

hauteur de chute, c'est-à-dire de la différence des niveaux primitifs. — De même, dans une décharge électrique s'effectuant entre deux corps conducteurs, l'énergie mise en jeu ne dépend pas seulement des quantités d'électricité que contenaient les deux corps; elle dépend aussi du degré d'électrisation plus ou moins élevé auquel chacun d'eux se trouvait porté par sa charge primitive. De là l'expression de *différence de niveaux électriques*, par laquelle on peut représenter la différence des états électriques de divers corps mis en présence. — Un même accroissement de charge électrique produira toujours, sur un même corps, un même accroissement de niveau électrique. Mais un même accroissement de charge électrique pourra produire, sur des corps différents, différents accroissements de niveau, selon les *capacités électriques* de ces corps, et en particulier selon leurs dimensions.

Une autre manière de se représenter les phénomènes électriques, sans introduire la notion de fluide, consiste à assimiler un échange d'électricité, d'un corps à un autre, à un échange de chaleur. — Pour qu'il puisse y avoir passage d'une certaine quantité de chaleur d'un corps à un autre, il faut que ces deux corps soient à des températures différentes. Si cette condition est réalisée, l'énergie mise en jeu par l'échange de chaleur ne dépend pas seulement des quantités respectives de chaleur que les deux corps contenaient; elle dépend aussi de la différence des températures auxquelles ces quantités de chaleur les avaient portés. — En assimilant les échanges d'électricité aux échanges de chaleur, on doit considérer l'énergie mise en jeu, dans une décharge électrique, comme dépendant à la fois des charges électriques que les corps possédaient, et de la différence des états électriques que ces charges leur avaient fait acquérir. De là, l'expression de *différence de températures électriques*, par laquelle on peut caractériser cette différence d'états. — Un même accroissement de charge produira toujours, sur un même corps, un même accroissement de température électrique. Mais un même accroissement de charge pourra produire, sur des corps différents, différents accroissements de température électrique, selon les *capacités électriques* de ces corps.

Ces différences d'état électrique, assimilables à des différences de niveau ou à des différences de température, constituent ce qu'on appelle des *différences de potentiel*.

443. Mesure des potentiels. — Lorsqu'on touche successivement, avec un plan d'épreuve, les divers points d'un corps conducteur électrisé, nous avons vu (430) que le plan d'épreuve acquiert généralement des charges diverses: c'est la mesure de ces charges qui permet d'étudier la *distribution de l'électricité* sur le corps soumis à l'expérience. — Au contraire, si l'on met ce même corps en communication, par un fil fin, avec une petite sphère métallique, placée assez loin pour qu'elle ne puisse éprouver aucune action d'influence, on constate que,

une fois la communication interrompue, la sphère conserve toujours *une même charge*, quel que soit le point du corps par lequel la communication a été établie. — Ce résultat expérimental achève de justifier l'introduction de cet élément nouveau, qu'on appelle le *potentiel* du corps, et qui, ayant la même valeur en tous ses points, caractérise son état électrique. Dans les conditions que nous venons d'indiquer, la petite sphère a été mise *au même potentiel* que le corps, et ce potentiel doit être considéré comme proportionnel à la charge que la petite sphère a acquise.

Le potentiel d'un corps devra être considéré comme *positif* ou *négalif*, selon la nature de la charge qu'il aura communiquée à la petite sphère. — Le potentiel d'un corps sera considéré comme *nul*, si ce corps ne communique aucune charge électrique à la sphère, ou bien encore si ce corps, mis en communication avec le sol, n'éprouve aucun changement d'état électrique.

Enfin, pour déterminer le rapport numérique des potentiels de deux corps, il suffira de mettre successivement ces deux corps en communication avec une même sphère, dans les conditions indiquées, et de mesurer les charges que la sphère aura acquises (*). Le rapport de ces charges exprimera le rapport des potentiels des deux corps. — C'est là, comme on voit, une méthode semblable à celle qu'on emploie pour la comparaison des températures de deux corps, au moyen d'un thermomètre mis successivement en communication avec chacun d'eux.

On voit que l'électromètre à cadrans de Thomson, employé comme il a été dit (441), permet également de déterminer, par le rapport des déviations observées, le rapport des potentiels de deux corps qui auront été mis successivement en contact avec ses secteurs impairs.

Quant à la fixation de l'*unité de potentiel*, c'est un point sur lequel nous reviendrons plus loin, dans l'étude des courants électriques (545).

V. — MACHINES ÉLECTRIQUES.

444. Machine électrique ordinaire. — La machine électrique ordinaire, ou *machine de Ramsden* (fig. 314), se compose de deux parties distinctes :

1° Un plateau de verre circulaire PP', qu'on fait tourner autour de son centre au moyen d'une manivelle G: pendant ce mouvement, le plateau passe entre deux paires de coussins fixes, BB, B'B', qui l'électrisent par frottement (**).

(*) On pourra mesurer, dans chaque cas, la charge acquise par la sphère, en mesurant, par exemple, la répulsion qu'elle exerce sur une sphère égale, avec laquelle elle aura été mise en contact.

(**) Ces coussins sont, dans les anciennes machines, en cuir rembourré de crin; on

2° Des cylindres métalliques, C, C', qui sont isolés par des pieds de verre, et qu'on appelle les *conducteurs* de la machine; ces conducteurs portent, à leurs extrémités voisines du plateau, deux espèces de fers à cheval métalliques, ou *mâchoires*, F, F', qui embrassent le plateau, et qui sont garnis de pointes tournées du côté du verre. — Les conducteurs s'électrisent par l'*influence* du plateau de verre, comme nous allons le montrer.

Considérons, pendant la rotation, les points du plateau qui viennent de franchir l'une des paires de coussins : ils sont chargés d'électricité positive. Lorsqu'ils arrivent entre les branches du fer à cheval suivant, ils décomposent par influence l'électricité neutre des conducteurs, repoussent l'électricité positive vers les parties les plus éloignées, et attirent l'électricité négative vers les pointes des fers à cheval, par lesquelles cette électricité s'écoule. De là résulte : 1° que les conducteurs restent chargés d'électricité *positive*; 2° que les points du plateau qui ont franchi les fers à cheval sont ramenés à l'état neutre. — Ces mêmes points, en passant ensuite dans la paire de coussins suivante, s'électrisent de nouveau, et ainsi de suite (*).

445. **Limite de charge de la machine.** — A mesure qu'on fait tourner le plateau, la quantité d'électricité positive développée sur les conducteurs augmente : elle ne peut cependant pas croître au delà d'une certaine limite. — En effet, chaque portion du plateau, après avoir franchi les mâchoires, est remplacée par une autre, qui arrive chargée de la même quantité d'électricité, et qui tendrait à exercer une nouvelle action décomposante sur les conducteurs. Mais, d'autre part, l'électricité positive déjà développée sur les conducteurs repousse l'électricité de même nom qui tendrait à s'y accumuler encore : cette répulsion est d'autant plus grande que les conducteurs sont déjà plus chargés, il arrive donc un moment où elle fait équilibre à l'action décomposante du plateau. — Donc, même en se plaçant dans les conditions idéales où la machine n'éprouverait *aucune déperdition*, il y aurait toujours une *limite de charge* et, par suite, une *limite de potentiel*, qu'on ne pourrait dépasser.

En réalité, plusieurs causes tendent à rendre cette limite moins reculée qu'elle ne serait dans les conditions précédentes. Telle est surtout la déperdition de l'électricité des conducteurs, par l'air et par les supports, déperdition qui augmente avec la charge elle-même (432). — Lorsque l'air est humide, on cherche à diminuer la déperdition, en

les enduit d'or massif (bisulfure d'étain). On leur substitue quelquefois des frottoirs formés par des plaques de bois recouvertes de plusieurs doubles étoffes et enduites d'un amalgame métallique. — Les coussins doivent toujours presser contre le plateau; pour cela, ils sont garnis, soit de ressorts, soit de vis de pression.

(*) La chaîne métallique M sert à conduire dans le sol le fluide négatif dont se chargent les coussins par frottement.

plaçant des fourneaux sous les conducteurs et en essuyant les pieds de verre avec un linge chaud et sec. — L'électricité développée sur le plateau se perd aussi, dans le temps que met chacun de ses points pour parvenir d'une paire de coussins à la mâchoire suivante : pour atténuer

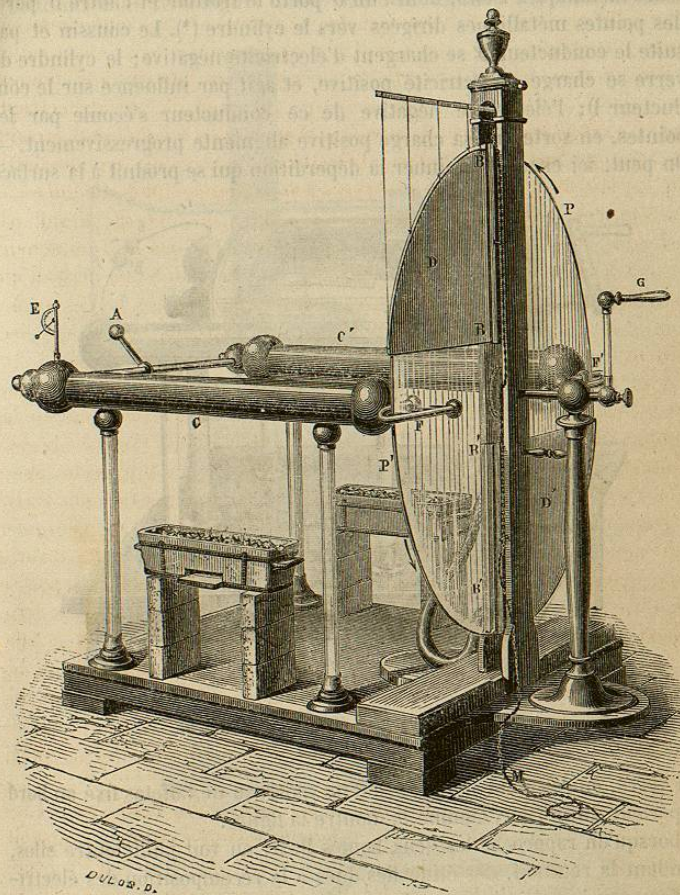


Fig. 314. — Machine électrique de Ramsden.

cette cause de déperdition, on place, sur ce trajet, des quarts de cercles D, D', qui sont formés chacun de deux feuillets de taffetas de soie, dans l'intervalle desquels passe le plateau.

446. **Machine à deux électricités, de Nairne.** — Cette machine peut être considérée comme une modification de la précédente, per-

mettant de recueillir à volonté l'électricité du frottoir ou celle du conducteur. Le plateau est remplacé par un cylindre de verre C (fig. 315), mobile autour de son axe au moyen d'une manivelle; de chaque côté sont placés, parallèlement à l'axe et à la même hauteur, deux conducteurs métalliques isolés, dont l'un D' porte le frottoir et l'autre D porte des pointes métalliques dirigées vers le cylindre (*). Le coussin et par suite le conducteur D' se chargent d'électricité négative; le cylindre de verre se charge d'électricité positive, et agit par influence sur le conducteur D; l'électricité négative de ce conducteur s'écoule par les pointes, en sorte que sa charge positive augmente progressivement. — On peut, ici encore, diminuer la déperdition qui se produit à la surface

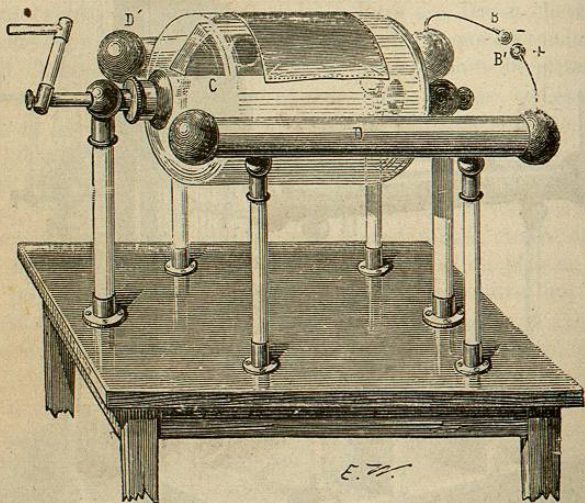


Fig. 315. — Machine électrique de Nairne.

du verre, en couvrant le cylindre d'un morceau de taffetas fixé au bord supérieur du frottoir, comme le montre la figure.

Lorsqu'on rapproche les deux boules B, B', on voit jaillir entre elles, pendant la rotation, des étincelles dues à la recombinaison des électricités contraires des deux conducteurs. — Si les deux boules sont éloignées l'une de l'autre, on peut employer la machine à charger un corps quelconque soit d'électricité positive, soit d'électricité négative, en le faisant communiquer avec tel ou tel des deux cylindres, et mettant l'autre cylindre en communication avec le sol.

(*) Ces pointes ne sont pas visibles sur la figure 315; elles sont masquées par le conducteur D.

447. **Machine hydro-électrique d'Armstrong.** — On doit à Armstrong une machine d'une grande puissance, dans laquelle le développement de l'électricité est dû au frottement exercé par des gouttelettes d'eau liquide, entraînées dans un jet de vapeur.

Cette machine se compose d'une chaudière isolée V (fig. 316), dont la

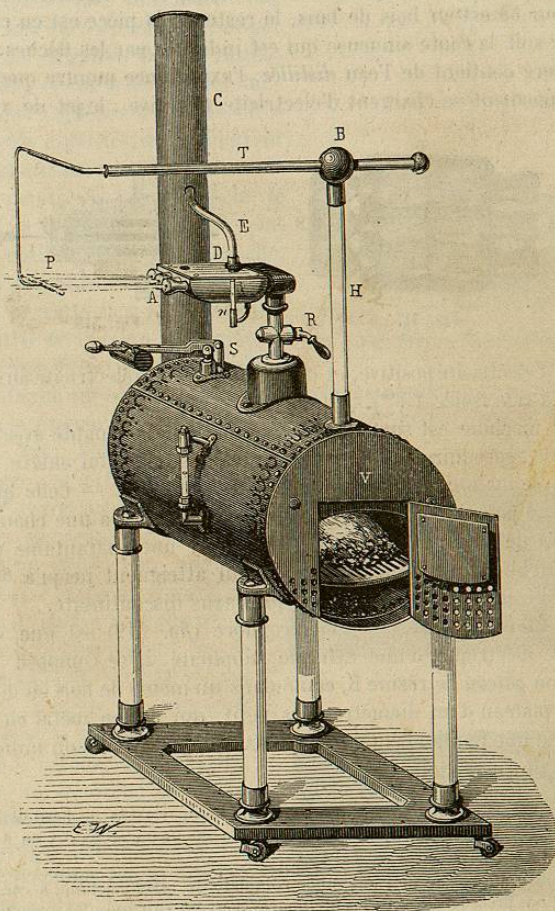


Fig. 316. — Machine hydro-électrique d'Armstrong.

vapeur sort par des becs d'échappement A et vient se porter sur une rangée de pointes métalliques P, supportées par une tige conductrice isolée T. — La boîte réfrigérante D, que la vapeur traverse avant de

s'échapper, est représentée par la figure 517, vue en dessus, et débarrassée de son couvercle : on voit que la vapeur, arrivant du côté R, traverse des tubes métalliques, I, I, I, qui sont entourés d'étoupe mouillée (*) : une partie de la vapeur s'y condense, et se transforme en une sorte de brouillard qui est entraîné dans les becs d'échappement A. L'un de ces becs est représenté en coupe par la figure 518 : le tube intérieur *bb* est en bois de buis, le reste de la pièce est en cuivre; la vapeur suit la route sinueuse qui est indiquée par les flèches. — Si la chaudière contient de l'eau *distillée*, l'expérience montre que les becs d'échappement se chargent d'électricité négative : le jet de vapeur se

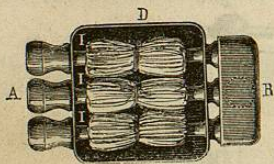


Fig. 517.

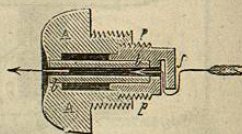


Fig. 518.

charge d'électricité positive, et communique cette électricité aux pointes P et à la tige isolée T (**).

Cette machine est surtout remarquable par la rapidité avec laquelle elle peut reproduire les charges électriques qu'on lui enlève, de manière à se maintenir toujours au même potentiel. — Celle qui a été construite pour l'Institut polytechnique de Londres a une chaudière de 2 mètres de long : la vapeur s'échappe par une quarantaine de becs. Cette machine fournit des étincelles qui atteignent jusqu'à 60 centimètres, et qui se succèdent à peu près sans discontinuité.

448. **Électrophore.** — L'électrophore (fig. 519) est une sorte de machine électrique, d'une extrême simplicité. Il se compose : 1° d'un disque ou *gâteau* de résine B, coulé dans un moule de bois ou de métal; 2° d'un plateau d'un diamètre plus petit, qui est en métal ou en bois couvert d'une feuille d'étain : ce plateau est muni, en son milieu, d'un manche de verre isolant.

(*) On maintient l'étoupe constamment mouillée, en versant de l'eau dans le fond de la boîte : le tube de verre *n* (fig. 516) permet de s'assurer qu'il y en a toujours une quantité suffisante.

(**) Faraday, auquel on doit une étude complète de cette machine, a constaté que les conditions précédentes sont les meilleures pour obtenir un effet maximum.

Il est indispensable que l'eau dont est chargée la chaudière soit de l'eau distillée. L'eau ordinaire, ou l'eau tenant en dissolution des substances qui la rendent plus conductrice, ne donne, selon Faraday, aucun dégagement d'électricité. — Des jets de vapeur entièrement gazeuse, et ne contenant pas de gouttelettes liquides en suspension, ne produisent non plus aucun résultat. Il en est de même de jets d'air comprimé et sec. — L'air humide, l'air chargé de gouttelettes de divers liquides autres que de l'eau, ou de poussières solides diverses, donnent une électricité dont le signe dépend de la nature des corps en suspension.

On charge d'électricité négative le gâteau de résine, en le frottant avec une peau de chat bien sèche; puis, on y place le plateau métallique, dont l'électricité neutre est décomposée par influence. L'électricité négative est repoussée vers la face supérieure du plateau MM' (fig. 520); l'électricité positive est attirée vers sa face inférieure : elle n'est pas sensiblement neutralisée par l'électricité négative de la résine, parce que la résine n'est pas conductrice, et que d'ailleurs le gâteau offre toujours des aspérités, ne permettant le contact que par un très petit nombre de points. Si l'on approche le doigt de la face supérieure du plateau, on obtient une petite étincelle, due à la combinaison de l'électricité négative de cette face avec l'électricité positive de la main, et le plateau reste chargé d'électricité *positive*, qui est maintenue sur sa face inférieure. — Si maintenant on soulève le plateau, en le prenant par le manche de verre, et qu'on l'éloigne de la résine (fig. 521), l'électricité positive qu'il contient se répand sur ses

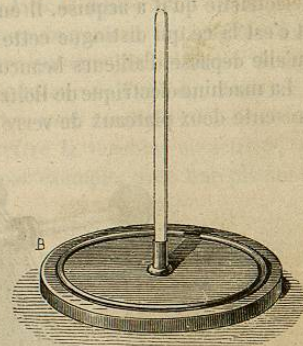


Fig. 519. — Électrophore.

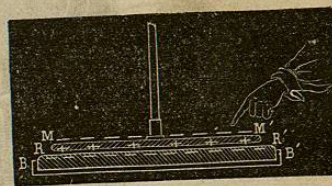


Fig. 520.

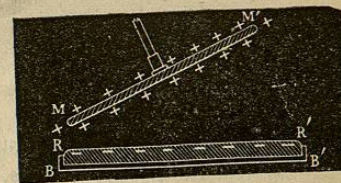


Fig. 521.

deux faces : il peut donner une étincelle quand on en approche le doigt, ou communiquer son électricité à un conducteur quelconque. — Cette manœuvre n'a d'ailleurs rien enlevé à la résine, en sorte que, si l'on replace le plateau métallique sur la résine, qu'on le remette en communication avec le sol et qu'on l'enlève par le manche de verre, on y constate un nouveau développement d'électricité, et ainsi de suite presque indéfiniment.

L'électrophore est la machine électrique des laboratoires de chimie; lorsqu'on l'emploie à charger une bouteille de Leyde, on peut, en prolongeant la manœuvre, obtenir des effets assez intenses.

449. **Machine électrique de Holtz.** — Pour faire fonctionner l'électrophore, on vient de voir qu'il n'est nécessaire de développer,

dans la résine, par frottement, qu'une quantité *limitée* d'électricité. Les déplacements successifs qu'on imprime ensuite au plateau mobile suffisent pour lui faire acquérir, par influence, des quantités *presque indéfinies* d'électricité, à la condition qu'on lui enlève, à chaque fois, l'électricité qu'il a acquise. Il en est de même dans la machine de Holtz, et c'est là ce qui distingue cette machine de la machine de Ramsden, qu'elle dépasse d'ailleurs beaucoup en puissance.

La machine électrique de Holtz, sous sa forme la plus simple (fig. 522), présente deux plateaux de verre circulaires A, B, placés parallèlement,

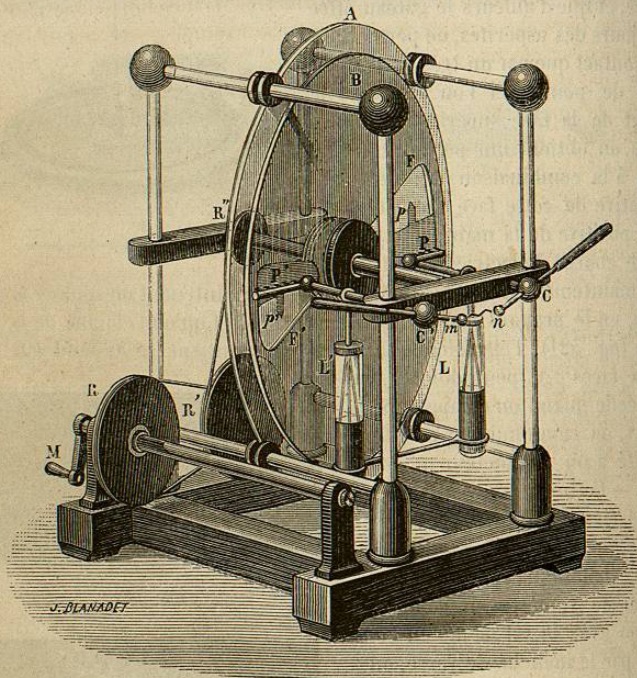


Fig. 522. — Machine électrique de Holtz.

à une petite distance. L'un de ces plateaux A est un *plateau fixe*, qui est assujéti entre des cales de bois, maintenues par des tiges de verre. L'autre plateau B, d'un diamètre un peu plus petit, est *mobile* autour d'un axe passant par son centre; la rotation se produit au moyen de la manivelle M et des roues R, R', R'', reliées entre elles par des courroies sans fin. En regard de la face antérieure du plateau B, sont disposés deux peignes métalliques, P, P', placés sur un même diamètre horizontal, et communiquant avec des conducteurs métalliques C, C'; ces conduc-

teurs sont terminés par des boules *m, n*, dont on peut régler à volonté la distance en faisant glisser les tiges qui les supportent, et qui sont munies de manches isolants, comme le montre la figure. Le plateau mobile B ne présente aucune ouverture. Dans le plateau fixe A, sont pratiquées deux fenêtres F, F': dans la figure 522, on aperçoit ces fenêtres par transparence, au travers du plateau B; la figure 523, qui représente le plateau A seul, montre en outre deux bandes de carton mince *b, b'*, collées près du bord inférieur de l'une des fenêtres et près du bord supérieur de l'autre: elles sont terminées chacune par une pointe de carton, *p, p'*. — Pour mettre la machine en activité, on touche l'une des bandes de carton, *b* par exemple, avec une plaque de caoutchouc électrisée négativement: c'est ce qu'on appelle *amorcer* la machine. Cela fait, on amène au contact les boules *m* et *n* des conducteurs, et on met en mouvement le plateau B; après lui avoir fait faire quelques tours, on éloigne *m* de *n*, à quelques centimètres, et l'on obtient, en continuant à faire tourner le plateau A, une série continue de fortes étincelles entre les deux boules, pendant un temps presque indéfini, si l'air est bien sec. — Si l'on amène les deux boules à une distance telle que les étincelles ne puissent plus jaillir de l'une à l'autre, on peut se servir de l'un des conducteurs pour charger d'électricité un corps quelconque.

Voici comment on peut se rendre compte de cette production continue d'électricité. — La bande *b*, une fois chargée d'électricité négative par la plaque de caoutchouc, agit par influence, au travers du plateau mobile B, sur le peigne voisin P (fig. 522); par les pointes de ce peigne s'écoule de l'électricité positive qui se porte sur la face antérieure du plateau mobile B, tandis que la boule *n*, qui termine le conducteur auquel ce peigne est fixé, se charge d'électricité négative: comme le mouvement du plateau mobile amène ensuite des parties

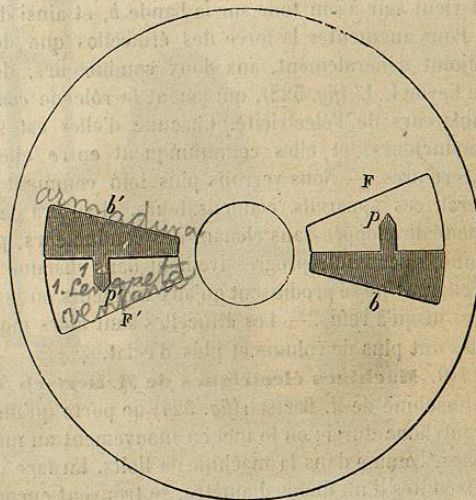


Fig. 523. — Plateau fixe de la machine de Holtz.

nouvelles dans la région où cette action se produit, elle se continue avec la même intensité. D'autre part, les points du plateau mobile qui se sont ainsi chargés d'électricité positive arrivent devant la bande *b'*; ils agissent sur elle par influence, et, à cause de la pointe *p'*, y développent de l'électricité positive; en même temps, le plateau mobile reçoit, sur sa face postérieure, une quantité d'électricité négative à peu près égale à la quantité d'électricité positive que contenait sa face antérieure, et alors, en raison de sa minceur, il se comporte comme s'il était à l'état naturel. Mais la bande *b'*, électrisée positivement, agit sur le peigne *P'* comme *b* agissait sur *P*, c'est-à-dire qu'elle charge d'électricité positive le conducteur correspondant *m*; l'électricité négative, qui s'écoule par le peigne, est recueillie par le plateau mobile, et vient agir à son tour sur la bande *b*, et ainsi de suite (*).

Pour augmenter la force des étincelles que donne la machine, on adjoint généralement, aux deux conducteurs, deux petites bouteilles de Leyde *L, L'* (fig. 322), qui jouent le rôle de condensateurs, ou accumulateurs de l'électricité. Chacune d'elles est suspendue à l'un des conducteurs, et elles communiquent entre elles par leurs surfaces extérieures. — Nous verrons plus loin comment fonctionnent, en général, ces appareils condensateurs. Il suffira de dire ici que l'électricité développée dans chacun des conducteurs, par le jeu de la machine, s'accumule progressivement dans chacune des bouteilles, et les décharges ne se produisent qu'aux moments où les bouteilles sont chargées jusqu'à refus. — Les étincelles sont alors moins fréquentes, mais elles ont plus de volume et plus d'éclat.

449. **Machines électriques de M. Bertsch et de M. Carré.** — La machine de M. Bertsch (fig. 324) ne porte qu'un plateau, qui est en caoutchouc durci; on le met en mouvement au moyen d'un système de roues, comme dans la machine de Holtz. En face de ce plateau, et aux extrémités d'un même diamètre, se trouvent encore deux peignes *P, P'*, communiquant chacun avec un conducteur, *C, C'*.

Le corps dont l'influence détermine le développement de l'électricité sur le plateau est ici un secteur fixe de caoutchouc durci, placé en *B*, en regard de l'un des peignes, mais séparé de lui par le plateau lui-même; il suffit de frotter ce secteur avec la main sèche, pour lui communiquer une charge qui a pour effet, pendant la rotation du plateau, la production d'un flux continu d'étincelles entre les conducteurs *C* et *C'*.

(*) On construit aussi des machines doubles, formées de deux plateaux fixes, de part et d'autre desquels se trouvent deux plateaux mobiles, montés sur un même axe de rotation: les peignes se recourbent alors, en forme de mâchoires, comme dans la machine de Ramsden, de manière à présenter leurs pointes aux faces extérieures des deux plateaux mobiles. — Outre l'avantage que présentent ces machines, de fournir, en un même temps, deux fois plus d'électricité que les machines simples, l'expérience montre qu'elles ont aussi l'avantage de rester amorcées beaucoup plus longtemps, quand on cesse de faire tourner les plateaux mobiles.

Lorsque les conducteurs sont éloignés l'un de l'autre, l'un d'eux peut être employé comme source d'électricité.

On voit que le secteur *B*, électrisé négativement, doit agir par influence, au travers du plateau, sur le peigne *P'*, repousser l'électricité négative dans le conducteur *C'*, et attirer l'électricité positive dans les pointes, qui la laissent écouler sur le plateau. Les points du plateau ainsi chargés positivement arrivent en face du peigne *P*, repoussent

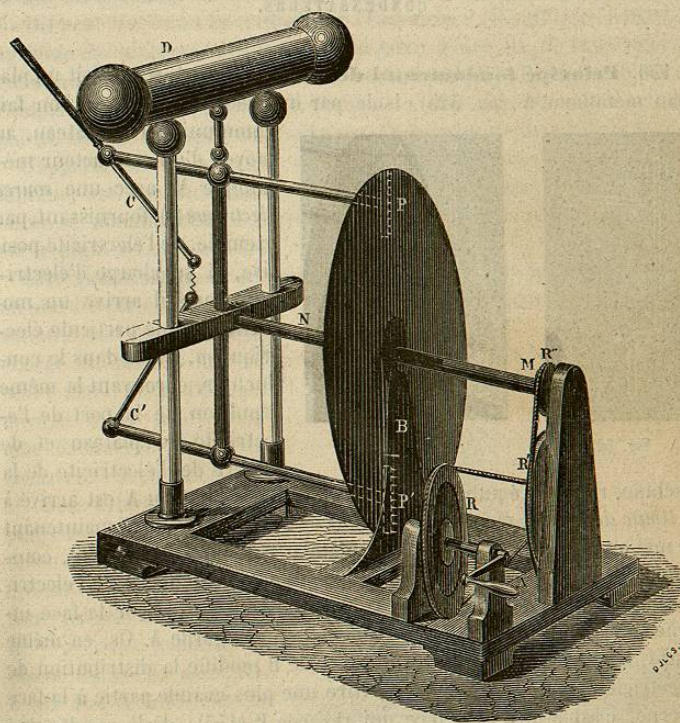


Fig. 524. — Machine électrique de M. Bertsch.

de l'électricité positive dans le conducteur *C*, et attirent dans les pointes l'électricité négative qui s'écoule sur le plateau lui-même: les points du plateau qui le reçoivent reviennent à l'état naturel, et peuvent, en repassant devant *B*, donner lieu à la même série de phénomènes. — L'expérience montre qu'on augmente l'intensité des décharges, en mettant en communication, avec le conducteur *C*, un autre conducteur *D* offrant une surface considérable.

La machine électrique de M. Carré, qui se trouve maintenant dans