

abandonner l'enclume, et le circuit inducteur est interrompu : le faisceau de fils de fer n'étant plus aimanté, le marteau retombe par son poids, et le courant est rétabli. Ces alternatives se reproduisent indéfiniment.

Les extrémités du fil induit traversent le disque de verre de droite, et viennent aboutir aux bornes métalliques B et C (fig. 642). — Si l'on ferme le circuit induit, en réunissant les deux fils  $f$  et  $f'$  par un conducteur, chaque *fermeture* et chaque *rupture* du circuit inducteur détermine la production d'un courant induit, alternativement *inverse* et *direct*. Ces deux courants sont égaux en *quantité*, mais le courant direct a une intensité beaucoup plus grande que le courant inverse (870). — Si les deux fils  $f$  et  $f'$  sont éloignés l'un de l'autre, chacun d'eux est alternativement porté à un potentiel positif et négatif; au même instant, les potentiels des deux fils sont de signes contraires, et la différence de ces deux potentiels est égale à la force électromotrice d'induction.

Lorsqu'on rapproche suffisamment les extrémités des fils  $f$  et  $f'$ , on peut faire éclater entre eux une série continue d'étincelles, dont la longueur peut atteindre jusqu'à 50 centimètres, pour les bobines de grandes dimensions. — Tant que la distance entre les fils  $f$  et  $f'$  est un peu grande, les étincelles sont dues exclusivement au courant *direct*, et coïncident avec la *rupture* du circuit inducteur; au moment de la fermeture, la force électromotrice du courant induit inverse est insuffisante pour que l'électricité franchisse une épaisseur d'air un peu grande. — La bobine de Ruhmkorff se comporte alors comme une machine de Holtz ou de Wimshurst : selon la position donnée au commutateur, c'est le fil  $f$  ou le fil  $f'$  qui joue le rôle de pôle positif (\*).

**874. Condensateur de M. Fizeau.** — Quand on fait fonctionner la bobine d'induction telle que nous venons de la décrire, chaque fois que le marteau se relève, on voit éclater une étincelle *entre le marteau et l'enclume*. Or, il y évidemment intérêt à diminuer, autant que possible, la durée de cette étincelle, afin de rendre plus rapide l'interruption du courant inducteur; et d'augmenter ainsi la force électromotrice du courant induit direct. Tel est le but de la disposition imaginée par M. Fizeau en 1855.

Deux feuilles d'étain, d'environ  $\frac{1}{4}$  mètres de longueur, séparées par une feuille isolante de taffetas ciré, sont plusieurs fois repliées sur elles-mêmes, et forment un *condensateur de grande capacité*, qui est logé dans le socle de l'appareil (fig. 642). Les deux armatures communiquent, la première avec l'extrémité F du fil inducteur, la seconde avec l'extrémité D. — Supposons toujours que le courant aille dans la bobine suivant DF (fig. 643) : au moment de l'interruption, l'extra-courant *direct* de rupture (866) mettant l'électricité positive en mouvement dans chaque spire, suivant la direction générale DF,

(\*) Avec une bobine de grandes dimensions, on charge rapidement, en quelques secondes, une batterie de grande capacité : on relie les deux pôles  $f$  et  $f'$  aux deux armatures de la batterie, en ayant soin de ménager, sur l'un des fils de communication, une distance explosive suffisante pour intercepter le courant inverse.

les électricités positive et négative vont s'accumuler respectivement dans les deux armatures du condensateur. La plus grande partie de l'extra-courant est alors employée à charger le condensateur; une faible fraction seulement de ce courant passe de F en E', en R, à travers la pile, en R', E, H et D, et franchit, sous la forme d'une *très courte étincelle*, l'intervalle d'air qui existe entre l'enclume et le marteau : l'interruption du courant inducteur est donc presque instantanée.

Quand la *force électromotrice* de l'extra-courant n'agit plus, les électricités contraires, réparties sur les deux armatures, se recombinaient à travers le fil inducteur, en donnant un courant dont le sens général est FD; ce courant *secondaire* a pour effet de désaimanter instantanément le faisceau de fils de fer doux, et de supprimer le magnétisme rémanent. — Le condensateur de M. Fizeau rend donc plus rapides et plus régulières les oscillations de l'interrupteur.

**875. Interrupteur de Foucault.** — L'interrupteur à marteau (fig. 644) ne peut pas être employé avec les bobines de grandes dimensions, actionnées par des courants inducteurs intenses; malgré l'emploi du condensateur de M. Fizeau, l'étincelle de rupture produirait un arrachement des particules métalliques : bien que les surfaces de l'enclume et du marteau soient garnies de platine, elles seraient rapidement détériorées. — On emploie alors l'*interrupteur de Foucault* (fig. 645).

Deux pointes de platine verticales, T, S, sont fixées vers l'une des extrémités du levier TF, qui est supporté en E par une lame élastique verticale : ces deux pointes pénètrent dans deux godets qui contiennent du mercure, couvert d'une couche d'alcool. A l'autre extrémité du levier est une armature de fer F, placée à une petite distance d'un électro-aimant. Le fil de cet électro-aimant communique, par l'une de ses extrémités O, avec le pôle positif d'une pile spéciale, formée d'un ou deux éléments de Bunsen; par son autre extrémité, avec la pointe S, par l'intermédiaire de la lame élastique qui porte le levier; le godet T et le levier lui-même sont introduits dans le circuit *inducteur* de la bobine de Ruhmkorff, par les fils A et N. — Dès que le circuit de la pile spéciale de l'interrupteur est fermé, l'armature F est attirée par l'électro-aimant, en sorte que l'extrémité T du levier, en se relevant, fait sortir du mercure les deux pointes, et interrompt les deux circuits; mais, l'électro-aimant ayant alors perdu son aimantation, le levier est ramené en sens contraire par l'élasticité de la lame qui le supporte : les deux circuits sont de nouveau fermés, et ainsi de suite. — L'alcool étant très mauvais conducteur, l'interruption du circuit inducteur est instantanée, et par suite l'intensité des courants induits est aussi grande que possible.

**876. Fractionnement de la bobine induite.** — Supposons que l'on fasse fonctionner la bobine d'induction sans réunir les extrémités des fils  $f$  et  $f'$ ; de l'extrémité  $f$  à l'extrémité  $f'$ , le potentiel varie progressivement avec la

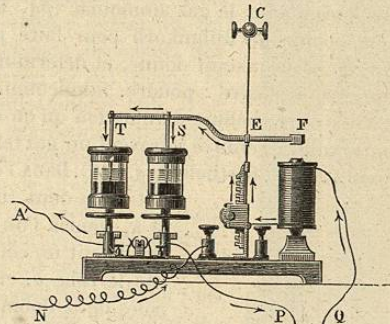


Fig. 645. — Interrupteur de Foucault.

longueur de fil parcourue; par suite, en deux points contigus appartenant à deux spires superposées, prises au milieu de la bobine, la différence de potentiel dépend de la longueur de fil parcourue par le courant, pour aller d'un de ces points à l'autre; cette longueur devient très grande pour une bobine de grandes dimensions, formée d'un fil très fin; alors, si l'intensité du courant inducteur dépasse une certaine limite, il peut arriver qu'une décharge se produise entre ces deux points, et perce la couche isolante. — Pour atténuer cette cause de détérioration, Poggendorff a proposé d'enrouler le fil de manière à constituer un certain nombre de bobines partielles, quatre par exemple, disposées sur le même axe. On peut alors employer un courant inducteur d'une intensité quatre fois plus grande, sans courir de plus grandes chances de rupture.

**877. Usages de la bobine d'induction. — Effluve électrique.** — Les bobines d'induction de petites dimensions sont employées dans les laboratoires, pour produire une série continue d'étincelles, par exemple pour décomposer le gaz ammoniac (fig. 497). — On se sert également de la bobine de Ruhmkorff pour faire jaillir à grande distance une étincelle, à un instant donné, et déterminer ainsi l'inflammation d'une substance explosive : poudre, fulmicoton, etc.

C'est avec la bobine d'induction qu'on obtient l'effluve électrique. — Pour produire l'effluve à travers un gaz tel que l'oxygène, on emploie un appareil dû à M. Berthelot (fig. 646). Dans l'espace annulaire que laissent

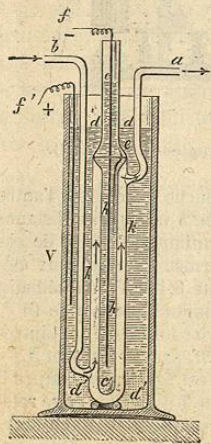


Fig. 646.  
Effluve à travers un gaz.

entre eux deux tubes de verre concentriques *h* et *k*, soudés l'un à l'autre en *e*, on fait passer lentement un courant d'oxygène : le gaz entre par le tube *b*, et sort par le tube *a*. Les deux pôles de la bobine d'induction communiquent, par des fils de platine *f, f'*, avec deux masses d'eau acidulée, *cc', dd'*, contenues, l'une dans le tube *h*, l'autre dans l'éprouvette à pied *V*. — Quand la bobine fonctionne, la couche d'eau acidulée qui est au contact de la paroi intérieure du tube *h*, et celle qui est au contact de la paroi extérieure du tube *k*, sont chargées d'électricités contraires; mais, selon que le courant induit est direct ou inverse, chacune de ces électrodes est alternativement positive et négative. Il se produit donc, dans l'espace annulaire, un champ électrique dans lequel la force électrique change de sens à chaque fermeture et à chaque rupture du circuit inducteur. Or, si l'on considère deux éléments de la surface du verre, situés vis-à-vis l'un de l'autre, leurs électricités contraires, préalablement combinées à l'état neutre, doivent se séparer, l'électricité positive se portant dans le sens de la force électrique, l'électricité négative en

sens inverse. A chaque changement de sens de la force électrique, les deux électricités se transportent d'une surface à l'autre sous forme d'une très petite étincelle. Il en est de même pour les divers points de la surface de chaque électrode, et l'on obtient ainsi une infinité de très petites étincelles. — Quand on fait l'expérience dans l'obscurité, on observe une lueur continue, dans tout l'espace compris entre les deux tubes *h* et *k*.

Lorsque l'oxygène a été soumis à l'action de l'effluve, on constate qu'une partie plus ou moins considérable du gaz s'est transformée en *ozone*.

**878. Tubes de Geissler. — Tubes de Crookes.** — Quand les deux extrémités du fil induit d'une bobine de Ruhmkorff sont en communication avec deux conducteurs placés dans un espace contenant un gaz raréfié, on observe, à chaque décharge, des lueurs qui remplissent une partie de cet espace. Si la raréfaction est poussée suffisamment loin, il se produit, entre les extrémités des conducteurs, une succession de couches alternativement brillantes et obscures, qui ont reçu le nom de *stratifications*.

C'est ce qu'on observe dans les *tubes de Geissler* (fig. 647). — Le fil *A*, qui communique avec l'extrémité positive du fil induit (pour les courants directs), présente, à son extrémité, un point très brillant; on observe des stratifications dans toute l'étendue du tube large qui contient ce fil. Le fil *B*, qui communique avec le conducteur négatif, est entouré d'une gaine lumineuse, et les stratifications s'arrêtent à une certaine distance de son extrémité. La partie étroite *C* n'offre généralement pas de stratifications, mais une lumière vive, dont la couleur dépend de la nature du gaz contenu dans l'appareil. — Ces tubes sont particulièrement employés pour les études spectrales (\*).

Dans les *tubes de Crookes*, la raréfaction est poussée plus loin encore, jusqu'à ce que la pression du gaz soit inférieure à quelques millièmes d'atmosphère. Quand on y fait passer la décharge de la bobine d'induction, on n'observe plus aucune lueur entre les deux électrodes,

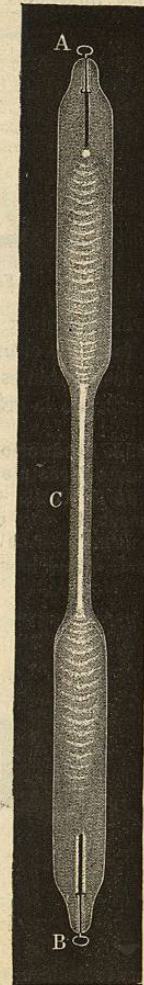


Fig. 647.  
Tube de Geissler

(\*) Certains tubes de Geissler présentent des parties formées de différents verres, qui acquièrent, par *fluorescence*, des teintes diverses au moment du passage du courant. On obtient ainsi des effets lumineux d'une grande beauté.

mais le tube de verre devient fluorescent. Tout se passe alors comme si les molécules du gaz, après s'être électrisées au contact de l'une

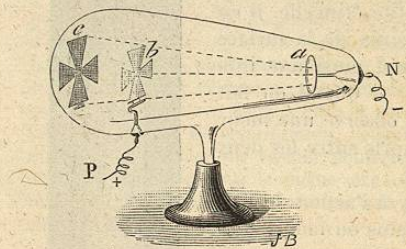


Fig. 648.

des électrodes, étaient lancées normalement à la surface; ce serait le choc des molécules gazeuses sur le verre qui déterminerait la fluorescence. — Le phénomène est surtout brillant dans la région du tube qui est opposée à l'électrode négative. Dans l'appareil représenté par la figure 648, l'électrode négative *a* a la forme d'un petit miroir convexe; l'électrode positive est une lame d'aluminium *b*, taillée en forme de croix. Au moment de la décharge, la lame *b* semble arrêter les molécules lancées par *a* normalement à sa surface, en sorte que l'ombre de la croix se projette en *c*, sur la surface du tube illuminé.

**879. Production de courants alternatifs de grande fréquence et de grande force électromotrice. — Expériences de M. Elihu Thomson et de M. Tesla.** — Quand un circuit est parcouru par des courants alternativement de sens contraire, on appelle *fréquence*, le nombre des courants, de même sens ou de sens contraire, qui se succèdent pendant une seconde. Ainsi, quand le circuit induit d'une bobine de Ruhmkorff est fermé, la fré-

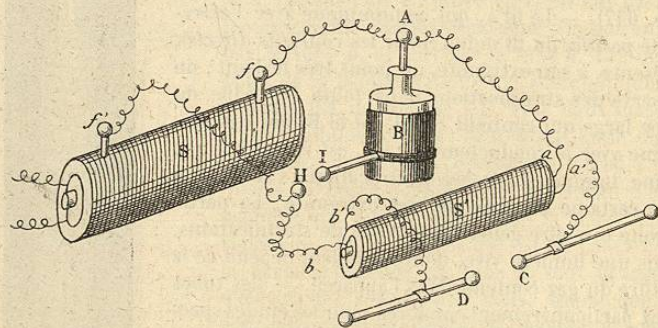


Fig. 649.

quence des courants alternatifs est mesurée par le nombre des interruptions du circuit inducteur, en une seconde; dans ce cas, la fréquence ne peut pas dépasser quelques unités.

Le dispositif suivant, qui a été indiqué par M. Elihu Thomson, permet de transformer un courant continu en courants alternatifs de très grande fréquence, et de force électromotrice beaucoup plus grande que celle des courants de la bobine de Ruhmkorff. — Une bobine d'induction *S* (fig. 649) est actionnée par le courant d'une pile; les extrémités *f* et *f'* du fil induit commu-

niquent avec les armatures *A* et *B* d'une bouteille de Leyde; on a ménagé en *III* une distance explosive, pour intercepter le courant inverse, en sorte que, à chaque interruption du courant inducteur dans la bobine *S*, la bouteille se charge, les deux armatures *A* et *B* acquérant une différence de potentiels égale à la force électromotrice du courant induit direct fourni par la bobine *S*. Dès que cette force électromotrice a cessé d'agir, la bouteille tend à se décharger par le circuit *AabHIB*, qui contient un gros fil *ab* faisant une dizaine de tours sur un faisceau de fils de fer doux. Dans ces conditions, la décharge est oscillante (871); le circuit *ab* est parcouru par des courants alternatifs, dont la force électromotrice est considérable et dont la fréquence est très grande: le nombre des oscillations électriques de la décharge est compris entre 10 000 et 100 000 par seconde. — La bobine constituée par l'enroulement du gros fil *ab* est enfermée dans un tube d'ébonite, et, sur ce tube, s'enroule un fil très fin et très long *a'b'*, dont les extrémités aboutissent aux deux conducteurs métalliques isolés *C* et *D*. La bobine *S'* ainsi formée est immergée dans une cuve d'huile, afin d'isoler parfaitement les différentes spires les unes des autres. — Les courants alternatifs qui se succèdent dans le circuit primaire *ab* donnent naissance, dans le circuit secondaire *a'b'*, à des courants induits alternatifs, dont la force électromotrice est beaucoup plus grande que celle des courants inducteurs: un conducteur réunissant *C* et *D* est ainsi parcouru par des courants alternatifs, dont la fréquence varie entre 10 000 et 100 000, et dont la force électromotrice peut atteindre plusieurs milliers de volts.

M. Tesla a même obtenu des courants alternatifs dont la fréquence peut atteindre 400 000, et dont la force électromotrice est voisine de  $\frac{1}{2}$  million de volts, en substituant dans le dispositif précédent, à la bobine de Ruhmkorff *S*, actionnée par un courant continu, une bobine analogue à la bobine *S'*, actionnée elle-même par des courants alternatifs produits par une machine dynamo-électrique.

Les courants alternatifs obtenus par l'un ou l'autre de ces dispositifs se prêtent à des expériences très curieuses:

1° Si on met les mains en communication avec les bornes *C* et *D* de la bobine *S'*, par l'intermédiaire de pièces métalliques, afin d'éviter les brûlures de l'étincelle, on peut supporter le courant sans éprouver aucune douleur, bien que la différence des potentiels aux bornes dépasse 50 000 volts. Des courants de même intensité, mais de plus faible fréquence, seraient foudroyants (\*).

2° Quant on écarte les conducteurs *C* et *D*, on obtient de très longues étincelles. Si l'on adapte en *C* et en *D* deux plateaux verticaux, et qu'on les éloigne l'un de l'autre, de manière que l'étincelle ne jaillisse plus, il se produit entre eux un champ électrique dans lequel le sens des lignes de force est rapidement interverti: si l'on place entre ces deux plateaux, dans la direction des lignes de force, un tube de verre fluorescent, contenant un gaz raréfié, le tube s'illumine. Le phénomène est beaucoup moins brillant quand le tube est disposé perpendiculairement aux lignes de force.

3° Si, mettant l'une des bornes *D* à la terre, on fait communiquer l'autre borne *C* avec un globe de verre contenant un gaz raréfié et muni d'une seule

(\*) D'après M. d'Arsonval, les nerfs sensitifs ou moteurs ne seraient plus excitables quand la fréquence des oscillations électriques dépasse 50 000. — On sait, du reste, que les nerfs auditifs ne sont pas excités, quand la fréquence des oscillations sonores dépasse 20 000 (453); que les nerfs optiques ne sont sensibles qu'à des oscillations de l'éther dont la fréquence est comprise entre 400 trillions (rayons rouges), et 700 trillions (rayons violets) (545).

électrode, formée d'un gros bouton métallique, le bouton s'illumine; le verre, devenu fluorescent, s'échauffe en raison des chocs répétés des molécules gazeuses. L'éclat du phénomène augmente, quand on approche du globe la main ou tout autre conducteur.

### III. — TÉLÉPHONE ET MICROPHONE.

**880. Téléphone de Bell.** — L'une des applications les plus remarquables des courants d'induction est le *téléphone*, qui permet de transmettre des sons ou la parole à de grandes distances.

Le téléphone, imaginé en Amérique par M. Bell, se compose d'une plaque mince de fer M (fig. 650), placée au fond d'une embouchure E,

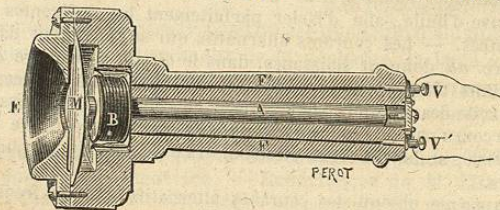


Fig. 650. — Téléphone de Bell.

et derrière laquelle est fixée une tige d'acier aimantée A. Sur cette tige est assujettie une bobine B, sur laquelle est enroulé un fil métallique couvert de soie : les deux extrémités de ce fil, F, F' viennent aboutir à deux bornes métalliques V, V', fixées à l'étui de bois qui contient tout l'instrument. — Dans ces bornes, on assujettit des fils conducteurs, se rendant à un appareil identique, placé au point où se trouve la personne avec laquelle on doit entrer en conversation. Nous supposons que les pièces de ce second appareil soient désignées par les mêmes lettres, affectées de l'indice 1.

Celui des deux interlocuteurs qui prend le premier la parole approche de sa bouche l'embouchure E de l'appareil qu'il tient à la main, et qui va jouer le rôle de *transmetteur* de la voix. L'autre personne applique contre son oreille l'embouchure E<sub>1</sub> de l'autre appareil, qui va jouer le rôle de *récepteur*. — Les impulsions communiquées par la voix, à la petite plaque de fer M du *transmetteur*, déterminent une succession de rapprochements et d'éloignements alternatifs de cette plaque par rapport à l'aimant. A chaque rapprochement, il y a accroissement du magnétisme développé par influence dans la plaque, et par réaction, accroissement du magnétisme de l'aimant A lui-même : par suite, production d'un courant électrique *induit*, dans le fil de la bobine B. A chaque éloignement, il se produit encore un courant induit, de sens contraire au premier, et ainsi de suite. — Ces courants, en traversant

la bobine B<sub>1</sub> du *récepteur*, augmentent ou diminuent alternativement le magnétisme de son aimant A<sub>1</sub> : ils ont donc pour effet de déterminer des rapprochements ou des éloignements alternatifs de la plaque de fer M<sub>1</sub> par rapport à cet aimant, en sorte que les mouvements de cette plaque reproduisent ceux de la plaque du transmetteur. L'air de l'embouchure E<sub>1</sub> est ainsi mis en vibration, et communique le son à l'oreille de celui qui écoute.

Chacun des deux appareils peut fonctionner alternativement comme *transmetteur* ou comme *récepteur*.

**881. Combinaison du téléphone et du microphone.** — Dans la disposition précédente, les courants induits étant très faibles, le son est toujours peu intense au point d'arrivée. — L'invention du *microphone*, qui est due encore à un physicien américain, M. Hughes, a fait faire à la question un progrès considérable. Voici la disposition, d'une simplicité remarquable, qu'il a d'abord imaginée.

Deux petites pièces de charbon conducteur sont fixées en C et C' sur une planche de bois MN (fig. 651); entre elles, est placée une sorte de crayon de charbon A, dont les deux pointes sont reçues dans de petites cavités, de manière qu'il appuie légèrement sur chacune d'elles. On fait passer dans l'appareil le *courant d'une pile*, dont le circuit est mis en communication avec la bobine d'un téléphone, placé à une grande distance. — C'est la succession des pièces de charbon qui constitue le *microphone*. Le microphone va jouer le rôle de *transmetteur*; le téléphone fonctionnera ici exclusivement comme *récepteur*.

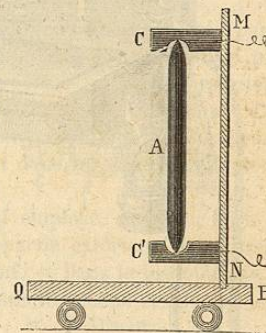


Fig. 651.  
Microphone de Hughes.

Dès qu'on produit un son dans le voisinage du microphone, les vibrations sonores suffisent pour modifier les contacts du crayon A avec ses supports, et pour faire subir, au courant de la pile, des variations qui modifient le magnétisme de l'aimant du téléphone, et qui mettent ainsi sa plaque de fer en mouvement.

**882. Système Ader.** — Un très grand nombre de modifications ont été apportées, soit au microphone transmetteur, soit au téléphone récepteur.

Dans le système qui a été imaginé par M. Ader, et qui a été adopté en France par la Société des Téléphones, le microphone transmetteur est fixé sous une plaque de bois mince, disposée comme la table d'un petit pupitre (fig. 652), et devant laquelle on se place pour émettre la voix. — Il se compose d'une série de petites baguettes de charbon, assujetties à peu près comme dans le microphone de Hughes, de ma-

nière que les contacts de ces baguettes avec leurs supports soient modifiés par les vibrations imprimées à la plaque de bois. Il se produit ainsi, dans le courant de la pile qui est mise en communication avec le système, des variations d'intensité, qui s'accroissent par des mouvements imprimés à la plaque de fer de chaque téléphone, au poste d'arrivée.

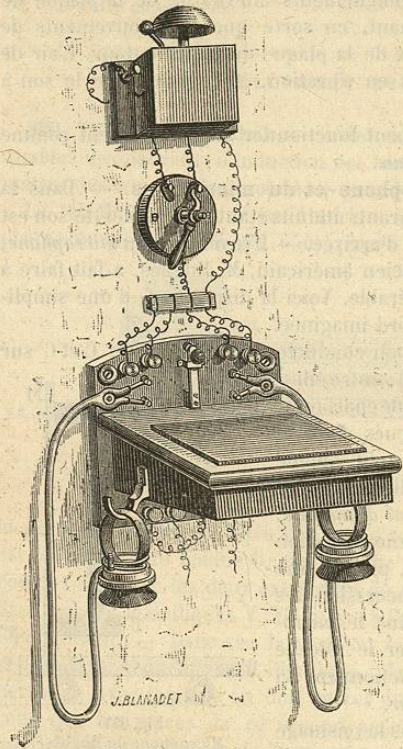


Fig. 652. — Système Ader.

Quant aux téléphones récepteurs, que la figure 652 représente suspendus par des anneaux, de chaque côté du transmetteur, leur disposition diffère un peu de celle du téléphone de Bell. L'aimant est un petit aimant en fer à cheval, fixé à l'intérieur du disque de caoutchouc durci qui forme la base de l'embouchure. Dans la même monture, en regard de chacun des pôles de l'aimant, se trouve une petite bobine de fils conducteurs, que traverse le courant : on a ainsi l'avantage de soumettre la plaque de fer à l'action des deux pôles à la fois, ce qui donne aux sons produits plus d'intensité.

Enfin chaque poste présente diverses pièces accessoires, semblables à celles qui sont en usage sur les lignes télégraphiques, et destinées à faciliter le service. La figure 652 représente, à la partie supérieure, une sonnerie qui sert d'avertisseur ; au-dessous, est un commutateur, que l'on tourne de manière à recevoir le courant dans les fils des téléphones, quand on est prêt à entrer en correspondance (\*).

(\*) Le transmetteur et le récepteur doivent communiquer par deux fils, un fil *d'aller* et un fil *de retour* ; les fils en bronze silicieux sont ceux qui paraissent le plus avantageux. — Quand la ligne est aérienne, on trouve parfois économie à profiter, pour la soutenir, des poteaux établis pour les lignes télégraphiques ; mais il faut alors croiser les fils téléphoniques, de façon que les courants télégraphiques ne puissent pas y faire naître de courants induits, qui troubleraient la correspondance.

#### IV. — MACHINES MAGNÉTO-ÉLECTRIQUES ET DYNAMO-ÉLECTRIQUES.

883. **Machines d'induction, en général, transformant l'énergie mécanique en énergie électrique, sous forme de courants.** — Nous appellerons *machines d'induction*, en général, les machines au moyen desquelles, une portion de circuit fermé étant mise en mouvement dans un champ magnétique, l'énergie mécanique employée à produire ce mouvement est transformée en énergie électrique, sous forme de courants d'induction, dans ce circuit lui-même. — Une machine d'induction comprend essentiellement :

1° Un système *inducteur*, constitué par des aimants ou des électro-aimants, généralement fixes, qui produisent un champ électrique intense dans le voisinage de leurs régions polaires. — Suivant que ce système est formé d'aimants ou d'électro-aimants, la machine est dite *magnéto-électrique* ou *dynamo-électrique*.

2° Un système *induit*, placé dans le champ magnétique créé par le système inducteur, et constitué par des conducteurs qui sont le plus souvent disposés symétriquement par rapport à un axe de rotation : chacun de ces conducteurs est relié avec les deux extrémités d'un circuit extérieur à la machine. — Pendant la rotation, les courants induits qui se développent au même instant dans les divers conducteurs s'additionnent dans le circuit extérieur.

Nous verrons que, suivant le dispositif employé, on peut faire en sorte que le sens du courant, dans la partie extérieure du circuit, reste constant, ou change périodiquement. — Dans le premier cas, la machine est dite à *courants continus* ; dans le second cas, la machine est à *courants alternatifs*.

884. **Machine magnéto-électrique à courant constant : disque de Faraday.** — Le dispositif suivant, qui est dû à Faraday, peut être considéré comme le type d'une machine magnéto-électrique produisant un courant d'intensité constante.

Un disque de cuivre mobile autour d'un axe métallique  $CC'$  (fig. 655) est placé dans un champ magnétique, de façon que son plan soit perpendiculaire aux lignes de force  $F$  du champ ; deux ressorts  $a, b$  frottent, l'un sur

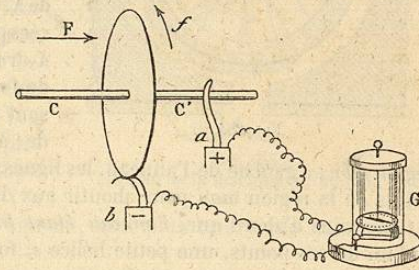


Fig. 655. — Disque de Faraday.

l'axe, l'autre sur le contour du disque, et sont reliés par un fil conducteur dans lequel est intercalé un galvanomètre G. Si l'on imprime au disque un mouvement de rotation uniforme, dans le sens de la flèche  $f$ , on observe au galvanomètre une déviation constante : le sens de la déviation montre que, dans tous les rayons du disque dont les extrémités viennent successivement frotter sur le ressort  $b$ , il se développe un courant induit ascendant (\*). Ce résultat est conforme à la loi de Lenz (867).

L'appareil se comporte donc comme une pile, dont les ressorts  $a$  et  $b$  seraient les pôles positif et négatif. — La force électromotrice  $E$  du courant sera proportionnelle à la vitesse de rotation et à l'intensité du champ magnétique. Si  $R$  est la résistance totale du circuit, on aura pour l'intensité du courant,  $i = \frac{E}{R}$ .

**885. Machine magnéto-électrique de Gramme, à courants continus.** — Le disque de Faraday ne fournit que des courants très faibles : ce n'est, à proprement parler, qu'une machine de démonstration. — Parmi les machines d'induction qui fournissent des courants réellement utilisables, il en est un certain nombre, les *machines de Gramme*, magnéto-électriques ou dynamo-électriques, dont le fonctionnement repose sur un même principe. Nous étudierons d'abord la machine *magnéto-électrique, à courants continus*.

Un anneau circulaire de fer doux  $mn$  (fig. 654) est placé entre les deux pièces polaires australe et boréale A et B d'un puissant aimant en fer à cheval. Il se développe, par influence, sur la surface extérieure de l'anneau, deux couches de magnétisme : l'une australe,  $man$ , vis-à-vis de B ; l'autre boréale,  $mbn$ , vis-à-vis de A. Ces deux couches sont séparées par une ligne neutre  $mn$ . A droite de l'anneau, les lignes de force du champ magnétique sont dirigées des divers points de A aux divers points de la région  $mbn$  ; à gauche de l'anneau, les lignes de force partent des divers points de la région  $man$  pour aboutir aux divers points de B.

Concevons d'abord que, l'anneau étant fixe, on ait enroulé, autour de l'un de ses points, une petite hélice  $s$ , formée par un fil métallique

(\*) Cette expérience peut être réalisée au moyen de la roue de Barlow (fig. 599), placée entre les branches de l'aimant en fer à cheval AB. — Il suffit de relier les deux fils P et N aux bornes d'un galvanomètre, et d'imprimer à la roue, au moyen d'une manivelle, un mouvement de rotation uniforme.

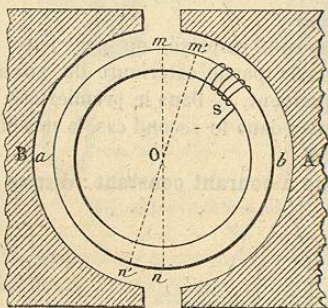
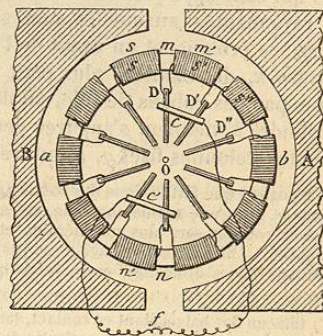


Fig. 654.

couvert de soie, et dont les extrémités seront supposées réunies par un conducteur fermant le circuit. — Si l'on déplace l'hélice sur l'anneau, d'une manière continue, dans le sens  $mbnam$ , il se produira une succession de courants induits, qui changeront alternativement de sens à chaque demi-révolution  $mbn$ ,  $nam$ . — En effet, pendant le déplacement  $mbn$ , puisque l'action du champ magnétique sur le courant induit, dirigée vers la droite de ce courant (850), doit contrarier le mouvement de l'hélice (867), c'est vers le haut de la figure que doit être la droite d'un observateur placé dans le courant, et regardant du côté de A, d'où viennent les lignes de force magnétique : en d'autres termes, le courant induit doit traverser le plan de la figure d'avant en arrière, en dehors de l'anneau. On verrait de même que, pendant la demi-révolution  $nam$ , le courant induit qui se développe dans l'hélice doit traverser le plan de la figure d'arrière en avant, en dehors de l'anneau. — S'il ne se produisait aucun effet de self-induction, le courant s'annulerait dans l'hélice aux instants où elle passerait en  $m$  ou en  $n$ , dans la ligne neutre de l'aimant. En réalité, la self-induction ayant pour effet de prolonger le courant qui finit et de contrarier le courant qui commence (869), le courant ne s'annule dans l'hélice que lorsqu'elle arrive en des points  $m'$ ,  $n'$ , placés respectivement un peu au delà de  $m$  et  $n$ , dans le sens de la rotation ; l'angle  $\alpha$  que fait la ligne  $m'n'$  avec la ligne neutre  $mn$  est d'autant plus grand que la vitesse de rotation est plus grande ; il est toujours inférieur à  $90^\circ$ .

Enfin, les phénomènes resteront encore les mêmes si, l'hélice étant fixée à l'anneau, on imprime à l'anneau un mouvement de rotation autour de son axe O : dans ce cas en effet, en raison de la facilité avec laquelle l'anneau s'aimante et se désaimante, les deux régions australe et boréale,  $man$ ,  $mbn$ , occuperont toujours une position fixe dans l'espace. C'est ce mouvement, plus facile à réaliser, qui est adopté dans la machine de Gramme (\*).

Fixons maintenant sur l'anneau, non plus une seule hélice, mais

Fig. 655.  
Anneau de la machine de Gramme.

(\*) La rotation d'un anneau massif de fer doux, dans le champ des pièces polaires A, B, donnerait naissance à des courants induits, circulant dans cette masse métallique (expérience de Foucault, fig. 641) ; il en résulterait un échauffement considérable de l'anneau et des fils des hélices. On évite cet inconvénient en employant un faisceau de fils de fer doux, soudés en anneaux et juxtaposés.

une série d'hélices, comme le représente la figure 655 : soudons à une pièce de cuivre D l'extrémité terminale de l'hélice  $s$  et l'extrémité initiale de l'hélice suivante  $s'$  : à une autre pièce de cuivre D', l'extrémité terminale de l'hélice  $s'$ , et l'extrémité initiale de l'hélice suivante  $s''$ , et ainsi de suite, le système de ces pièces de cuivre rayonnantes étant d'ailleurs assujéti à l'anneau, de manière à tourner avec lui autour de l'axe O. Disposons enfin, perpendiculairement au diamètre  $m'n'$ , deux ressorts métalliques  $c, c'$ , ou plutôt deux balais formés de fils métalliques flexibles, réunis par un fil conducteur (\*). On voit que, à chaque période de la rotation, les deux systèmes d'hélices situés, l'un à droite et l'autre à gauche de  $m'n'$ , pourront être assimilés à deux systèmes d'éléments de piles, associés en série, chacune des séries ayant son pôle positif à l'un des balais  $c$ , son pôle négatif à l'autre balai  $c'$ . Les balais étant assez flexibles pour toucher simultanément plusieurs pièces de cuivre voisines, le courant, dans le conducteur  $f$ , ne sera jamais interrompu. — C'est ce qu'on exprime en disant que la machine est à courants continus (\*\*).

La figure 656 représente un petit modèle de la machine de Gramme, construit par M. Bréguet pour les expériences de laboratoire ou de cours. — L'aimant LL' est un aimant du système Jamin (746) : entre les armures A et B, tourne l'anneau  $mbn$ ; on a représenté, avec des teintes alternativement plus claires et plus foncées, les hélices successives qui sont appliquées sur l'anneau de fer doux. Les pièces de cuivre rayonnantes, auxquelles sont soudées les extrémités des fils des hélices, se prolongent en avant de l'anneau, de manière à former un cylindre  $k$ , de diamètre plus petit : elles sont séparées les unes des autres par des rubans de soie, ou de toute autre matière isolante. Sur ce cylindre  $k$  viennent s'appuyer deux balais de fils métalliques, assujettis aux colonnes fixes  $g, h$ , qui reçoivent les fils  $f$  et  $f'$  et permettent

(\*) L'angle  $\alpha$  que fait la ligne des balais  $c, c'$  avec la ligne neutre  $mn$  s'appelle *angle de calage*. Pour une même machine, cet angle doit être d'autant plus grand que la vitesse de rotation sera plus considérable et que la résistance du circuit extérieur sera plus petite. — Si l'angle de calage n'est pas bien réglé, on s'en aperçoit à ce qu'il se produit de fortes étincelles, entre les balais et les pièces de cuivre qui passent au contact.

(\*\*) Chacun des balais étant en contact, tantôt avec une seule pièce de cuivre D, tantôt avec deux pièces de cuivre, il en résulte de petites variations dans l'intensité du courant. — Ces variations deviennent négligeables, quand le nombre des hélices enroulées sur l'anneau est assez considérable.

Quant à la valeur de l'intensité du courant, il ne suffit pas, pour l'obtenir en ampères, de faire le quotient de la force électromotrice E, exprimée en volts, par la résistance R du circuit, exprimée en ohms. Une théorie complète montre que la self-induction, qui se produit dans chaque hélice quand un courant induit finit et quand l'autre commence, n'a pas seulement pour effet de retarder l'instant où le courant s'annule elle a aussi pour effet d'accroître la résistance du circuit, et de lui donner une valeur R', la *résistance apparente*, plus grande que la résistance vraie R, et d'autant plus grande que la self-induction est plus accentuée et que la vitesse de rotation est plus considérable.

de faire passer le courant dans un appareil quelconque. — Le mouvement est imprimé à l'anneau au moyen d'une manivelle et d'une roue

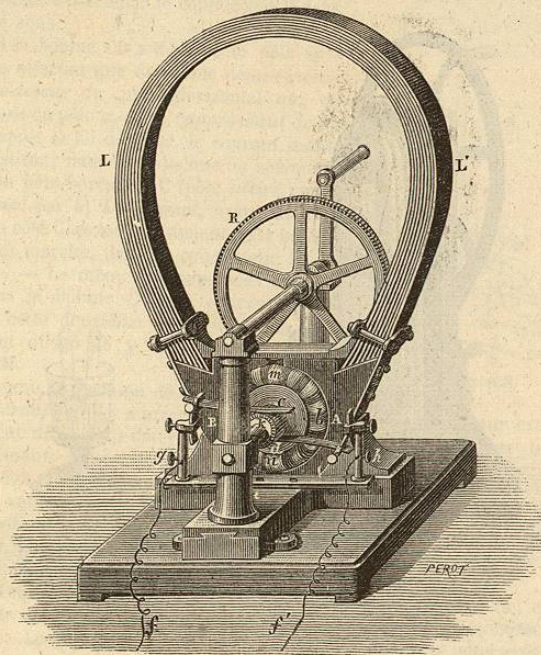


Fig. 656. — Machine de Gramme, type de laboratoire.

dentée R, qui engrène avec un pignon fixé à l'anneau (ce pignon est masqué sur la figure). On obtient facilement ainsi une vitesse de plusieurs centaines de tours par minute. — Avec cet appareil, on peut amener à l'incandescence un fil métallique de plusieurs décimètres de long, et réaliser la plupart des expériences qui exigeraient l'emploi d'une dizaine d'éléments de Bunsen.

#### 886. Machine magnéto-électrique de Clarke, à courants alternatifs.

— La machine de Clarke, dont la construction est bien antérieure à celle de la machine de Gramme, n'a plus guère aujourd'hui qu'une importance historique (\*).

L'inducteur est formé de plusieurs aimants en fer à cheval B, superposés et fixés à la planche P (fig. 657). — L'induit est un système de deux bobines H,

(\*) Cette machine n'est elle-même qu'une transformation de la première machine d'induction, construite par Pixii en 1832. — Dans la machine de Pixii, c'était l'aimant inducteur qui était mobile, les bobines induites étant fixes.