

parce que les secondes leur sont supérieures, mais elles ont un grand intérêt historique. On trouve dans tous les cabinets de physique la *machine de Ramsden*, qui date de 1766 et dont nous rappellerons sommairement les dispositions. Un grand plateau de verre, mobile autour d'un axe horizontal au moyen d'une manivelle, s'électrise en frottant contre deux paires de coussins, en cuir rembourré saupoudré d'or mussif, respectivement placées en haut et en bas de son diamètre vertical ; ces coussins sont appuyés sur le plateau et maintenus en contact avec lui par des ressorts flexibles. Le plateau de verre passe d'ailleurs, sans contact, entre deux conducteurs en fer à cheval, placés sur son diamètre horizontal ; ces conducteurs sont munis intérieurement de peignes à dents pointues. L'électricité développée par le frottement du verre sur les coussins est transportée par le plateau entre les peignes qui la neutralisent et font acquérir une charge égale d'électricité positive aux conducteurs isolés avec lesquels ils sont en communication ; bien qu'il ne s'agisse pas ici de conducteurs fermés, l'influence électrique remplit un rôle analogue à celui que nous avons précédemment décrit (n° 8) à propos du cylindre de Faraday. Le plateau de verre tournant est *producteur* d'électricité en frottant contre les coussins et *transmetteur* en passant près des peignes ; les conducteurs communiquant avec ces derniers forment un *collecteur* d'électricité. On fait ordinairement communiquer les coussins avec le sol pour envoyer au réservoir commun l'électricité négative dont ils se chargent et pour annuler leur potentiel. C'est l'électricité positive accumulée sur le collecteur qui sert aux expériences. Avec une machine de Ramsden dont le plateau de verre a 80 centimètres de diamètre, on peut obtenir des étincelles de 10 centimètres. Lorsque l'on arrête le mouvement du plateau, la déperdition de

l'électricité se produit d'autant plus vite que l'air ambiant est plus humide (1).

L'énergie électrique communiquée au collecteur est une transformation du travail mécanique nécessaire pour transporter l'électricité du plateau depuis les coussins producteurs qui l'attirent jusqu'aux collecteurs qui la repoussent. Le travail mécanique que coûte le frottement se transforme principalement en chaleur ; il en résulte que les machines à frottement n'ont qu'un faible rendement utile. Nous voyons ainsi qu'au lieu de recourir au frottement pour produire la totalité de l'électricité, que la machine doit rendre disponible, il doit être plus avantageux de recourir au principe de l'électrophore, qui permet d'obtenir par induction une quantité indéfinie d'électricité, au moyen d'une faible charge préalablement donnée à un corps isolant servant d'*amorce*. Tel est, en effet, le principe fondamental des *machines à induction* que l'on peut considérer comme des *multiplieurs d'électricité*.

Voici une observation qu'il est utile de faire tout d'abord. C'est ordinairement un plateau *conducteur* que l'on fait influencer par le gâteau de résine électrisé de l'électrophore ; si l'on remplaçait la substance conductrice de ce plateau par un corps mauvais conducteur, celui-ci, soumis à l'influence, se comporterait comme un assemblage de particules conductrices séparées les unes des autres par un milieu isolant ; chacune de ces particules se chargerait des deux électricités, de manière que l'électricité négative (de même nature que celle de la résine influençante) occuperait, sur la surface de cette particule, la région la plus

(1) Deux autres machines à frottement, inventées postérieurement à celle de Ramsden, doivent être citées ici, ne fut-ce que pour mémoire. Ce sont la *machine de Van Marum*, qui donne à volonté l'une ou l'autre électricité, et la *machine de Nairne* qui donne en même temps les deux électricités. On trouve leur description dans la plupart des traités de physique.

éloignée du gâteau ; si donc le plateau est très-mince, il fonctionnera presque comme s'il était conducteur, se chargeant d'électricité positive sur la face touchant le gâteau et d'électricité négative sur l'autre face.

La *machine de Carré* (fig. 3) est une bonne machine à induction ; son *amorceur* (qui doit remplir le rôle induc-

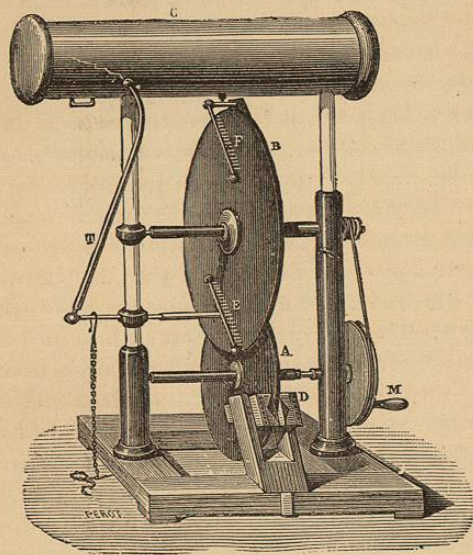


Fig. 3.

teur du gâteau de résine), est un petit disque de verre A qui se charge d'électricité *positive* en frottant sur une paire de coussins analogues à ceux de la machine de Ramsden ; ce petit disque, mis en mouvement par l'axe de la poulie à gorge qui actionne le disque principal B, tourne beaucoup moins vite que ce dernier, son frottement contre les coussins ayant seulement pour objet de compenser les déper-

ditions lentes, mais inévitables, de sa petite charge électrique. C'est cette petite charge de l'amorceur qui, par la mise en œuvre des phénomènes de l'influence, sert de base à la production d'une quantité indéfinie d'électricité. Le grand disque B fait office de *multiplicateur* et de *transmetteur*. A cet effet, sa partie inférieure passe, sans contact, entre l'amorceur A et un peigne E relié à la terre, tandis que sa partie supérieure passe très près d'un peigne F attaché au conducteur cylindrique C, destiné à remplir l'office de *collecteur*. Le jeu de la machine est facile à comprendre. La partie inférieure du mince et large disque B (en gutta-percha ou en ébonite), s'électrise par influence ; son électricité positive est neutralisée par l'action du peigne E, en sorte qu'elle reste chargée d'électricité négative que la rotation du disque fait bientôt arriver en face du peigne F ; là cette petite charge est neutralisée sur le disque ; mais, en même temps, le collecteur C emmagasine une charge égale et de même signe. Comme les mêmes faits se répètent constamment, par suite de la rotation rapide du disque B, la charge du collecteur augmente de plus en plus. Ajoutons qu'un exciteur T, attaché à la tige conductrice qui porte le peigne E et pouvant tourner autour de cette tige, sert à tirer de longues étincelles du cylindre collecteur.

Parlons maintenant de la *machine de Wimshurst*, dont la vogue est aujourd'hui supérieure à celle de la machine Carré. Comme le mode de fonctionnement de cette nouvelle machine est assez difficile à saisir et surtout à décrire directement, il est bon d'atténuer cette difficulté en considérant d'abord un petit appareil de faible puissance, mais très ingénieux, auquel Sir W. Thomson, son inventeur, a donné le nom de *replenisher*. La figure 4 représente une coupe horizontale de cet appareil ; A et B sont deux portions de cylindres verticaux, métalliques et isolées, ayant

même axe O ; autour de cet axe peut tourner un système de deux lames métalliques cylindriques P et Q, isolées l'une de l'autre, qui peuvent toucher, pendant leur rotation dans le sens indiqué par la flèche, quatre ressorts métalliques, *a* et *b* appartenant respectivement aux portions de cylindre A et B, *c* et *d* communiquant entre eux au moyen

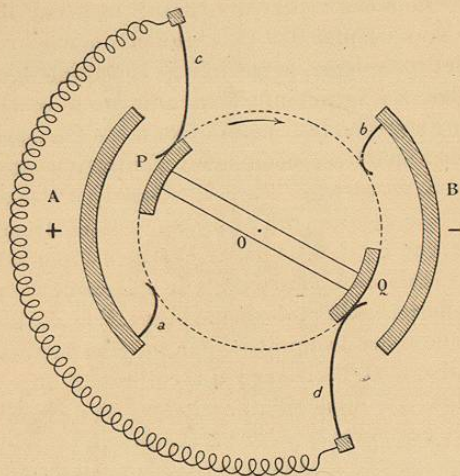


Fig. 4.

d'un conducteur métallique. Supposons que A soit chargé d'électricité positive ; la lame P, dans la position qu'elle occupe sur la figure, s'électrise par influence, cède son électricité positive au ressort *c* et reste chargée d'électricité négative qu'elle emporte avec elle jusqu'à ce qu'elle vienne rencroiser le ressort *b* qui lui fait céder toute sa charge au cylindre B ; dans cette première phase du mouvement A a rempli le rôle d'*inducteur* et B celui de *collecteur*, mais ces deux rôles vont maintenant s'inverser, car

P, continuant à tourner, s'électrise sous l'influence de B, cède son électricité négative au ressort *d* et emporte une charge d'électricité positive qu'il transmet au cylindre A en touchant le ressort *a*. La lame Q agit de la même manière que la lame P, et les effets de ces deux actions s'ajoutent. Remarquons d'ailleurs que la répartition des rôles d'inducteur et de collecteur entre les deux cylindres A et B est faite simultanément des deux façons inverses par les actions respectives des lames P et Q. Cette petite machine n'a pas besoin d'être amorcée, parce qu'un conducteur n'est jamais complètement à l'état neutre ; la moindre trace d'électricité suffit pour que l'action commence et que les cylindres A et B se chargent respectivement d'électricité positive et

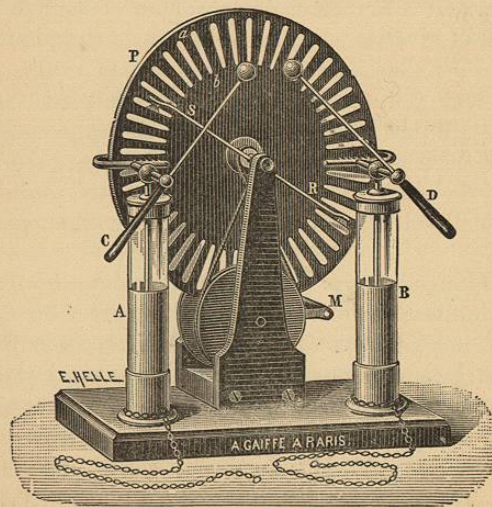


Fig. 5.

d'électricité négative en quantités croissantes. Cela posé, revenons à la machine Wimshurst (fig. 5). Elle se compose

de deux disques parallèles, en verre ou en ébonite, tournant en sens inverses et portant chacun, vers la périphérie de sa face extérieure, une série de secteurs d'étain *ab* équidistants. A chaque plateau correspond un conducteur diamétral SR, non isolé et armé à ses deux extrémités de pinceaux de clinquant en contact avec la surface du disque ; ces deux conducteurs diamétraux, respectivement attribués aux deux disques, sont inclinés à 45 degrés sur l'horizon et perpendiculaires l'un à l'autre. Deux peignes métalliques, isolés par leurs supports A et B et placés aux extrémités du diamètre horizontal, embrassent chacun les deux plateaux. La théorie de cette machine peut se déduire de celle du replenisher. Les secteurs d'étain d'un plateau servent d'inducteurs par rapport à ceux de l'autre plateau, et inversement ; les pinceaux de clinquant jouent le rôle des ressorts *a* et *b* ; les peignes, en raison du pouvoir de leurs pointes, jouent le rôle des ressorts *c* et *d*. Des bras métalliques C et D reliés à ces peignes, recueillent les charges électriques obtenues par influence ; on peut leur ajouter des collecteurs cylindriques. Cette machine s'amorce d'elle-même et fonctionne remarquablement bien.

11. *Condensateurs*. — On appelle *condensateur* un appareil composé de deux conducteurs, séparés l'un de l'autre par un corps non conducteur ou *diélectrique* de faible épaisseur ; cette disposition a pour but d'augmenter notablement la capacité électrique de l'un des conducteurs.

Voici comment le phénomène de la condensation a été découvert. En 1746, Muschenbrock, célèbre professeur de Leyde, préoccupé des déperditions d'électricité que subissent au contact de l'air les corps électrisés, pensa qu'il serait possible de remédier à cet inconvénient en renfermant ces corps dans des vases isolants. Il voulut savoir si l'eau renfermée dans une bouteille de verre pourrait être élec-

trisée plus fortement que lorsqu'elle était contenue dans un vase moins mauvais conducteur. Comme Otto de Guéricke, il employait pour générateur d'électricité un globe de soufre tournant et frottant contre les mains d'un aide-opérateur ; un cylindre de fer-blanc, suspendu horizontalement par des cordons de soie recueillait l'électricité au moyen d'une chaîne descendant près de la surface de ce globe. Muschenbrock, tenant de la main droite sa bouteille, dans l'eau de laquelle plongeait une petite chaîne enroulée sur le conducteur par son autre extrémité, voulut, après quelques instants, arrêter l'électrisation qu'il jugeait suffisante. Pour obtenir ce résultat, il suffisait de faire sortir de l'eau la petite chaîne plongeante ; Muschenbrock aurait pu y arriver en abaissant suffisamment sa bouteille, mais, au lieu d'agir ainsi, il voulut sortir la chaîne en la soulevant de la main gauche ; il reçut aussitôt une commotion si énergique qu'il en fut vraiment épouvanté ; quelques jours après il déclarait à Réaumur qu'il ne voudrait point recommencer même au prix de la couronne de France. Deux de ses amis, Cunéus et Allaman, témoins de cette expérience, furent frappés de la nouveauté et de l'intérêt du phénomène qui venait de se produire et le jugèrent digne d'une étude sérieuse. Allaman eut l'idée de plonger la bouteille dans une cuve d'eau, au lieu de la tenir à la main, pour électriser son eau intérieure par le même procédé que Muschenbrock ; ayant alors touché d'une main l'eau de la cuve tandis que de l'autre il touchait la chaîne, il reçut une forte commotion. Le principe du condensateur était ainsi découvert ; l'eau intérieure à la bouteille et l'eau de la cuve constituaient deux conducteurs séparés par un diélectrique en verre. Bevis remplaça ensuite l'eau intérieure par des feuilles de clinquant et l'eau extérieure par une feuille d'étain collée sur la surface de la bouteille ; telle est encore aujourd'hui la disposition de la *bouteille de*

Leyde; une tige de cuivre recourbée, traversant le goulot, communique avec l'armature de clinquant.

Exposons brièvement la théorie de cette appareil. Les deux armatures intérieure et extérieure, séparées l'une de l'autre par le *diélectrique* (fig. 6) portent respectivement les nom de *collecteur* et de *condenseur*. On met le collec-

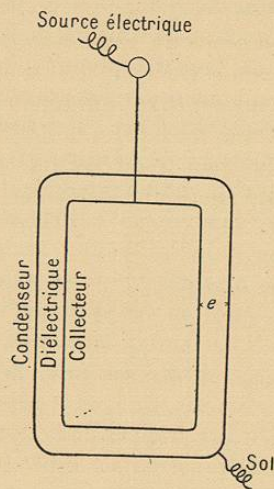


Fig. 6.

teur en communication avec une source électrique et le condenseur en communication avec le sol. Désignons par e l'épaisseur, supposée constante, du diélectrique. La source électrique, mise temporairement en œuvre, a communiqué au collecteur une charge M , répandue sur sa surface extérieure, en le portant au potentiel V ; ce collecteur, agissant par influence sur le condenseur, induit sur sa surface extérieure une charge M , qui se dégage dans le sol, et sur sa surface intérieure une charge $-M$, égale

et de signe contraire, qui reste sur cette surface; le potentiel du condenseur est maintenu à zéro par sa communication avec le sol. La valeur de la capacité électrique C du collecteur est donnée par la formule

$$C = \frac{M}{V};$$

cette capacité, en présence du condenseur communiquant avec le sol, est nécessairement supérieure à ce que serait la capacité du collecteur s'il était infiniment éloigné de tout autre conducteur. Désignons par σ la densité ou épaisseur de la couche électrique sur la surface interne du collecteur et par S cette surface; nous aurons évidemment

$$M = S\sigma;$$

on démontre d'ailleurs mathématiquement que le potentiel de ce collecteur a pour valeur

$$V = 4\pi e\sigma,$$

π désignant le rapport numérique 3,141592... de la circonférence au diamètre. Par conséquent la capacité électrique C a pour valeur

$$C = \frac{S\sigma}{4\pi e\sigma} = \frac{S}{4\pi e};$$

on voit ainsi que la *capacité du collecteur est proportionnelle à la surface de l'appareil et inversement proportionnelle à l'épaisseur du diélectrique*. Il y a, par conséquent, intérêt à prendre pour diélectrique une lame aussi mince que possible, mais en donnant à cette lame isolante une épaisseur trop faible on s'exposerait à la voir percer par une décharge intérieure.

Pour obtenir la *décharge brusque* d'un condensateur,

on met en communication ses deux armatures au moyen de l'*excitateur électrique*, sorte de conducteur formé de deux tiges courbes articulées, munies chacune d'un manche de verre. On peut aussi opérer une *décharge lente*, en enlevant successivement à chacune des armatures l'électricité qui y devient libre lorsque l'on touche l'armature opposée ; théoriquement la décharge complète par ce procédé exigerait un nombre infini de contacts successifs.

L'expérience suivante montre que les électricités des deux armatures se portent en partie sur les deux faces du diélectrique, qui ont tendance à la retenir. On prend un condensateur démontable dont le diélectrique est un gobelet de verre et dont les deux armatures sont des gobelets de métal ; le diélectrique s'introduit avec contact dans le condenseur, et le collecteur s'introduit avec contact dans le diélectrique. Après avoir chargé ce condensateur à la manière ordinaire, on enlève ses deux armatures, on les décharge en les mettant en communication avec le sol, puis on remonte l'appareil ; on peut alors obtenir une étincelle de décharge presque aussi forte que si l'on avait pas démonté le condensateur.

Nous avons dit que la capacité du collecteur est inversement proportionnelle à l'épaisseur du diélectrique ; si donc cette épaisseur est rendue double, triple, ... la capacité se réduira à la moitié, au tiers, ... de sa valeur primitive. Il en est ainsi à la condition que l'essence du diélectrique, (air sec, ébonite, soufre, verre), reste la même quand on fait varier l'épaisseur. A égalité d'épaisseur de la lame isolante, la capacité d'un condensateur est modifiée lorsque l'on change la nature du diélectrique ; on a donné le nom de *pouvoir inducteur spécifique* d'une substance diélectrique au nombre par lequel il faudrait multiplier la capacité d'un condensateur à air sec pour obtenir celle du même condensateur dans lequel on aurait remplacé la couche d'air par

une lame de même épaisseur de la substance dont il s'agit ; les valeurs de ce pouvoir inducteur sont, par exemple,

Pour l'ébonite, de 2,2 à 2,7.

Pour le soufre, de 3,8.

Pour le verre, de 5,8 à 6,3 ;

on voit que l'emploi du verre est particulièrement avantageux pour la construction des condensateurs.

12. Énergie électrique. — Tout conducteur électrisé constitue une source d'*énergie électrique*, susceptible de se transformer en travail mécanique ou en énergie calorifique, lorsque l'on ramène ce conducteur à l'état neutre. On démontre que *l'énergie d'un conducteur électrisé est égale à la moitié du produit de sa charge par son potentiel.*

Désignons cette énergie par W , nous aurons

$$W = \frac{1}{2} MV$$

M et V étant la charge et le potentiel du conducteur. En remarquant que la capacité C de ce conducteur a pour valeur,

$$C = \frac{M}{V}$$

on arrive aisément aux formules

$$W = \frac{1}{2} \frac{M^2}{C} = \frac{1}{2} CV^2$$

par conséquent l'*énergie électrique est proportionnelle au carré de la charge ou au carré du potentiel.*

Le *travail mécanique*, qui est une des formes de l'*énergie*, se mesure en faisant le produit d'une force par le

chemin que son point d'application parcourt dans sa direction. L'unité CGS de travail mécanique est, par conséquent, le travail d'une force égale à une *dyne* dont le point d'application parcourt un *centimètre* ; cette unité a reçu le nom d'*erg* ; on pourrait dire que l'*erg* est une *dyne-centimètre*. L'énergie électrique, qui équivaut toujours à un travail mécanique, peut s'exprimer en ergs ; mais on remplace souvent cette unité CGS par une unité pratique cent millions de fois plus forte à laquelle on a donné le nom de *joule* ; L'énergie électrique d'un condensateur, ne diffère pas de celle de son collecteur ; elle est donnée par la formule, applicable à tout conducteur électrisé,

$$W = \frac{1}{2} MV = \frac{1}{2} CV^2 ;$$

en recourant aux formules précédemment établies

$$M = S \sigma$$

$$V = 4 \pi e \sigma$$

$$C = \frac{M}{V} = \frac{S}{4\pi e}$$

on trouve

$$W = \frac{1}{2} \frac{S}{4\pi e} V^2$$

par conséquent, *l'énergie électrique d'un condensateur est proportionnelle à sa surface, inversement proportionnelle à l'épaisseur de son diélectrique et proportionnelle au carré du potentiel de son collecteur.*

On augmente cette énergie en diminuant l'épaisseur de la lame isolante, mais nous avons fait remarquer qu'il y a pratiquement une limite à cette diminution ; c'est donc surtout en augmentant la surface des armatures que l'on peut accroître l'énergie électrique d'un condensateur.

13. Batteries électriques. — On fabrique couramment aujourd'hui des *jarres* ou bouteilles de Leyde d'assez grande surface, mais sans toutefois leur donner des dimensions trop grandes pour qu'elles cessent d'être portatives et deviennent par trop encombrantes ; de même qu'il y a une limite pratique à la minceur de la couche isolante, de même il y a une limite pratique au volume du condensateur.

On peut néanmoins augmenter autant qu'on le veut la surface et par conséquent la puissance de l'appareil, en associant un nombre suffisant de jarres, ordinairement toutes identiques. On forme ainsi ce que l'on appelle une *batterie électrique*.

C'est à Bevis et Watson qu'appartient l'idée première de réunir plusieurs jarres dans une boîte doublée d'étain ; une chaîne fait communiquer avec le sol l'étain de cette boîte et, par conséquent, tous les condensateurs (armatures extérieures) des jarres ; les collecteurs (armatures intérieures) sont mis en communication entre eux par la réunion de tringles métalliques horizontales fixées à leurs tiges. C'est ainsi que l'on constitue une *batterie en surface*. On démontre facilement que *la capacité d'une batterie en surface est égale à autant de fois la capacité d'un des condensateurs qui la composent qu'il y a d'unités dans le nombre de ces condensateurs*. Cette capacité de la batterie équivaut à celle d'une jarre unique dont la surface aurait été multipliée par ce nombre. *L'énergie électrique de la batterie est la somme des énergies électriques de ses éléments*. Dans la seconde moitié du dix-huitième siècle, on avait construit à Harlem une batterie de 58 mètres carrés de surface dont la commotion foudroyait un bœuf. Désignons par *n* le nombre des jarres, par *C* leur capacité commune, par *M* et *V* la charge et le potentiel de chacune d'elles ; l'énergie *W* de la batterie aura pour valeur.

$$W = \frac{1}{2} nMV = \frac{1}{2} nCV^2;$$

par conséquent, *pour un potentiel donné, l'énergie est proportionnelle au nombre des bouteilles.* La charge totale Q de la batterie, charge fournie par la source d'électricité que l'on a mise en œuvre, étant égale à n fois la charge M de chaque bouteille, on a

$$M = \frac{Q}{n};$$

on en déduit

$$W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} n \frac{M^2}{C} = \frac{1}{2n} \frac{Q^2}{C};$$

par conséquent, *pour une charge totale donnée de la batterie, l'énergie est inversement proportionnelle au nombre des bouteilles.*

Au lieu de constituer une batterie en surface, on peut constituer une *batterie en cascade*. Pour cela on isole toutes les bouteilles; on fait communiquer le collecteur de la première avec la source d'électricité et son condensateur avec le collecteur de la seconde; le condensateur de celle-ci est mis en communication avec le collecteur de la troisième, et ainsi de suite; enfin le condensateur de la dernière bouteille est mis en communication avec le sol. Le potentiel du collecteur décroît d'une bouteille à l'autre, à partir de la valeur V qu'il prend sur la première bouteille; on pourrait dire que le potentiel tombe par cascades. La charge totale Q se réduit à la charge M du collecteur de la première bouteille. Chaque système d'armatures extérieure et intérieure communiquant constitue un système électrisé par influence dont la charge totale est nulle, en sorte qu'il ne contribue pas à l'énergie électrique W' de la batterie; l'armature extérieure de la dernière bouteille étant au poten-

tiel zéro, par suite de sa communication avec le sol, ne contribue pas non plus à cette valeur; l'énergie totale de la batterie est par conséquent

$$W = \frac{1}{2} MV = \frac{1}{2} QV.$$

On démontre d'ailleurs que *la capacité du système s'obtient en divisant celle d'une des bouteilles par le nombre de ces bouteilles*, en sorte que l'on a

$$\frac{C}{n} = \frac{Q}{V},$$

en désignant par C la capacité électrique d'une des jarres; on en déduit

$$Q = \frac{CV}{n}$$

$$V = \frac{nQ}{C};$$

en substituant ces valeurs dans celle de W' , on trouve

$$W' = \frac{1}{2} \frac{CV^2}{n} = \frac{1}{2} \frac{nQ^2}{C}$$

Nous voyons ainsi que *pour un potentiel donné, l'énergie électrique de la batterie est inversement proportionnelle au nombre des bouteilles*, et que *pour une charge totale donnée, l'énergie est proportionnelle au nombre de ces bouteilles*.

Le groupement en cascade conduit, par conséquent, à des résultats inverses de ceux qui résultent du groupement en surface.

Si l'on ne disposait que d'une quantité fixe d'électricité Q , il y aurait intérêt à adopter la batterie en cascade préférablement à la batterie en surface, car l'énergie W' ob-

tenue dans le premier groupement serait n^2 fois plus grande que l'énergie W correspondant au second.

14. *Décharge d'un condensateur.* — Établissons la communication entre les deux armatures d'un condensateur au moyen de deux conducteurs métalliques, partant respectivement de chacune d'elles et dont les extrémités libres arrivent en regard l'une de l'autre, de manière que leurs boules terminales laissent entre elles un petit intervalle d'une largeur convenablement choisie. Dans ces conditions, les deux armatures communiquent par un conducteur composé de deux parties métalliques et d'une couche d'air intercalée de faible épaisseur. Chargeons alors le condensateur au moyen d'une machine électrique dont les pôles seront mis en communication avec les armatures; aussitôt que la différence de potentiel entre les deux armatures du condensateur atteindra une valeur déterminée, une vive étincelle éclatera brusquement entre les deux boules de décharge. En faisant tourner régulièrement et sans interruption le plateau de la machine électrique, le condensateur sera périodiquement chargé par cette machine et déchargé par les boules.

La différence de potentiel nécessaire entre les deux électrodes pour que l'étincelle jaillisse dépend de la distance des deux boules et croît avec elle. M. Mascart a obtenu les résultats suivants, en opérant dans l'air sec avec deux boules de 22 millimètres de diamètre.

Distances en centimètres	Différences de potentiels en volts
0,1	5.490
0,5	26.730
1,0	48.600
1,5	57.000
2,0	64.800

Distances en centimètres	Différences de potentiels en volts
3,0	76.800
5,0	94.800
10,0	119.100
15,0	127.300

Le diamètre des boules de décharge exerce sensiblement son influence sur les résultats. Pour une même distance explosive, la différence de potentiel diminue ou augmente suivant que les boules sont plus petites ou plus grosses. Indiquons à ce sujet que MM. Thomson, Mascart et Baillet ont opéré sur des boules d'un centimètre de diamètre, en faisant varier la distance explosive depuis un dixième de millimètre jusqu'à 5 millimètres; les différences de potentiel correspondantes ont varié depuis 804 jusqu'à 17.290 volts. Nous voyons que, pour cette dernière distance de 5 millimètres, la tension ou différence de potentiel correspondante est de 17.290 volts avec les boules de 1 cm. et de 26.730 avec les boules de 2 cm. 2. En somme cette influence des diamètres des boules explosives n'est pas assez considérable pour que l'on doive lui attribuer un intérêt de premier ordre.

La décharge du condensateur par les deux boules se fait pour ainsi dire instantanément, tant sa durée est courte. Pour se rendre compte de la durée de cette décharge, il est intéressant de mesurer la *durée lumineuse* de l'étincelle explosive. En 1862, Felici a essayé d'évaluer approximativement cette durée, en employant un disque de verre recouvert sur l'une de ses faces d'un vernis opaque sur lequel un grand nombre de traits transparents très-fins, (360 par exemple), avaient été régulièrement gravés près de la circonférence périphérique; l'étincelle éclatant en face des divisions de ce disque, tournant autour de son

centre à 200 tours par seconde, était visée au moyen d'un microscope dont l'oculaire portait un micromètre, c'est-à-dire une lame de verre divisée en parties égales par des traits excessivement fins. L'observation consistait à compter le nombre des divisions du micromètre couvertes, au moment où jaillissait l'étincelle, par l'apparence lumineuse d'un trait en mouvement; en retranchant de ce nombre observé le nombre, égal à 3, des divisions du micromètre couvertes par un trait en repos, on obtenait une différence d'où l'on pouvait théoriquement déduire la durée lumineuse de l'étincelle. Quelque ingénieuse que soit cette méthode, Felici n'a tiré de ses observations aucune loi numérique, parce qu'il lui était impossible d'arriver à la précision dans ses mesures. L'image d'un trait en mouvement apparaît élargie, par suite de la persistance de l'impression optique, et c'est cet élargissement qu'il s'agirait de mesurer; or l'un des bords de cette image, celui qui est en arrière par rapport au sens de la rotation du disque, offre bien une assez grande netteté, mais celui qui est en avant est pâle et très mal déterminé; d'autre part l'étincelle éclate à l'imprévu et la vision de son image ne dure qu'une fraction de seconde, il est donc impossible à l'observateur de compter exactement le nombre assez grand, (18, par exemple), des divisions du micromètre que recouvre l'image lumineuse; les expériences de Felici ne pouvaient donc pas être bien précises.

L'un des auteurs de cet ouvrage, M. Félix Lucas, a entrepris en 1870, en collaboration avec M. A. Cazin, de nouvelles recherches sur la durée lumineuse de l'étincelle électrique. L'emploi d'un *disque divisé tournant* a été combiné avec celui d'un *chronoscope à étincelles*, fondé sur une propriété du vernier. Nous ne donnerons pas ici la description de cette nouvelle méthode; le lecteur pourra la trouver soit dans les *Comptes rendus de l'Académie des*

Sciences (25 avril 1870), soit dans les *Mémoires des savants étrangers* (tome XXII), soit dans les *Annales de Physique et de Chimie* (tome XXVI, 4^e série). Cette méthode a permis de mesurer la durée de l'étincelle en *millionièmes de seconde* avec précision. On a fait varier la vitesse de rotation du disque en mica verni, qui avait 11 centimètres de diamètre et portait 180 traits transparents, depuis 50 jusqu'à 400 tours par seconde; le vernier du chronoscope portait six traits transparents équidistants correspondant à cinq traits consécutifs du disque; les deux boules entre lesquelles on faisait jaillir l'étincelle étaient portées par un micromètre permettant de mesurer exactement leur distance; le condensateur consistait en une batterie de neuf jarres ayant chacune une armature extérieure de 1.243 centimètres carrés; on chargeait ce condensateur au moyen d'une machine électrique de Holtz construite par Ruhmkorff; un moteur à gaz construit par M. Hugon servait à faire tourner le chronoscope et la machine électrique. On a fait varier dans les expériences, la surface de la batterie (depuis 1 jarre jusqu'à 9 jarres), la distance explosive (depuis 2 jusqu'à 22 millimètres), et la résistance du circuit conducteur interposé entre les armatures de la batterie et les boules de décharge; les expérimentateurs ont constaté que la durée lumineuse de l'étincelle est une fonction de ces trois variables et ont pu déterminer la nature de cette fonction (1). Les durées lumineuses observées

(1) Voici la formule obtenue

$$t = H \frac{(1 - ax)(1 - by)}{1 + cz \frac{4}{5}};$$

t durée lumineuse de l'étincelle,

x surface du condensateur,

y distance explosive,

z résistance du circuit conducteur métallique,

a, b, c, H constantes. La valeur de *H* dépend de la substance des boules de décharge, ainsi que de l'état physique de leur surface.

dans le cours de ces recherches ont varié depuis 3 millièmes de seconde jusqu'à 70 millièmes. Les étincelles que l'on tirerait directement de la machine électrique, sans charger un condensateur intermédiaire, peuvent avoir des durées inférieures au dix-millionième et même au cent-millionième de seconde.

Il ne suffit pas d'avoir étudié la décharge électrique au point de vue de sa durée; il importe aussi d'en analyser la nature intime. Une étude spéciale de l'étincelle a été faite, dans ce but, par Feddersen en 1857. Ce physicien observait les apparences lumineuses vues par réflexion dans un petit miroir plan, en métal, tournant autour d'une droite située dans son plan avec une vitesse qui a pu être poussée jusqu'à 800 tours par seconde; il a réussi à photographier quelques-unes de ces apparences. Ces expériences ont montré que la décharge peut être, suivant les cas, soit *continue*, soit *oscillante*. L'étincelle explosive qui correspond à la décharge *continue* se compose d'un trait de feu, dont la durée est pour ainsi dire inappréciable, et de deux lueurs d'une durée plus sensible, qui apparaissent respectivement sur les boules de décharge. L'étincelle de la décharge *oscillante* se compose de cônes lumineux, allant successivement d'une boule à l'autre et se succédant avec une rapidité vertigineuse. Les oscillations de la décharge produisent dans le milieu ambiant de véritables ondes électriques (analogues à des ondes lumineuses), dont l'étude a fait l'objet des célèbres expériences de M. Hertz; c'est au moyen de la décharge oscillante que l'on peut obtenir les précieux courants alternatifs à haute fréquence dont nous parlerons plus loin. La théorie de la décharge d'un condensateur présente par conséquent un intérêt de premier ordre; l'exposé de cette théorie, qui exige une analyse mathématique d'un ordre assez élevé, ne rentre pas

dans le cadre de cet ouvrage (1). Nous nous bornerons à indiquer qu'elle conduit aux résultats suivants.

Désignons par C la *capacité* du condensateur, par R et L la *résistance* et la *self-induction* (quantités que nous définirons plus loin, dans un autre chapitre) du circuit de décharge qui fait communiquer les deux armatures du condensateur. Si ces trois quantités satisfont à l'inégalité

$$L < \frac{CR^2}{4},$$

la décharge est *continue*, en sorte que la charge du condensateur décroît constamment jusqu'à zéro. Si l'on a, au contraire,

$$L > \frac{CR^2}{4},$$

la décharge est *oscillante*, et la période t de l'oscillation est donnée par la formule

$$t = 4\pi L \sqrt{\frac{C}{4L - CR^2}}.$$

Cette durée de la période, lorsque C et R restent constants, varie avec la self-induction L du circuit; elle devient maximum lorsque l'on a

$$L = \frac{CR^2}{2}$$

et prend alors la valeur

$$t = 2\pi CR.$$

M. Lodge, en faisant varier C, R, L dans une série d'ex-

(1) Le lecteur que cette théorie intéresserait pourra en trouver l'exposé dans le *Traité théorique et pratique d'électricité* de M. Félix Lucas, édité par Baudry et Cie.