bord de la fenêtre. Sur la fenêtre F′, le bord supérieur est armé de la même manière d'une bande de papier p' et d'une languette n'. Les bandes p, p' s'appellent les *armures*. Les deux plateaux, les armures, les languettes (surtout sur leurs bords) sont recouverts avec soin d'une couche de vernis à la gomme laque.

En avant du plateau B, à la hauteur des armures, sont deux peignes de cuivre O, O′, supportés par deux conducteurs de même métal C, C′ (fig. 887). A leurs extrémités antérieures, ceux-ci se terminent par deux boules assez grosses, que traversent deux tiges de cuivre terminées par deux boules plus petites r, r', et munies de poignées d'ébonite K, K′. Ces tiges peuvent non seulement glisser à frottement doux dans les grosses boules, mais tourner avec elles, de manière à être plus ou moins rapprochées et inclinées. La rotation du plateau B s'obtient à l'aide d'une manivelle M et d'une suite de poulies et de courroies sans fin; sa vitesse est de 12 à 15 tours par seconde, et la rotation doit avoir lieu dans le sens des flèches, c'est-à-dire vers les pointes des languettes n, n' (fig. 889).

Amorçage et fonctionnement. — Il faut commencer par *amorcer* les armures p, p', c'est-à-dire par les électriser, l'une positivement, l'autre négativement. Pour cela on fait usage d'une plaque d'ébonite, qu'on électrise en la frottant avec une peau de chat, ou avec la main; puis on met en contact les boules r, r', de manière que les deux conducteurs C, C′ n'en fassent qu'un, comme le montre la

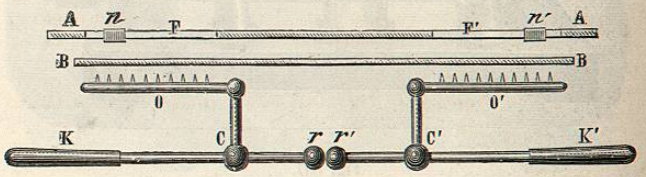

Fig. 888.

figure 888 (qui donne, en coupe horizontale suivant l'axe de rotation, la disposition relative des plateaux et des conducteurs). Approchant alors derrière une des armures, p par exemple (fig. 889), la plaque d'ébonite, qui est négative, cette plaque soutire par la languette n l'électricité positive de l'armure, et la charge d'électricité négative. Cette dernière induisant de même, à travers le plateau B, à mesure qu'il tourne, les conducteurs OCC′O′ (fig. 888), soutire par le peigne O l'électricité positive qui se dépose sur la face antérieure du plateau mobile, tandis qu'en même temps l'électricité négative, refoulée sur le peigne O′, va se déposer, comme la première, sur la partie antérieure du plateau B. Par suite, les deux électricités étant entraînées par la rotation, au bout d'une demi-révolution, tout le contour inférieur du plateau B, de p en F′ (fig. 889), est électrisé positivement, et son contour supérieur, de p' en F, négativement. Or, les deux électricités contraires, au-

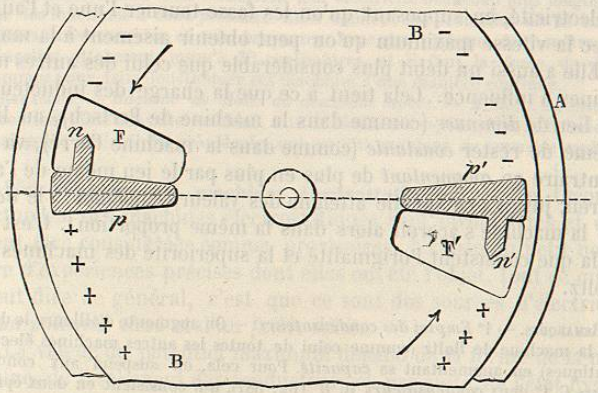

Fig. 889.

dessous et au-dessus de la fenêtre F′, agissant dans le même sens pour décomposer l'électricité neutre de l'armure $p'n'$, la partie p' s'électrise positivement, pendant que l'électricité négative se dégage par la languette n' et vient se déposer sur la face interne du plateau B, où, vu la faible épaisseur de celui-ci, elle neutralise à peu près complètement l'électricité positive déposée sur la face antérieure.

Les deux armures sont alors amorcées, et le même effet qu'en F′ se produit en F sur l'armure pn, c'est-à-dire que les électricités contraires, au-dessus et au-dessous de pn, décomposant une nouvelle quantité d'électricité neutre, la charge négative de la partie p augmente, tandis que l'électricité positive qui se dégage par la languette n va neutraliser l'électricité négative qui arrive de F′ vers F; et ainsi de suite jusqu'à ce que, la machine ayant atteint un potentiel maximum, l'équilibre s'établisse entre toutes ses parties. A partir de ce moment, la rotation ne fait plus qu'entretenir le potentiel constant. Dans un air parfaitement sec, la machine peut fonctionner fort longtemps sans qu'il soit besoin de l'amorcer de nouveau avec la plaque d'ébonite. Si l'on supprime

alors celle-ci et si l'on écarte les boules r et r', à une distance qui dépend de la puissance de la machine, un torrent d'étincelles jaillit d'une manière continue d'une boule à l'autre (fig. 887), à la condition de continuer le mouvement de rotation.

Puissance de la machine. — A plateaux égaux, la machine de Holtz est beaucoup plus puissante que la machine ordinaire *à frottement*. Elle débite, dans le même temps, de 20 à 30 fois plus d'électricité, en supposant qu'on les fasse tourner l'une et l'autre avec la vitesse maximum qu'on peut obtenir aisément à la main.

Elle a aussi un débit plus considérable que celui des autres machines à influence. Cela tient à ce que la charge des inducteurs, au lieu de *diminuer* (comme dans la machine de Bertsch), au lieu même de rester *constante* (comme dans la machine Carré), va au contraire en *augmentant* de plus en plus par le jeu même de l'appareil, jusqu'à ce qu'elle atteigne des valeurs énormes : le *débit* de la machine s'accroit alors dans la même proportion[1]. C'est en cela que consistent l'originalité et la supériorité des machines de Holtz.

Remarques. — 1° *Emploi des condensateurs.* — On augmente d'ailleurs le débit de la machine de Holtz (comme celui de toutes les autres machines électrostatiques) en augmentant sa *capacité*. Pour cela, on suspend aux conducteurs C, C' deux *condensateurs* H, H' (fig. 887), qui consistent en deux éprouvettes de verre épais, dont les parois intérieures et extérieures sont recouvertes d'une feuille d'étain jusqu'à un cinquième de leur hauteur. Chaque éprouvette est fermée par un bouchon dans lequel passe une tige de cuivre à crochet, communiquant d'un bout à la feuille d'étain intérieure, et suspendue de l'autre à un des conducteurs. A l'extérieur, les deux feuilles d'étain sont en communication par un conducteur G. En réalité, ces éprouvettes ne sont autre chose que deux petites bouteilles de Leyde (965), se chargeant, l'une, H, d'électricité négative à l'intérieur et positive à l'extérieur, l'autre, H', d'électricité positive à l'intérieur et négative à l'extérieur. Comme elles se chargent par l'intermédiaire de la machine, et se déchargent au fur et à mesure par les boules r, r', elles renforcent l'étincelle, qui atteint alors jusqu'à 17 centimètres.

2° Pour utiliser le courant de la machine de Holtz, on dispose en avant du bâti deux bornes de laiton Q, Q' (fig. 887), desquelles partent deux fils de cuivre; puis, au moyen des poignées K, K', on incline les tiges qui portent les boules r, r', de manière à mettre celles-ci en contact avec les bornes. De là on peut diriger le flux d'électricité dans des fils ou des appareils quelconques de manière à réaliser un grand nombre d'expériences.

3° L'expérience a fait voir qu'il n'y a d'efficace dans les armures que la partie qui correspond aux peignes, et que leurs dimensions sont indifférentes.

4° Quant aux fenêtres, leurs dimensions peuvent aussi varier; on a même pu les réduire à de simples fentes. Outre leur fonction de support pour les armures, on admet qu'elles ont aussi pour effet de laisser dégager l'ozone qui se forme entre les deux plateaux et dont la présence nuirait à la production de l'électricité.

1. Pellat, *loc. cit.*

5° La machine de Holtz est d'un petit volume, et demande, pour être mise en mouvement, moins de force que les machines à frottoirs. Toutefois, quand on fait tourner le plateau après avoir électrisé les armures, on éprouve une résistance plus grande qu'avant l'électrisation : cela tient à ce que le travail mécanique déployé par l'opérateur est alors transformé en électricité.

955. **Machines de Holtz à quatre plateaux.** — Les machines actuelles ont généralement quatre plateaux : les deux plateaux intérieurs sont fixes et munis de fenêtres, les deux extérieurs sont mobiles et pleins, et les deux condensateurs sont plus grands. Ces nouvelles machines ne sont pas seulement plus puissantes, mais elles conservent leur électricité beaucoup plus longtemps que les machines à deux plateaux. Elles donnent des étincelles de 20 centimètres, très nourries et très bruyantes. Avec des plateaux de 1 mètre, les étincelles atteignent jusqu'à 30 centimètres, et il faut la force de deux hommes pour faire fonctionner ces machines d'une manière continue.

Remarque. — *Machine de Holtz de deuxième espèce.* — M. Holtz a construit récemment une nouvelle machine, dite *de deuxième espèce*, dont la théorie est analogue à celle de la précédente, qui est dite *machine de première espèce*[1].

956. **Théorie des machines électrostatiques.** — Les théories actuelles des machines électrostatiques sont incomplètes et doivent être considérées comme provisoires, à cause du petit nombre d'expériences précises dont elles ont été l'objet. Tout ce qu'on peut dire de général, c'est que ce sont des sources d'électricité *d'un potentiel élevé* et d'un *faible débit*.

La valeur du potentiel maximum dépend de la forme de la machine, de l'isolement des conducteurs et, par suite, de l'état hygrométrique de l'air ambiant, enfin de la force mécanique mise en jeu. D'après M. Thomson, les bonnes machines à frottement, qui donnent des étincelles de 3 centimètres de longueur, ont un potentiel à peu près égal à celui d'une pile de 80 000 à 100 000 éléments Daniell (1005). Ce potentiel peut même être dépassé avec certaines machines, mais on peut l'admettre, comme une moyenne, pour les machines qui servent à charger les batteries électriques.

Dans toutes les machines électrostatiques, l'*électricité positive* s'écoule des peignes sous la forme de *houppes violettes* (très visibles dans l'obscurité), qui *vont à la rencontre du plateau tournant*, c'est-à-dire qui s'échappent en sens inverse du mouvement de rotation du plateau. L'*électricité négative* se manifeste tout autrement aux pointes qui la laissent écouler : elle prend l'apparence de petites *étoiles* lumineuses, également *violettes*.

Le conducteur qui communique avec les peignes *positifs* est le *pôle négatif* de la machine; celui qui communique avec les peignes *négatifs* en est le *pôle positif*.

1. Voir la description de la *Machine de Holtz de deuxième espèce*, dans Guillemin, *Monde physique*, t. III.

EFFETS DES MACHINES ÉLECTRIQUES. — EXPÉRIENCES CLASSIQUES.

957. **Étincelle électrique.** — *Production.* — Un des premiers phénomènes qu'on observe lorsqu'on expérimente avec une machine électrique, est la vive étincelle qu'on tire des conducteurs lorsqu'on en approche la main. On a déjà vu que la cause de ce phénomène est l'action par influence qu'exerce l'électricité positive de la machine sur l'électricité neutre de la main. Cette électricité étant décomposée, l'attraction entre les électricités contraires de la machine

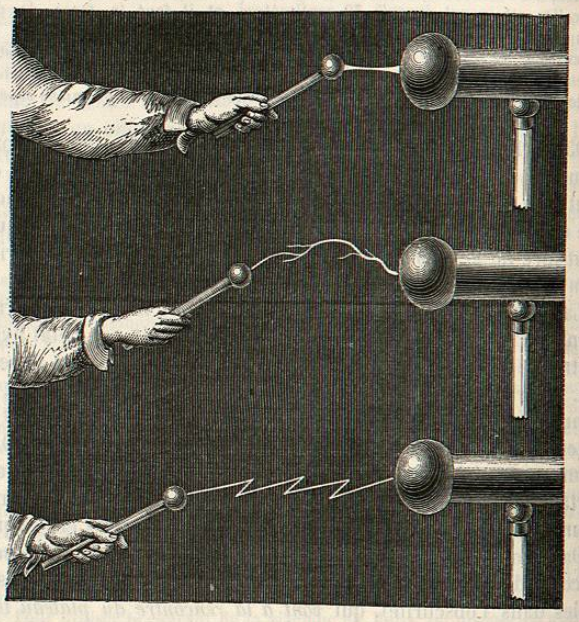

Fig. 890, 891 et 892.

et de la main finit par l'emporter sur la résistance de l'air; à ce moment, les deux électricités se recomposant avec bruit et lumière, l'étincelle apparait, vive, instantanée, et accompagnée d'une piqûre plus ou moins forte, selon la puissance de la machine.

Forme. — La forme de l'étincelle est variable. Si elle éclate à une faible distance, elle est rectiligne (fig. 890). Au delà de 6 à 7 centimètres de longueur, l'étincelle devient irrégulière et présente la forme d'une courbe sinueuse, accompagnée de ramifications très déliées (fig. 891). Enfin, si la décharge est très forte, l'étincelle prend la forme d'un zigzag (fig. 892). Ce sont les deux dernières formes que présentent les *éclairs*.

Durée. — Wheatstone, en Angleterre, avait déjà cherché à rendre appré-

ciable la durée de l'étincelle électrique par la méthode du miroir tournant employée par Foucault à la recherche de la vitesse de la lumière. Il trouva qu'avec une vitesse de rotation suffisante les étincelles donnaient des images allongées dans le sens de la rotation, ce qui rendait la durée de l'étincelle appréciable.

Plus tard, Arago, voulant rendre sensible la durée des éclairs, fit usage d'un disque métallique qui tournait autour d'un axe perpendiculaire à son plan. Ce disque était divisé, dans le sens des rayons et à des intervalles égaux, par des ouvertures longitudinales très étroites qui laissaient passer la lumière. En regardant les éclairs à travers ce disque qui tournait avec une vitesse connue, on voyait les traits d'autant plus larges que la durée de l'éclair était plus grande.

En 1870, MM. Lucas et Cazin ont imaginé un instrument, le *chronoscope à étincelles électriques*, qui permet de mesurer la durée de l'étincelle en millionièmes de seconde. Ils expérimentaient en établissant une distance de 5 millimètres entre deux boules, chargées par les armatures d'une batterie électrique (967); ils trouvèrent des durées différentes suivant la puissance de la batterie. Voici quelques-uns de leurs résultats numériques.

Nombre des jarres.	Durée en millionièmes de seconde.
2	26
4	41
6	47
8	55

On voit que la durée de l'étincelle croît avec le nombre des jarres, qu'elle augmente aussi avec la distance des deux pôles, mais qu'elle est indépendante du diamètre des boules entre lesquelles l'étincelle éclate.

Dans les machines électriques, la durée de l'étincelle est tellement petite, qu'on ne peut même pas l'apprécier avec le chronoscope.

Distance explosive. — On appelle ainsi la *distance maximum* à laquelle peut se produire l'étincelle entre deux conducteurs électrisés. La distance explosive entre deux conducteurs électrisés est sensiblement *proportionnelle à la différence de potentiels* de ces deux conducteurs.

958. **Expérience du tabouret électrique.** — L'étincelle électrique se présente sous un aspect remarquable lorsque c'est du corps humain qu'on la fait jaillir [1]. On place la personne qu'il s'agit d'électriser sur un tabouret à pieds de verre, nommé *tabouret électrique;* puis cette personne ainsi isolée pose une main sur l'un des conducteurs de la machine. Le corps humain conduisant bien l'électricité, à mesure que la machine se charge, l'électricité se distribue sur le corps de la personne en même temps que sur les conducteurs, en sorte que, si on la touche sur les mains, sur la figure ou sur les vêtements, on en tire des étincelles comme de la machine elle-même. Tant qu'on n'approche pas la main de la personne isolée, elle n'éprouve aucune commotion, quoiqu'elle soit fortement électrisée; mais ses cheveux se hérissent et se dirigent vers les corps qu'on leur présente, et elle ressent, sur les mains et sur la figure, un souffle léger, qui est un effet de la répulsion de l'air, à mesure qu'il s'électrise par contact.

On peut encore électriser une personne, isolée sur le tabouret à pieds de verre, en la battant avec une peau de chat; elle attire alors le pendule

1. C'est Dufay, physicien français, qui le premier, en 1734, tira une étincelle du corps humain.

électrique et donne des étincelles à l'approche de la main. Si la personne qui tient la peau de chat monte elle-même sur un second tabouret isolant, les deux expérimentateurs sont électrisés, l'un positivement, l'autre négativement (888).

959. **Carillon électrique.** — Le *carillon électrique* est un petit appareil composé de trois timbres métalliques suspendus à une tringle horizontale qu'on met en communication avec la machine électrique (fig. 893). Les timbres A et B pendent par des chaînes métalliques qui établissent la communication avec la tringle, tandis que le timbre du milieu pend par un fil de soie qui l'isole de la machine; mais il communique avec le sol au moyen d'une chaîne. Enfin, entre le timbre du milieu et les deux autres sont deux petites boules de cuivre suspendues par des fils de soie. Lorsqu'on charge la machine, les timbres A et B, s'électrisant positivement, attirent les boules, puis les repoussent dès qu'il y a eu contact. Or celles-ci, se trouvant alors électrisées positivement, se portent vers le timbre C, qui, quoique en communication avec le sol, est chargé d'électricité négative par l'influence des deux autres. Aussitôt après le contact, les boules sont donc repoussées vers les timbres A et B, et exécutent un mouvement de va-et-vient rapide et des chocs successifs qui font résonner les trois timbres tout le temps que la machine est chargée.

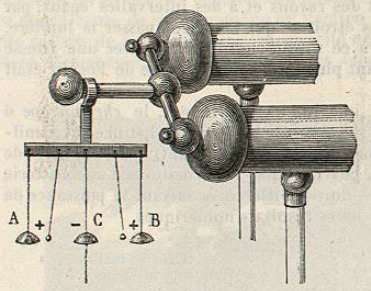

Fig. 893.

960. **Tourniquet et vent électriques.** — On nomme *tourniquet électrique* un petit appareil composé de cinq ou six rayons métalliques recourbés tous dans le même sens, terminés en pointe et fixés à une chape commune, mobile sur un pivot (fig. 894). Cet appareil étant posé sur la machine électrique, aussitôt que celle-ci se charge, les rayons et la chape prennent un mouvement de rotation rapide dans la direction opposée aux pointes. Ce mouvement n'est point un effet de réaction comparable à celui du tourniquet hydraulique (157), comme l'ont admis plusieurs physiciens : c'est un effet de répulsion entre l'électricité des pointes et celle qu'elles communiquent à l'air. L'électricité, s'accumulant vers les pointes, s'écoule dans l'air, et comme celui-ci se trouve chargé de la même électricité que les pointes, il les repousse en même temps qu'il en est repoussé lui-même. En effet, le tourniquet n'entre point en mouvement dans le vide, et si l'on approche la main tandis qu'il tourne dans l'air, on sent un souffle léger, qui est dû au déplacement de l'air électrisé, et qu'on désigne sous le nom de *vent électrique*.

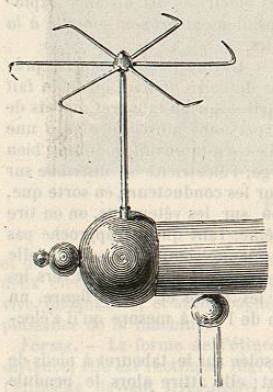
Fig. 894.

Quand l'électricité s'écoule ainsi par une pointe, l'air électrisé est assez fortement repoussé pour donner naissance à un courant qui non seulement est sensible à la main, mais peut souffler et même éteindre la flamme d'une bougie, du moins avec une puissante machine électrique. La figure 895 montre comment se dispose cette expérience. On obtient le même effet en posant la bougie sur l'un des conducteurs et en lui présentant une pointe métallique qu'on tient à la main (fig. 896). Le courant provient, dans ce dernier cas, de l'électricité contraire qui se dégage de la pointe métallique par l'influence de la machine.

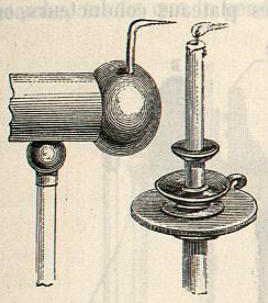
Fig. 895.

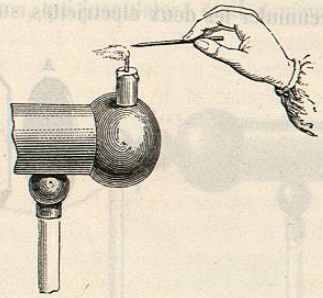
Fig. 896.

CHAPITRE VIII

CONDENSATION DE L'ÉLECTRICITÉ.

ÉTUDE EXPÉRIMENTALE ET THÉORIE.

961. **Condensateurs.** — On donne le nom général de *condensateurs* à des appareils qui servent à accumuler, sur des surfaces relativement petites, des quantités considérables d'électricité. Tout condensateur se compose essentiellement de deux corps conducteurs séparés par un corps isolant. Les divers condensateurs ne diffèrent entre eux que par la forme et les dimensions des conducteurs et de l'isolant. Le type de ces appareils est le *condensateur à plateaux*, d'Æpinus.

962. **Condensateur d'Æpinus.** — 1° *Description.* — Cet appareil est formé de deux plateaux de laiton A et B (fig. 897), et d'une lame de verre C qui les sépare. Ces plateaux, munis chacun d'un petit pendule électrique à fil conducteur de chanvre, sont isolés sur