension supérieure à 125.000 volts ; et cependant il est possible d'approcher sans danger la main de cet excitateur pour en tirer des étincelles, tandis qu'il serait fort dangereux d'en faire autant sur l'excitateur *e* qui fait partie de circuit primaire.

On sait aujourd'hui que les courants alternatifs n'agissent plus sur les nerfs moteurs ni sur les nerfs sensitifs lorsque leur fréquence devient supérieure à 5.000 par

(1) La bobine à fil fin qui forme le circuit secondaire a dix fois plus de spires que la bobine à gros fil du circuit primaire. L'huile minérale dans laquelle le transformateur est plongé constitue un isolant parfait.

seconde ou, en d'autres termes, lorsque le nombre des alternances par seconde dépasse 10.000. Sans prétendre donner ici une explication tout à fait satisfaisante de ce fait singulier, nous exposerons quelques considérations qui nous paraissent de nature à l'éclaircir. On a constaté depuis assez longtemps déjà que la résistance d'un conducteur linéaire dont la section droite n'est pas très petite est plus grande pour les courants alternatifs que pour les courants continus ; cette augmentation de la résistance est d'autant plus sensible que la fréquence du courant est plus grande, ou, en d'autres termes, que le nombre des inversions par seconde est plus considérable. S'agit-il, par exemple, d'un fil de cuivre de deux centimètres de diamètre traversé par un courant alternatif à 160 inversions par seconde, la résistance sera, d'après les expériences de Sir W. Thomson, plus de sept fois celle qui correspondrait au courant continu. Les choses se passent comme si la conduction du courant alternatif était plus grande pour la partie périphérique du conducteur que pour sa partie centrale, en sorte qu'un conducteur creux pourrait remplacer avantageusement un conducteur plein. Plus la fréquence du courant alternatif est grande, plus ce courant paraît acquérir cette tendance, spéciale à l'électricité *statique*, de se porter sur la surface des conducteurs. Faut-il en conclure que les courants à très haute fréquence, appliqués au corps humain, ne se propagent pour ainsi dire qu'à la surface de l'épiderme ? C'est là une hypothèse assez logique qui expliquerait l'inertie de ces courants relativement aux nerfs sensitifs ou moteurs.

Ajoutons que la haute fréquence peut créer un véritable *champ électrostatique*. Il suffit de relier un des pôles du transformateur à une plaque métallique suspendue au-dessus du sol pour créer entre cette plaque et le sol un

champ électrostatique, dans lequel un tube de Geissler s'illumine sans être mis en communication avec la plaque. En général, le contact avec un seul pôle suffit pour actionner un circuit ouvert ayant une capacité même assez faible.

Indiquons encore que les courants de haute fréquence donnent lieu à des effets d'induction et de self-induction d'une grande intensité. Le corps d'un homme introduit à l'intérieur d'un grand solénoïde parcouru par un courant de cette nature devient le siège de courants induits, auxquels M. le docteur d'Arsonval attribue des vertus thérapeutiques et dont il fait la base du traitement appelé par lui *autoconduction*.

45. Rayons X. — Lorsque l'on fait passer la décharge d'une machine statique de Wimshurst ou d'une bobine d'induction de Ruhmkoff dans un tube dit *de Geissler*, tube de verre préalablement rempli d'air ou d'un autre gaz et dans lequel on a fait le vide jusqu'à un certain degré, on produit l'illumination de ce tube ; la coloration des lueurs ainsi obtenues est rose avec l'air, blanche avec l'acide carbonique, bleu violet avec l'hydrogène, et cætera. C'est Abria qui a, le premier, observé en 1842 des phénomènes de ce genre. Il est à remarquer que l'anode, ou pôle positif par lequel entre le courant, s'entoure d'une lueur violette, tandis qu'il existe un espace obscur à la cathode, ou pôle négatif servant à la sortie du courant. En 1865, Hittorff ayant réussi à faire le vide presque absolu dans un tube de Geissler, constata que, dans ces conditions, il était impossible d'obtenir l'illumination électrique de ce tube ; cette expérience démontrait la non-conductibilité du vide parfait ; Hittorff, observa, d'ailleurs, sans y attacher d'importance, que le verre du tube devenait *fluorescent* avec une coloration particulière. En 1879,

Crookes a remarqué que, si l'on pousse très loin la raréfaction de l'air dans les tubes, l'espace obscur environnant la cathode arrive à occuper toute l'étendue du tube et qu'en même temps le verre de ce tube devient fluorescent ; l'illustre physicien en a conclu que des rayons invisibles partant de la cathode viennent frapper la paroi opposée, quelle que soit la position de l'anode, et lui imprimant un ébranlement particulier. Crookes considère ces rayons obscurs comme matériels et attribue la fluorescence du verre à une sorte de *bombardement* opéré par la *matière radiante*. En 1894, M. Liénard a donné le nom de *rayons cathodiques* à ces radiations invisibles, dont il a découvert quelques propriétés. L'année suivante, c'est-à-dire en 1895, le docteur Rœntgen arriva, presque par hasard, à la découverte des *rayons X* (nom qu'il leur a donnés lui-même) ; ce physicien, se trouvant gêné dans une expérience par la lueur fluorescente d'un tube de Crookes, entourait ce tube d'un papier noirci et le plaça ensuite dans une chambre noire en présence d'un papier enduit de platino-cyanure de potassium ; Rœntgen eut la surprise de voir cet écran de papier s'illuminer, sans qu'aucun rayon visible s'échappât du tube, et, chose bien plus étrange, ayant interposé sa main entre le tube et l'écran, il vit l'ombre du squelette de cette main apparaître sur cet écran.

Tel est l'historique sommaire de la découverte de ces mystérieuses radiations obscures que l'on désigne sous les noms de *rayons X* et *rayons Rœntgen*. Pour améliorer le fonctionnement des ampoules de Crookes, M. H. Jackson a imaginé le *tube focus* que le professeur Silvanus Thomson a fait connaître en France. La figure 35 indique la disposition de ce tube ; la cathode concave M, au lieu de projeter les rayons cathodiques sur la paroi même de l'ampoule de verre, les projette, en les concen-

trant, sur une lame de platine M' , inclinée à environ 45° sur l'axe du tube ; c'est là que les rayons X prennent naissance. On fait aussi des tubes focus *bianodiques*, c'est-à-dire munis de deux anodes. Il est à remarquer que le degré du vide d'un tube augmente avec la durée de son

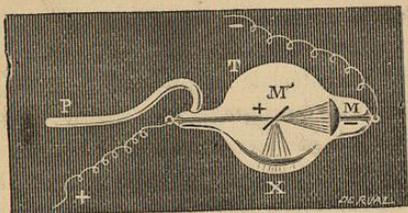


Fig. 35.

fonctionnement, parce que les molécules gazeuses qu'il contient sont absorbées en partie par les parois du verre ainsi que par les miroirs métalliques intérieurs ; le tube devient alors d'autant plus résistant que l'on se rapproche davantage du vide isolant réalisé dans les expériences de Hittorff ; on peut y remédier en chauffant doucement et bien régulièrement le tube, pour faire dégager à l'intérieur les molécules gazeuses absorbées par occlusion.

Le matériel nécessaire pour la production des rayons X se compose essentiellement d'un appareil capable de donner de longues étincelles statiques, et d'un tube de Crookes-Röntgen dans lequel on fait jaillir les décharges. On peut employer comme générateur d'électricité une machine de Wimshurst dont les conducteurs sont mis en communication avec les armatures intérieures de deux bouteilles de Leyde ; on relie alors la cathode du tube avec l'armature externe de la bouteille dont l'armature interne est réunie au pôle positif de la machine ; l'anode est reliée à l'armature externe de l'autre bouteille. Mais il est plus pratique

de recourir à la bobine d'induction de Ruhmkorff actionnée par des piles ou par des accumulateurs ; nous avons dit précédemment que les courants développés dans le circuit induit sont *inverses* (ou négatifs) à la fermeture du circuit inducteur et *directs* (ou positifs) à sa rupture ; ces courants induits, de très courte durée, sont égaux en quantité, mais la force électromotrice maximum du courant direct est très supérieure à celle du courant inverse ; lorsque la distance explosive est assez grande, les courants inverses ne peuvent pas la franchir, en sorte que les étincelles sont toutes dues à la décharge par courants directs ; il en résulte que l'on peut attribuer au circuit induit de la bobine un pôle positif et un pôle négatif, ce qui détermine le sens du courant induit. On doit avoir bien soin de mettre toujours le pôle négatif en communication avec le miroir concave qui doit constituer la cathode du tube de Crookes-Röntgen ; l'inversion du courant aurait l'inconvénient de produire un dépôt métallique à l'intérieur de l'ampoule.

Les rayons X diffèrent essentiellement de rayons cathodiques, observés par Crookes, qui obéissent à l'attraction de l'aimant, échauffent le verre et provoquent sa fluorescence sans le traverser. Les rayons X se propagent en ligne droite ; ils ne sont, pour ainsi dire, ni réfléchibles, ni réfrangibles et ne se polarisent pas ; leur propriété caractéristique est de traverser facilement un grand nombre de corps opaques (papier, peau humaine, aluminium, cellulose, ébonite, liquides, *et cætera*) ; l'os, l'ivoire et la plupart des métaux (étain, fer, cuivre, argent, or, platine, *et cætera*) sont, au contraire, peu perméables aux rayons X . Ces rayons impressionnent activement les plaques photographiques et provoquent la fluorescence de substances diverses, parmi lesquelles le platino-cyanure de baryum figure au premier rang ; il en résulte que les observations

faites au moyen des rayons Röntgen peuvent être soit *radiographiques* (par photographie), soit *fluoroscopiques* comme l'a été la première observation du docteur Röntgen. On arrive ainsi à voir, au travers du corps humain, le squelette des côtes, des vertèbres et des os du bassin, ainsi que quelques organes internes ; on peut apercevoir les corps étrangers (projectiles, aiguilles, fragments de verre), qui ont pénétré dans l'organisme. La médecine et la chirurgie ont déjà tiré grand profit de la découverte des rayons X ; il est facile de prévoir qu'elles ne s'en tiendront pas là et que d'immenses progrès seront encore réalisés dans cette voie.

DEUXIÈME PARTIE

APPAREILS ET INSTRUMENTS ÉLECTRO-MÉDICAUX

Par MM. Félix et André LUCAS