# CHAPITRE VII

## MACHINES ÉLECTRIQUES.

947. **Définitions et classification.** — On appelle *machines électriques* des sources d'électricité à haut potentiel, qui résultent soit du frottement réciproque d'organes mauvais conducteurs, soit de l'influence électrostatique d'organes mauvais conducteurs qui se déplacent devant des organes conducteurs fixes.

Les sources de la première catégorie sont appelées *machines à frottement*. La plus connue est la machine de Ramsden, qui fournit de l'électricité positive. Les anciennes machines de Van Marum et de Nairne appartiennent à la même famille : la première donne, à volonté, du fluide positif ou du fluide négatif; la deuxième donne simultanément les deux électricités. A la même catégorie on peut rattacher la curieuse machine d'Armstrong, qui donne de l'électricité à une haute tension, par le frottement de gouttelettes liquides sur des parois solides de tuyaux en buis. Nous ne décrirons que la première de ces machines, les autres n'étant plus employées et n'ayant qu'un intérêt historique ou théorique.

Les machines électriques fonctionnant par influence sont un perfectionnement des précédentes et les ont complètement remplacées dans la pratique. Nous décrirons successivement l'*électrophore*, qu'on peut rattacher à cette famille, et les machines de Holtz, de Carré et de Bertsch.

### MACHINES A FROTTEMENT.

948. **Machine électrique de Ramsden.** — *Historique.* — La première machine électrique qui ait été employée est une machine à frottement, due à Otto de Guericke. Elle consistait en une sphère de soufre fixée à un axe qu'on tournait d'une main, tandis que l'autre main appuyait sur la sphère et servait de frottoir. Bientôt on substitua à la boule de soufre un cylindre de résine et, plus tard, un cylindre de verre; mais il n'y avait pas d'autre frottoir que la main. Vers 1740, Winkler employa comme frottoir un coussin de soie rembourré de crin. A la même époque, Bose recueillit sur un disque de fer-blanc suspendu à deux cordons de soie l'électricité dégagée par le frottement. Enfin, en 1766, Ramsden, de Londres, substitua au cylindre de verre un plateau circulaire de verre, frotté par quatre coussins. Dès lors la machine électrique eut la forme qu'on lui donne encore aujourd'hui.

*Description.* — Entre deux montants de bois (fig. 881) est un



plateau circulaire P, de verre, fixé par son centre à un axe qu'on fait tourner à l'aide d'une manivelle. Ce plateau, suivant son diamètre vertical, est frotté entre quatre *frottoirs* ou *coussins* F, de cuir ou de soie. Suivant son diamètre horizontal, il passe entre deux tubes de laiton recourbés en fer à cheval, qu'on appelle

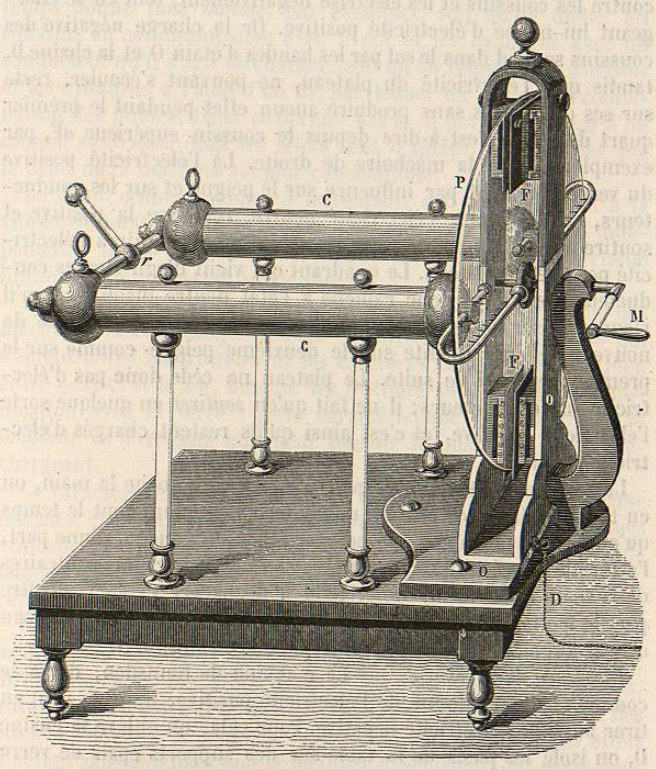


Fig. 881.

*peignes* ou *mâchoires*, parce qu'ils sont armés de dents, placées des deux côtés, en regard du plateau. Ces peignes sont fixés à des tubes plus gros C, qu'on nomme les *conducteurs*. Ces derniers, isolés sur quatre pieds de verre, sont reliés entre eux par un tube *r* d'un plus petit diamètre. Enfin, des bandes d'étain O, collées des deux côtés des montants de bois qui portent les coussins, font

communiquer ceux-ci avec une chaîne métallique D, puis avec le sol.

*Fonctionnement et théorie.* — On se rend aisément compte du fonctionnement de cette machine à l'aide de l'hypothèse des deux fluides. En faisant tourner le plateau de verre, celui-ci frotte contre les coussins et les électrise négativement, tout en se chargeant lui-même d'électricité positive. Or la charge négative des coussins se perd dans le sol par les bandes d'étain O et la chaîne D, tandis que l'électricité du plateau, ne pouvant s'écouler, reste sur ses deux faces sans produire aucun effet pendant le premier quart de tour, c'est-à-dire depuis le coussin supérieur *a*F, par exemple, jusqu'à la mâchoire de droite. Là l'électricité positive du verre, agissant par influence sur le peigne et sur les conducteurs, en décompose l'électricité neutre, repousse la positive et soutire par les pointes la négative, qui vient se réunir à l'électricité positive du plateau. Le quadrant qui vient d'agir sur les conducteurs se trouve donc ramené à l'état neutre jusqu'à ce qu'il vienne passer entre les coussins inférieurs. Là il s'électrise de nouveau, et agit ensuite sur le deuxième peigne comme sur le premier; et ainsi de suite. Le plateau ne cède donc pas d'électricité aux conducteurs; il ne fait qu'en *soutirer* en quelque sorte l'électricité négative, et c'est ainsi qu'ils restent chargés d'électricité positive.

La machine une fois chargée, si l'on en approche la main, on en tire des étincelles plus ou moins fortes, pendant tout le temps qu'on tourne le plateau. On comprend en effet que si, d'une part, l'étincelle qui résulte de la combinaison des électricités contraires de la main et de la machine, tend à décharger celle-ci, d'autre part le frottement continu des coussins et l'influence du plateau électrisent aussi la machine d'une manière continue.

*Inversion de la charge.* — La machine de Ramsden, disposée comme ci-dessus, donne de l'électricité positive; mais on peut en tirer aussi de l'électricité négative. Pour cela, on enlève la chaîne D, on isole les pieds de la table sur des supports épais de verre ou de résine, puis on fait communiquer les conducteurs C avec le sol. Tournant ensuite le plateau, l'électricité positive des conducteurs se perd dans le sol, tandis que l'électricité négative des coussins se répand dans les montants qui soutiennent le plateau. En effet, si l'on approche la main d'une boule métallique fixée au sommet des montants, ou des bandes d'étain O, on en tire des étincelles.

*Constantes de la machine : débit* et *potentiel.* — La machine de Ramsden et toutes les machines électrostatiques sont caractérisées par deux qualités, susceptibles de mesure : leur débit et leur potentiel. C'est ce qu'on appelle quelquefois les constantes de la machine.



1° *Débit.* — La première de ces caractéristiques est le *débit :* c'est la quantité d'électricité que la machine dégage ou *débite*, dans un temps donné (*une minute*, par exemple), soit qu'on mette les coussins en communication avec le sol et les cylindres avec un conducteur qu'il s'agit de charger, soit qu'on réunisse les coussins et les cylindres à l'aide d'un fil, par lequel on opère la recombinaison des fluides. Dans ce dernier cas le fil devient le siège d'un *courant électrique*, dont les effets sont d'autant plus intenses que le débit de la machine est plus considérable.

Le débit d'une machine à frottement est proportionnel à la vitesse de rotation et à l'étendue de la surface frottée, mais indépendante de la largeur des coussins et, jusqu'à une certaine limite, de leur pression sur le verre.

2° *Différence de potentiel.* — La deuxième caractéristique des machines électrostatiques, c'est la différence de potentiel qui s'établit entre les frottoirs et les cylindres conducteurs, ou bien entre ceux-ci et le sol, lorsque les frottoirs sont mis en communication avec la terre : cette caractéristique s'apprécie *par la longueur de l'étincelle* que peut fournir la machine en se déchargeant.

Ce caractère n'est nullement lié au précédent. Tandis qu'une machine électrostatique à faible débit peut fournir de très longues étincelles, certaines sources d'électricité, telles que les piles voltaïques, dont le débit est considérable, ne fournissent pas d'étincelles appréciables.

D'ailleurs la puissance de l'étincelle, c'est-à dire les effets calorifiques et lumineux qu'elle produit, ne dépend pas seulement de sa longueur. Des étincelles très longues, qui seraient grêles, auraient peu d'éclat et feraient peu de bruit : elles produiraient des effets médiocres. A longueur égale, les étincelles ont des effets d'autant plus intenses que la quantité d'électricité qui passe dans l'étincelle est plus considérable. Or cette quantité dépend essentiellement du débit de la machine[1], et celui-ci dépend, à potentiel égal, de la *capacité électrique* des conducteurs.

*Conducteurs secondaires.* — On nomme *conducteurs secondaires* de gros cylindres de cuivre, de fer-blanc ou de carton recouvert d'étain, qu'on isole soit en les posant sur des pieds de verre, soit

1. Voir une conférence de M. Pellat sur les « machines électriques anciennes et actuelles » dans la *Revue scientifique* du 20 mars 1886.

en les suspendant à des cordons de soie, et qu'on met ensuite en communication avec les conducteurs de la machine électrique. La surface sur laquelle s'accumule l'électricité se trouvant ainsi augmentée, la densité ne croît pas, mais la capacité électrique de la machine augmente, et la quantité d'électricité recueillie augmente, à potentiel égal, proportionnellement à la capacité. Et en effet, lorsqu'on décharge alors la machine en la faisant communiquer avec le sol, on en tire des étincelles beaucoup plus intenses et ayant un vif éclat dans l'air.

949. **Soins à donner aux machines électriques.** — Cette machine électrique et les machines analogues ne peuvent fonctionner qu'autant qu'on prend un certain nombre de précautions indispensables.

1° Il importe de bien dessécher les supports, le plateau et les coussins. Pour cela, on les chauffe doucement, et on les essuie avec un linge chaud.

2° Les coussins doivent être construits d'une manière toute particulière et conservés dans un bon état d'entretien. Ceux qui sont le plus employés sont faits en cuir mince, rembourrés de crin et enduits d'*or mussif* (bisulfure d'étain) finement pulvérisé. On a constaté par l'expérience que les corps en poudre et doux au toucher, comme l'or mussif, le talc, la plombagine, la farine, la fleur de soufre, le charbon de coke, développent beaucoup d'électricité par le frottement. On emploie aussi au même usage un amalgame d'étain ou de zinc qui réussit très bien.

3° Afin d'éviter la déperdition de l'électricité du plateau par l'air, on fixe quelquefois aux montants de bois deux quarts de cercle de taffetas gommé, qui enveloppent le verre sur ses deux faces, l'un à droite du coussin *a*, et l'autre en bas, dans la partie opposée. Ces taffetas ne sont pas représentés dans le dessin. On a constaté que c'est la soie jaune, mince et huilée, qui donne les meilleurs résultats. Il importe que les taffetas ne soient gommés que d'un seul côté, celui qui n'est pas appliqué sur le verre; il faut encore qu'il y ait contact parfait entre l'étoffe et le plateau de verre.

*Limite de charge.* — Même lorsqu'on se met dans les conditions que nous venons de faire connaître, la charge de la machine a une limite qui ne peut être dépassée, quels que soient la vitesse de rotation du plateau et le temps pendant lequel on le tourne. Cette limite est plus ou moins élevée pour la même machine, par suite de la déperdition plus ou moins abondante qui se produit : 1° par l'air et la vapeur d'eau qu'il contient; 2° par les supports; 3° par la recomposition d'une portion des deux électricités des conducteurs et des coussins.

On a déjà examiné les deux premières causes de déperdition; quant à la troisième, elle est une conséquence même du jeu de la machine. En effet, le potentiel sur les conducteurs croissant avec la vitesse rotative, il vient un moment où des étincelles éclatent entre les mâchoires et les coussins. On a atteint alors une *limite de charge* analogue à la limite pratique du vide dans la machine pneumatique. Pour éviter ces décharges spontanées, il importe de faire communiquer les coussins avec le sol le plus intimement possible, afin que leur électricité, s'écoulant dans la terre, ne vienne pas neutraliser celle des conducteurs. C'est pour cela qu'on a soin de coller le long des montants de bois de la machine les feuilles d'étain O (fig. 881), qui descendent des coussins jusqu'à la chaîne D. Enfin, celle-ci doit plonger dans l'eau d'un puits, ou communiquer avec le pied d'un arbre, ou, s'il est possible, avec une des colonnes de fonte qui supportent les becs de gaz.



## MACHINES ÉLECTRIQUES A INFLUENCE.

950. **Principe des machines à influence. — Historique.** — Dans les machines décrites ci-dessus, l'électricité est due au frottement et le frottement est dû lui-même au travail mécanique d'un moteur. Il se produit donc ici une sorte de transformation du travail en électricité. Cette transformation est effectuée d'une manière plus apparente par les machines électriques sans frottement, dans lesquelles l'influence électrostatique d'une charge fixe d'électricité sert à électriser pour ainsi dire indéfiniment un plateau mobile. Les premières machines de ce genre ont été construites, en 1865, par Holtz et, à peu près à la même époque, par M. Tœpler; mais, dès la fin du siècle dernier, Volta avait inventé un appareil fondé sur le même principe : c'est l'*électrophore*, qu'on peut considérer comme la plus simple des machines électriques fonctionnant par influence.

951. **Électrophore (de Volta).** — *Description.* — Il se compose :

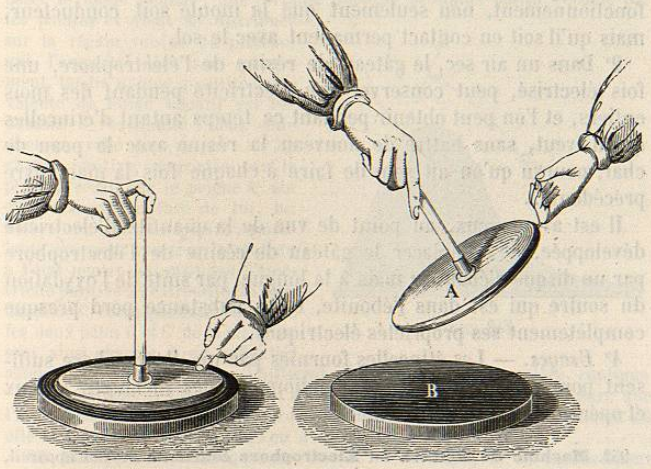


Fig. 882. Fig. 883.

1° d'un gâteau de résine B (fig. 883), coulé dans un moule de bois, ou mieux dans un moule métallique; 2° d'un disque de bois A, recouvert d'une feuille d'étain et muni d'un manche isolant

de verre. Il est avantageux que la résine soit mélangée de poix, et il faut que la surface du gâteau soit lisse.

*Opération et théorie.* — Pour obtenir de l'électricité au moyen de cet appareil, on commence par sécher la résine et le disque en les chauffant doucement, puis on bat le gâteau avec une peau de chat, ce qui l'électrise négativement. Si l'on pose alors le disque de bois recouvert d'étain sur la résine (fig. 882), celle-ci, qui est très mauvaise conductrice, conserve son électricité négative, et, par son influence sur le disque, attire l'électricité positive vers la face en contact avec elle, tandis qu'elle repousse sur l'autre face l'électricité négative. En touchant alors la feuille d'étain avec le doigt, c'est l'électricité négative qu'on soustrait, et le disque de bois reste électrisé positivement. En effet, si on l'enlève d'une main par le manche de verre, et si on lui présente l'autre main (fig. 883), on en tire une vive étincelle, due à la recomposition de l'électricité positive du disque avec l'électricité négative de la main.

Remarques. — 1° En réalité, les phénomènes d'influence qui se produisent dans l'électrophore sont un peu plus complexes : l'influence du moule intervient aussi, car il faut, pour obtenir un bon fonctionnement, non seulement que le moule soit conducteur, mais qu'il soit en contact permanent avec le sol.

2° Dans un air sec, le gâteau de résine de l'électrophore, une fois électrisé, peut conserver son électricité pendant des mois entiers, et l'on peut obtenir pendant ce temps autant d'étincelles qu'on veut, sans battre de nouveau la résine avec la peau de chat, pourvu qu'on ait soin de faire à chaque fois la manœuvre précédente.

Il est avantageux, au point de vue de la quantité d'électricité développée, de remplacer le gâteau de résine de l'électrophore par un disque d'ébonite ; mais à la longue, par suite de l'oxydation du soufre qui est dans l'ébonite, cette substance perd presque complètement ses propriétés électriques.

4° *Usages.* — Les étincelles fournies par un électrophore suffisent pour faire détoner dans l'eudiomètre des mélanges gazeux et opérer des synthèses chimiques.

952. **Machine de Bertsch** ou **Électrophore tournant.** — Cet appareil, quoique d'invention récente, est la plus simple des machines électriques de ce genre. On peut la considérer comme une sorte d'*électrophore tournant*, et on lui donne quelquefois ce nom[1].

1. La première idée de cette machine est due à un Français, M. Piche. Le modèle construit par M. Piche comportait un disque tournant en papier fort, au lieu d'un disque en caoutchouc durci.



*Description.* — Elle se compose essentiellement d'un plateau P (fig. 884), en caoutchouc durci, qui peut tourner, sans frottement, entre un système de deux peignes métalliques A, A' d'une part et, d'autre part, un secteur S en caoutchouc durci, placé en regard de la partie inférieure (fig. 885).

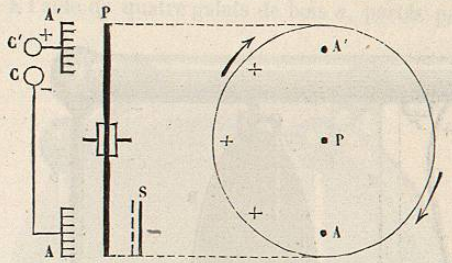


Fig. 884.

*Fonctionnement et théorie.* — On commence par charger négativement le secteur S, lequel sert d'inducteur. Son influence sur le plateau isolant mobile est négligeable ; mais il agit sur le peigne métallique pour en décomposer le fluide neutre : une certaine quantité de fluide positif s'écoule par les pointes et vient se distribuer sur la région voisine du plateau, qui l'emporte dans son mouvement, tandis qu'une quantité équivalente de fluide négatif est repoussée à l'extrémité C d'un conducteur relié au peigne A. La charge positive, emportée par le plateau, réagit sur le peigne A' dès qu'elle arrive en face de lui, lui enlève une charge *négative* équivalente qui vient ramener le plateau à l'état neutre et repousse l'électricité positive à l'extrémité du conducteur C correspondant. Lorsque les deux pôles C et C' de la machine sont ainsi chargés à un potentiel assez élevé, des étincelles jaillissent entre eux d'une manière continue

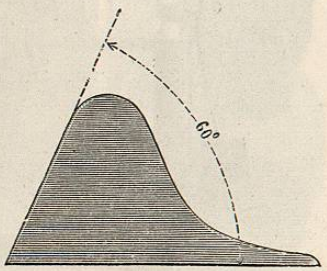


Fig. 885.

Cette machine a l'inconvénient de se décharger toute seule, à mesure que l'électricité de l'inducteur se perd dans l'atmosphère ; il vient un moment où elle ne donne plus rien, quoiqu'on n'ait pas cessé de tourner.

953. **Machine diélectrique de Carré.** — *Principe.* — Cet inconvénient n'existe pas dans la machine, dite *diélectrique*, construite par M. Carré, sur le modèle de la précédente. Elle est combinée de manière à s'amorcer elle-même.

*Description et fonctionnement.* — Elle se compose de deux plateaux tournant en sens contraires ; le plus grand, B, est en ébonite, et le plus petit, A, est en verre (fig. 886). Ils se recouvrent mutuellement des $\frac{2}{3}$ aux $\frac{3}{4}$ de leurs rayons ; et le plateau A tourne lentement au moyen d'une manivelle M, tandis

que le plateau B reçoit un mouvement de rotation rapide par l'intermédiaire d'une courroie sans fin qui va d'une grande à une petite poulie. C'est le plateau A qui sert d'inducteur; c'est un inducteur *automatique* et *continu*, puisqu'il s'électrise lui-même *positivement*, en tournant entre les deux frottoirs F, F'. Il agit par induction, à travers le plateau B, sur un peigne *i*, et en

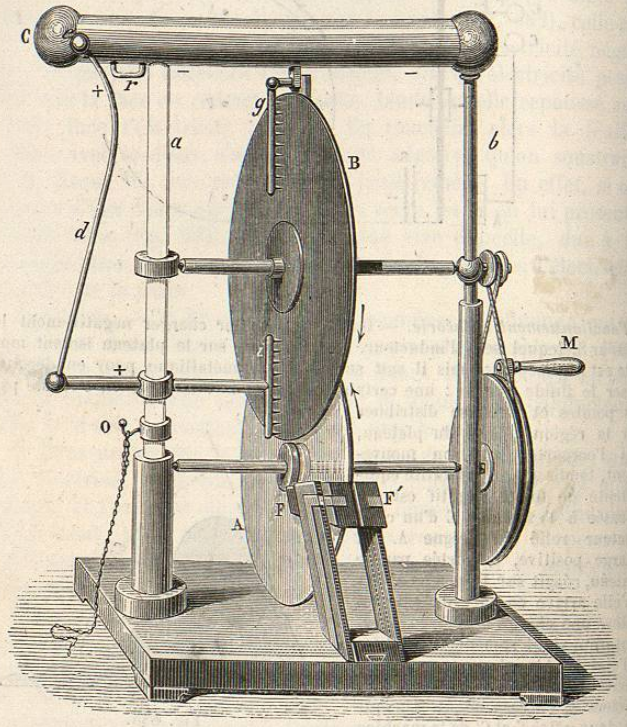


Fig. 886.

soutire l'électricité négative, qui vient se déposer sur le plateau B; par suite, le conducteur *d*, fixé au peigne, s'électrise positivement. Puis, le plateau B tournant rapidement, son électricité négative vient induire un second peigne *g* et en soutirer l'électricité positive. Le plateau B repasse donc à l'état neutre, tandis qu'un fort conducteur C lié au peigne *g* se charge d'électricité négative.

Des étincelles éclatent alors d'une manière continue entre la boule *e* et le conducteur C. Avec des plateaux dont les diamètres respectifs sont de 38 et 49 centimètres, les étincelles atteignent 15 centimètres. On en obtient de plus fortes encore, lorsqu'on augmente la capacité de la machine en y ajoutant un condensateur auxiliaire comme dans la machine de Holtz (954).



954. **Machine électrique de Holtz.** — *Description.* — La machine de Holtz se compose de deux plateaux de verre mince, distants l'un de l'autre de 3 millimètres, et de diamètres inégaux (fig. 887). Le plus grand, AA, qui a 60 centimètres de diamètre, est maintenu fixe, à l'aide de quatre galets de bois *a*, portés par des axes

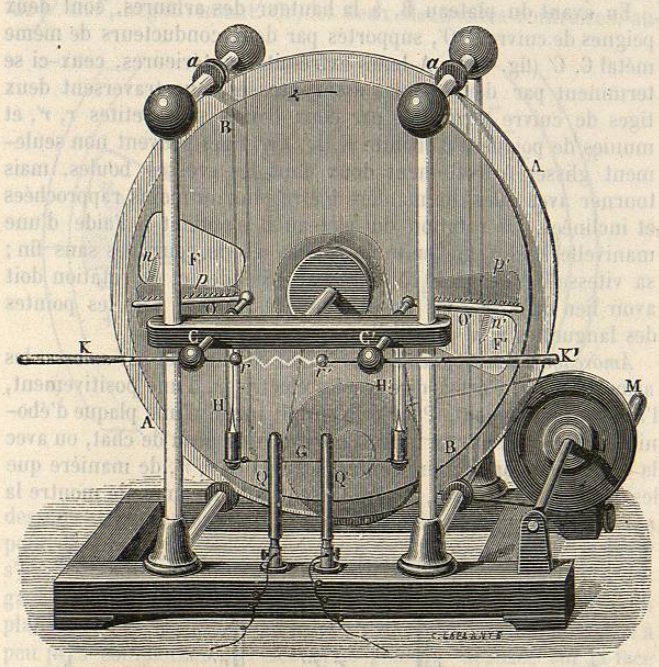


Fig. 887.

et des pieds de verre. En avant du plateau A est le second plateau, BB, d'un diamètre de 55 centimètres seulement; il est fixé à un axe horizontal de verre, qui traverse librement une ouverture centrale pratiquée dans le grand plateau. Le plateau B est plein dans toute son étendue, tandis que le plateau A est percé, aux deux extrémités d'un même diamètre, de deux *fenêtres*, F, F'. Le long du bord inférieur de la fenêtre F, sur la face postérieure du plateau, est collée une bande de papier *p* (fig. 889), et sur la face antérieure une languette *n* de carton mince, reliée à la bande *p* par une bandelette de papier, qui passe par-dessus le