

mélange avec l'air extérieur qui pénètre à travers la toile métallique B (*). La proportion de l'air autour de la flamme est donc limitée par le jeu même de l'appareil : elle est juste suffisante pour l'entretien de la combustion. — Supposons que l'atmosphère de la mine contienne une proportion notable de gaz hydrogène carboné, dont le mélange avec l'air produirait, à l'approche d'un corps enflammé, une détonation redoutable. A mesure que ce gaz pénètre dans l'appareil, il se mélange avec les produits de la combustion, en sorte qu'il ne peut plus, en général, prendre feu au contact de la flamme. D'ailleurs, si le mélange prend feu, la combustion ne peut pas se propager à l'extérieur, la toile métallique B ayant pour effet de refroidir les produits de la combustion.

628. Conservation de la chaleur. — Pour conserver la chaleur, pendant l'hiver, à l'intérieur de nos appartements, les murs de pierre doivent avoir une épaisseur assez considérable, parce que la pierre est un corps assez conducteur; la brique, qui est moins conductrice, est préférable sous ce rapport. — Il faut remarquer aussi que, dans nos appartements, c'est surtout par la surface des vitres que la chaleur se perd au dehors. Dans les pays froids, on rend la déperdition beaucoup moindre, en employant des doubles fenêtres, qui emprisonnent entre elles une couche d'air.

Les animaux des pays froids ont le corps couvert d'une fourrure; nous nous couvrons, pour nous préserver du froid, soit de fourrures, soit d'étoffes de laine, ou de vêtements ouatés. — L'efficacité de tous ces moyens de protection s'explique toujours de la même manière : c'est la *couche d'air* maintenue immobile, par les poils de la fourrure ou par les filaments de l'étoffe, qui joue surtout ici le rôle de corps mauvais conducteur. Pour qu'un vêtement soit chaud, l'important n'est pas qu'il soit lourd, mais que le tissu soit assez moelleux pour n'avoir qu'un poids relativement faible, sous une assez grande épaisseur. — C'est ainsi encore qu'un édredon, formé de plumes très légères, constitue une sorte de coussin d'air, préservant mieux du froid qu'une couverture d'un tissu serré.

Pour soustraire des *corps froids* à l'influence de la chaleur extérieure, c'est encore à des moyens analogues qu'on a recours. — Les *glacières*, où l'on conserve, jusque pendant l'été, la glace qu'on y a accumulée pendant l'hiver, sont de vastes cavités, creusées dans le sol. La paroi est formée par une maçonnerie, garnie d'une double paroi de bois dans laquelle on entasse de la poussière de charbon; la cavité est fermée par un toit, placé au niveau du sol, et couvert de paille.

(*) Dans quelques modèles, l'air extérieur traverse, avant d'arriver à la flamme, une deuxième toile métallique annulaire, disposée horizontalement entre la cheminée E et le manchon A.

LIVRE CINQUIÈME

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME

CHAPITRE PREMIER

ÉLECTRICITÉ STATIQUE

I. — PHÉNOMÈNES FONDAMENTAUX.

629. Électrisation des corps par frottement. — On sait, depuis une époque fort reculée, que l'ambre jaune ou succin (*ήλεκτρον*), lorsqu'on le frotte, acquiert la propriété d'attirer les corps légers, tels que des barbes de plume, ou de petits fragments de papier; cette propriété fut attribuée à une cause spéciale, qui prit le nom d'*électricité*.

En 1550, Gilbert, médecin de la reine Élisabeth d'Angleterre, reconnut la même propriété dans un grand nombre d'autres corps, comme la résine, le soufre, le verre. — D'autres substances, comme les métaux, le bois, tenues à la main et frottées, ne paraissaient pas s'électriser : on va voir que ces exceptions ne sont qu'apparentes.

630. Corps conducteurs. — Au commencement du xviii^e siècle, à la suite des expériences du physicien anglais Gray, on reconnut que tous les corps peuvent s'électriser par frottement. Si l'on frotte un cylindre métallique A (*fig. 426*), en le tenant par un *manche de verre* M, on constate que le métal acquiert la propriété d'attirer les corps légers, et cette propriété se manifeste, non seulement aux points frottés, mais sur toute la surface du cylindre. — Tout se passe donc, dans cette expérience, comme si l'électricité était due à une sorte de fluide, que le frottement ferait apparaître, et qui se répandrait sur toute la surface du métal; le manche de verre lui opposerait une barrière infranchissable.

Nous appellerons *corps conducteurs*, les corps tels que les métaux, le bois, l'ivoire, le chanvre, qui paraissent n'opposer qu'une résistance insensible à la propagation de l'électricité. — Le sol doit être considéré comme un corps conducteur : le cylindre électrisé A,



Fig. 426.

mis en communication avec le sol par un fil métallique, perd toute trace d'électricité. — Il en est de même quand on touche le cylindre A avec la main : le corps de l'expérimentateur est donc aussi un bon conducteur.

631. Corps mauvais conducteurs, ou isolants. — Nous appelons corps *mauvais conducteurs*, les corps tels que le verre, la résine, le caoutchouc, la soie, qui opposent une résistance au passage du fluide électrique : ainsi, un bâton de résine étant frotté à son extrémité, les points frottés manifestent seuls la propriété électrique. — Dans l'expérience précédente, le manche de verre M (fig. 426), qui empêche l'électricité du cylindre A de se perdre dans le sol, prend le nom de corps *isolant*. — L'air est un isolant : s'il en était autrement, l'électricité développée à la surface des corps se perdrait dans l'atmosphère, et les phénomènes électriques nous seraient probablement inconnus.

632. Distinction des deux espèces d'électricités. — En 1753, les expériences du physicien français Du Fay montrèrent que le frottement peut développer des électricités de deux espèces différentes. — Pour répéter ces expériences, nous emploierons, comme corps léger, un *pendule électrique* (fig. 427), formé par une petite balle de moelle

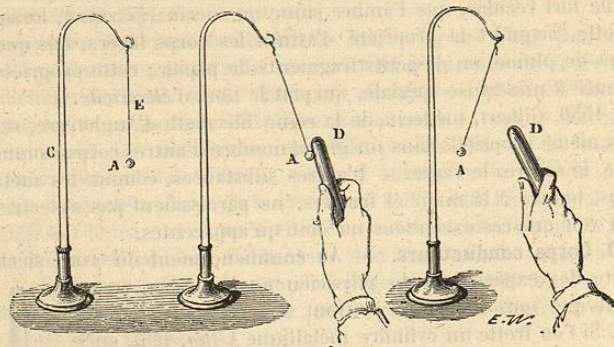


Fig. 427 et 428.

Fig. 429.

Distinction des deux électricités.

de sureau A suspendue à un fil de soie E, qui est fixé lui-même à un support de verre C. La balle de sureau, isolée par la soie et le verre, gardera l'électricité qui pourra lui être communiquée.

Approchons d'abord de la balle de sureau un bâton de résine D, frotté avec du drap. Elle est attirée; mais, dès qu'elle a touché la résine (fig. 428), elle est repoussée, comme le représente la figure 429. Or, en touchant la résine, la balle a pris une partie de son électricité; donc deux corps chargés de l'électricité de la résine se repoussent. — Approchons maintenant, de la balle ainsi électrisée par la résine, un

bâton de verre frotté avec un morceau de drap : elle est attirée. L'électricité du verre est donc différente de celle de la résine. — Pour distinguer entre elles ces deux électricités, nous les appellerons provisoirement *électricité vitrée* et *électricité résineuse*.

Nous pouvons maintenant reprendre cette expérience, en opérant avec les deux mêmes corps dans un ordre inverse. — Après avoir touché la balle de sureau avec la main, pour conduire dans le sol l'électricité qu'elle avait reçue, nous en approcherons le bâton de verre électrisé : la balle viendra toucher le verre, et, après lui avoir pris une partie de son électricité, elle sera repoussée; donc deux corps chargés d'électricité vitrée se repoussent, aussi bien que deux corps chargés d'électricité résineuse. — Au contraire, la balle ainsi chargée d'électricité vitrée est attirée par la résine.

On peut constater enfin que, si l'on prend un corps quelconque, électrisé par frottement, et si on le présente successivement à deux pendules, dont l'un aura été chargé d'électricité vitrée, et l'autre d'électricité résineuse, ce corps exerce toujours une répulsion sur l'un de ces pendules et une attraction sur l'autre, c'est-à-dire qu'il manifeste toujours, soit les propriétés de l'électricité vitrée, soit les propriétés de l'électricité résineuse. — Il n'y a donc pas lieu de distinguer une troisième électricité, et les deux dénominations précédentes suffisent pour caractériser la nature de toutes les charges électriques.

De l'ensemble de ces expériences, on peut tirer les conclusions générales suivantes :

- 1° Il y a deux espèces d'électricités, et deux seulement;
- 2° Deux corps chargés d'une même électricité se repoussent;
- 3° Deux corps chargés d'électricités contraires s'attirent.

Cependant les expressions d'électricité résineuse et d'électricité vitrée semblent faire dépendre la nature de l'électricité développée dans un corps, par le frottement, de la nature de ce corps lui-même; or, l'expérience montre qu'un même corps peut prendre l'une ou l'autre électricité, selon les circonstances. Ainsi, le verre poli prend l'électricité vitrée, s'il est frotté avec une étoffe de laine; mais, s'il est frotté avec une peau de chat, il prend l'électricité résineuse. Aussi a-t-on remplacé l'expression d'électricité vitrée par celle d'électricité positive, et l'expression d'électricité résineuse par celle d'électricité négative.

633. Deux corps frottés l'un contre l'autre prennent des électricités contraires. — En frottant un bâton de verre avec du drap, nous avons constaté que le verre s'électrise. Mais le drap ne s'électrise-t-il pas aussi? L'expérience, telle que nous l'avons faite, ne permet pas de répondre à cette question; car, le drap étant conducteur et étant tenu à la main, l'électricité qui pourrait s'y développer se perdrait dans le sol.

Modifions donc l'expérience, et prenons un morceau de drap tendu sur un plateau de bois B (fig. 430), supporté lui-même par un manche

de verre isolant. Prenons également un plateau de verre C, supporté par un manche pareil. Après avoir frotté les deux plateaux l'un contre l'autre, approchons-les tour à tour d'un pendule que nous aurons chargé, par exemple, d'électricité négative : ce pendule est attiré par

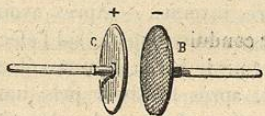


Fig. 430.
Deux corps frottés prennent des électricités contraires.

le verre et repoussé par le drap. Donc, le frottement n'a pas seulement développé de l'électricité positive dans le verre; il a aussi développé de l'électricité négative dans le drap. — En général, deux corps frottés l'un contre l'autre acquièrent des électricités contraires (*).

634. Hypothèse des deux fluides. —

Pour interpréter les deux faits fondamentaux que nous venons de constater, savoir : le *développement d'électricités contraires* dans deux corps frottés l'un contre l'autre, et les *attractions* ou *répulsions* qui se manifestent entre les corps électrisés, il est commode d'avoir recours à l'hypothèse des deux fluides électriques, qui a été émise par le physicien anglais Symmer.

D'après cette hypothèse, tous les corps, à l'état *neutre*, contiendraient naturellement deux fluides électriques d'espèces contraires, le *fluide positif* et le *fluide négatif*, en quantités égales. Le frottement de deux corps aurait pour effet de faire passer sur l'un d'eux une partie du fluide positif de l'autre, et sur le second une partie du fluide négatif du premier : par suite, après la séparation, l'un des corps manifesterait, d'une manière prédominante, les propriétés du fluide positif; l'autre, les propriétés du fluide négatif. — Enfin, pour expliquer les attractions ou les répulsions qui se produisent entre les corps électrisés, il suffit d'admettre que les molécules *d'un même fluide* se repoussent entre elles, et que les molécules des fluides *de noms contraires* s'attirent (**).

635. Influence électrique. — Développement simultané des électricités contraires dans un corps conducteur, placé au voisinage d'un corps électrisé. — On peut faire apparaître les propriétés électriques

(*) On a pu dresser des tableaux dans lesquels les corps sont classés dans un ordre tel, que chacun d'eux prend l'électricité positive, s'il est frotté par l'un des corps qui le suivent, et l'électricité négative, s'il est frotté par l'un des corps qui le précèdent. Voilà l'un de ces tableaux :

1. Peau de chat.	4. Plumes.	7. Soie.
2. Verre poli.	5. Bois.	8. Gomme laque.
3. Drap de laine.	6. Papier.	9. Verre dépoli.

(**) D'après une autre hypothèse, due à Franklin, il n'existerait qu'un seul fluide électrique. — Des corps à l'état neutre en contiendraient chacun une quantité normale, en sorte que l'existence de ce fluide ne s'y manifesterait pas. — Deux corps étant frottés, une partie du fluide électrique de l'un passerait sur l'autre, en sorte que, après la séparation, le premier, contenant une quantité de fluide moindre que sa dose normale, serait à l'état *négatif*; le second, contenant une quantité de fluide supérieure à sa dose normale, serait à l'état *positif*.

dans un corps conducteur, sans avoir recours au frottement, et sans le mettre en contact avec un corps électrisé.

Soit, par exemple, un cylindre métallique BC (fig. 431), isolé par un pied de verre et portant à chacune de ses extrémités un couple de pendules, formés de balles de sureau suspendues à des fils conducteurs de lin. — Ce cylindre étant à l'état neutre, si l'on en approche une sphère métallique A, supportée par un pied de verre, et chargée, par exemple, d'électricité positive, on voit aussitôt les pendules de chaque couple s'écarter l'un de l'autre. On peut constater qu'un bâton de résine, électrisé négativement, et approché *lentement* des pendules de l'extrémité B, les repousse; un bâton de verre, chargé d'électricité positive et approché *lentement* des pendules de l'extrémité C, les repousse également (*). — Donc, sous l'influence de l'électricité de A, les deux électricités contraires, dont la réunion constituait l'état neutre, se sont séparées : l'électricité positive, de même nom que celle de la sphère, a été repoussée en C, dans la région la plus éloignée; l'électricité négative, de nom contraire à celle de la sphère, a été attirée en B. Entre les deux régions chargées d'électricités contraires, se trouve une ligne à l'état neutre. — Si l'on éloigne la sphère A, les deux couples de pendules retombent, c'est-à-dire que le cylindre revient à l'état neutre.

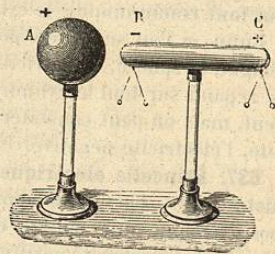


Fig. 431.
Développement d'électricité par influence.

Dans cette expérience, on dit que la sphère a joué le rôle de corps *influent*, ou *inducteur*; le cylindre a joué le rôle de corps *influencé*, ou *induit*.

636. Cas où le corps influencé est mis en communication avec le sol. —

Si, laissant la sphère influente A en présence du cylindre influencé, on met un point du cylindre en communication avec le sol, en le touchant avec le doigt (fig. 432), on voit les pendules de l'extrémité C retomber; au contraire, ceux de l'extrémité B divergent un peu plus qu'auparavant. — On comprend,

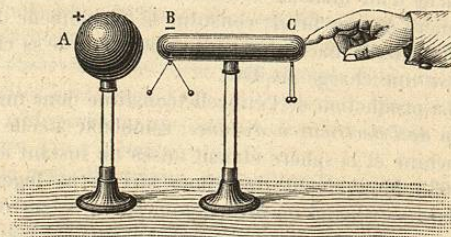


Fig. 432.

(*) On verra plus loin (638, Rem.) pourquoi on doit approcher *lentement* le bâton de résine ou le bâton de verre, des pendules sur lesquels ils doivent agir par répulsion.

en effet, que l'électricité positive repoussée a dû être conduite dans le sol. L'électricité négative a été maintenue en B par l'attraction de la sphère; elle s'est même accrue de celle qui provient de l'action exercée par la sphère sur la main, et sur tout le système des corps conducteurs qui font communiquer le cylindre avec le sol.

Enfin, si l'on supprime alors la communication avec le sol, et qu'on éloigne la sphère, l'électricité négative, n'étant plus maintenue en B, se répand sur tout le cylindre: les pendules des deux extrémités divergent, mais on peut constater qu'ils sont chargés d'une même électricité, l'électricité négative.

637. Étincelle électrique. — Communication de l'électricité à distance. — Lorsqu'on approche, d'une machine électrique chargée positivement, une sphère conductrice isolée par un pied de verre (fig. 455), l'électricité positive de la sphère est repoussée dans la région

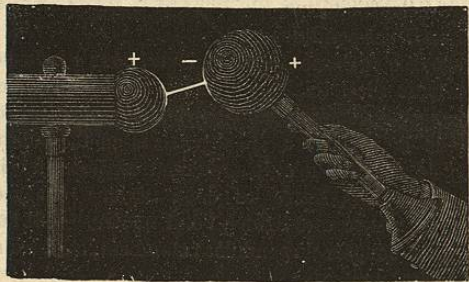


Fig. 455. — Charge par étincelles.

la plus éloignée de la machine; l'électricité négative vient s'accumuler dans les points qui en sont le plus voisins. Si l'on diminue progressivement la distance, l'attraction qui s'exerce entre les électricités contraires peut devenir suffisante pour déterminer la combinaison brusque de ces deux électricités, à travers la couche d'air mauvais conducteur: cette combinaison, s'effectuant avec lumière et avec bruit, constitue le phénomène de l'étincelle. — Après l'étincelle, la machine a perdu une partie de sa charge, et la sphère conserve une charge positive.

La production de l'étincelle constitue donc une sorte de *communication de l'électricité à distance*, semblable à celle qui se produirait si la machine et la sphère étaient mises un instant en contact.

638. Mouvements imprimés aux corps légers par les corps électrisés. — Quand on présente un bâton de verre électrisé positivement, à une balle de sureau chargée d'électricité négative, il y a *attraction*: si on le présente à une balle de sureau chargée d'électricité positive, il y a *répulsion*. — Ce sont les faits fondamentaux qui ont servi à établir la distinction entre les deux électricités (652): ces mouvements montrent simplement que les corps peuvent être entraînés par les actions réciproques des électricités qui se trouvent à leur surface.

Mais c'est par le développement de l'électricité *par influence* qu'on peut expliquer les mouvements que les corps électrisés, positivement ou négativement, impriment aux corps légers conducteurs *préalablement à l'état neutre*. — Présentons, par exemple, un bâton de verre V (fig. 454), chargé d'électricité positive, à une balle de sureau BC, supportée par un fil de soie, et à l'état neutre:

1 se développe par influence, dans les régions B et C, de l'électricité négative et de l'électricité positive. La balle de sureau est donc sollicitée par deux forces: 1° l'attraction de l'électricité positive du verre sur l'électricité négative de la région B; 2° la répulsion de l'électricité positive du verre sur l'électricité positive de la région C. L'attraction, s'exerçant à une distance moindre, l'emporte sur la répulsion, et la balle se met en mouvement vers le bâton de verre (*).

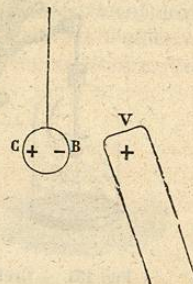


Fig. 454.
Attraction d'un corps léger par un corps électrisé.

Remarque. — Une particularité essentielle à remarquer, c'est que deux corps préalablement chargés d'électricités de même nom peuvent exercer l'un sur l'autre une *attraction*, si l'un d'eux est fortement chargé, et si la distance qui les sépare est suffisamment petite. — Prenons, par exemple, un bâton de verre fortement chargé d'électricité positive, et présentons-le à une balle de sureau qui aura été électrisée positivement. Si la distance est d'abord assez grande pour que le développement d'électricité par influence soit insensible, l'action exercée entre les électricités de même nom se manifesterait par une *répulsion* de la balle. Mais si l'on approche davantage, il se développera, sur les deux régions opposées de la balle, des électricités contraires; en sorte que, à une distance suffisamment petite, il pourra y avoir *attraction* de la balle.

De là, la nécessité d'approcher toujours *lentement* les corps les uns des autres, dans les expériences où l'on a pour but de décider, d'après le sens du mouvement observé, si ces corps sont chargés d'une même électricité, ou d'électricités contraires. Si on les approchait trop brusquement, on pourrait n'observer qu'une attraction, alors même que les corps seraient chargés d'une même électricité.

639. Expériences de la grêle électrique, du carillon électrique, etc. — Dans les expériences de la *grêle électrique* ou du *carillon électrique*, des corps légers, tels que des balles de sureau placées entre deux conducteurs métalliques, dont l'un communique avec la machine élec-

(*) Un corps léger mauvais conducteur, tel que la gomme laque en poudre, à l'état neutre, étant placé à proximité d'un corps électrisé, il ne s'y développe pas d'électricité par influence, dans les premiers instants; aussi n'éprouve-t-il d'abord aucune attraction sensible.

trique et l'autre avec le sol (fig. 455), ou des balles métalliques b, b' , suspendues par des fils de soie, entre des timbres métalliques (fig. 456), sont animés de mouvements de va-et-vient, dès que l'on fait fonctionner

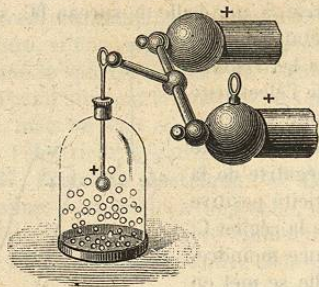


Fig. 455. — Grêle électrique.

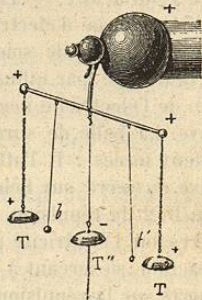


Fig. 456. — Carillon électrique

la machine. — En effet, en venant d'abord toucher le conducteur qui communique avec la machine, elles se chargent positivement et sont repoussées; en venant ensuite toucher le conducteur qui communique avec le sol, et qui est électrisé par influence, elles se chargent négativement, sont repoussées, et ainsi de suite (*).

640. Influence électrique, dans le cas où le conducteur induit enveloppe complètement l'inducteur. — Théorème de Faraday. — En général, quand un conducteur relié au sol, comme le cylindre de la figure 452, est placé dans le voisinage d'un corps électrisé, la charge induite est moindre que la charge inductrice. A plus forte raison en est-il ainsi quand ce conducteur est isolé, puisque la charge induite, de nom contraire à la charge inductrice, ne peut qu'augmenter lorsqu'on vient à le relier au sol (636). — Mais, lorsqu'un corps électrisé est placé dans une salle, tous les corps conducteurs placés autour de lui, à une distance plus ou moins grande, sont soumis à l'influence électrique; en particulier, les murs, le plafond, le plancher de la salle, constituent un conducteur qui l'entoure complètement, et qui doit être considéré comme s'électrisant par influence. L'expérience suivante, due à Faraday, montre que la quantité d'électricité développée par influence, dans tout l'espace qui environne un corps électrisé, est égale à la quantité d'électricité inductrice.

Soit un cylindre métallique creux A, en communication avec deux feuilles d'or, isolées par une cloche de verre E (fig. 457). Si l'on des-

(*) C'est par des effets de ce genre que Volta explique le bruissement qui se produit dans la région des nuages, avant la chute de la grêle. D'après Volta, les grêlons, avant leur chute, sont animés d'un mouvement de va-et-vient, entre deux nuages chargés d'électricités contraires; ils s'entrechoquent avec bruit, et ce sont ces frottements qui leur donnent leurs formes arrondies.

prend progressivement à l'intérieur du cylindre une sphère métallique C, isolée par un fil de soie, et électrisée positivement, la divergence croissante des feuilles d'or montre que la quantité d'électricité positive, repoussée par le corps inducteur C, va d'abord progressivement en croissant. Mais, lorsque la boule a dépassé le milieu du cylindre, c'est-à-dire lorsque le corps inducteur C est presque complètement enveloppé par le corps induit, on n'augmente plus l'écart des feuilles en continuant à faire descendre la sphère C. — Dans ces conditions, il est facile de constater que les quantités d'électricité positive et négative, induites sur les deux faces du cylindre, sont égales, l'une et l'autre, à la charge de la sphère C. — En effet, si l'on met alors la boule en contact avec la paroi intérieure du cylindre, la divergence des feuilles reste la même: la charge de la surface extérieure du cylindre A n'a donc pas varié. Or nous verrons plus loin que, après le contact, il ne peut plus exister d'électricité sur la surface intérieure du cylindre. Il en faut donc conclure que, au moment du contact, la charge positive de la sphère et la charge négative du cylindre se sont neutralisées; c'est-à-dire que, avant le contact, la charge induite sur la surface intérieure du cylindre était égale et de signe contraire à la charge de l'inducteur; par suite, la charge induite sur la surface extérieure était égale, en grandeur et en signe, à celle de l'inducteur.

Si maintenant on recommence l'expérience, et si, la boule inductrice chargée positivement étant à une certaine distance de la paroi du cylindre, on met le cylindre en communication avec le sol, l'électricité positive de sa surface extérieure s'écoule dans le sol, et les feuilles d'or retombent; mais il est facile de voir que la charge négative induite sur sa surface intérieure n'a pas augmenté. En effet, si l'on interrompt alors la communication du cylindre avec le sol, et qu'on mette la boule en contact avec la paroi intérieure, il ne se produit aucune divergence des feuilles. Le contact a donc eu pour effet d'amener le cylindre à l'état neutre, c'est-à-dire que, dans ce cas encore, la charge négative induite avant le contact était égale à la charge positive de l'inducteur.

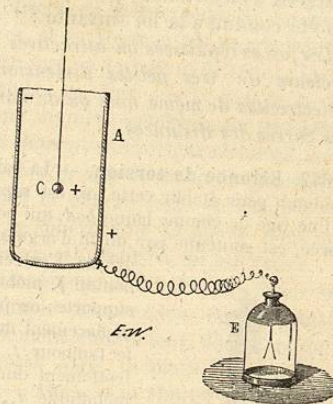


Fig. 457. — Expérience de Faraday.

II. — LOIS DES ACTIONS ÉLECTRIQUES. — MASSES ÉLECTRIQUES
— CHAMP ÉLECTRIQUE.

641. Les actions électriques sont en raison inverse des carrés des distances (loi de Coulomb). — Coulomb a déterminé, par des expériences précises, la loi suivant laquelle varient les actions, attractives ou répulsives, qui s'exercent entre deux petites sphères conductrices chargées d'électricité, quand on fait varier la distance qui les sépare. Il a été conduit à la loi suivante :

Les forces répulsives ou attractives qui s'exercent entre deux corps conducteurs de très petites dimensions (éléments conducteurs), chargés d'électricités de même nom ou de noms contraires, sont en raison inverse des carrés des distances.

642. Balance de torsion. — La balance de torsion, imaginée en 1785 par Coulomb pour établir cette loi, est représentée par la figure 438.

Une tige de gomme laque *bod*, qui porte en *b* une boule en moelle de sureau dorée, est soutenue par un fil d'argent, dans l'axe d'une cage de verre cylindrique. L'extrémité supérieure du fil est fixée dans un bouton *f*, mobile autour de l'axe du tambour *t* qui le supporte; on peut évaluer la rotation, en observant le déplacement du repère *r* sur une graduation tracée sur le tambour *t*. Ce tambour *t* est lui-même mobile, à frottement dur, sur le tambour fixe *t'*. — Une boule métallique *a*, isolée par une tige de verre, peut être introduite dans la cage à la hauteur de *b*, de telle sorte que la balle de sureau *b* vienne toucher la boule *a*, et prendre sa place quand on retire *a*. Dans le même plan horizontal, la cage porte une division en degrés, dont le zéro est situé en face de *a*.

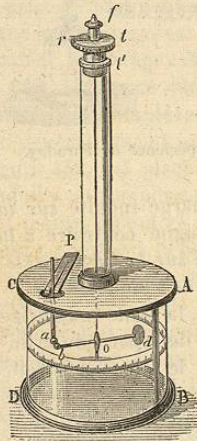


Fig. 438.
Balance de Coulomb.

Pour régler la balance, on enlève d'abord la boule *a*; on amène le repère *r* vis-à-vis le zéro de la graduation *t*; enfin, en soulevant le tambour *t*, de manière qu'il tourne librement à l'intérieur du tambour *t'*, on fait en sorte que la balle de sureau *b* arrive à se placer vis-à-vis le zéro de la graduation de la cage, c'est-à-dire à la place que viendra occuper la boule *a*. L'appareil étant ainsi préparé, on électrise la boule *a* et on l'introduit dans la cage; l'électricité se partage entre les deux boules conductrices *a* et *b*, et la boule *b* est repoussée. Dans l'une des expériences de Coulomb la distance angulaire des deux boules était de 36° ; la torsion du fil était donc de 36° , et comme on sait que la force de torsion est proportionnelle à l'angle de torsion, la force répulsive qui s'exerçait entre les deux boules, à une distance représentée par 36° , était équilibrée par une force de torsion que l'on pouvait représenter par le même nombre. — En tournant alors le bouton *f* en sens inverse du déplacement de la balle *a*, on ramenait la distance angulaire à n'être plus que de 18° ; la position du repère *r* montrait qu'il avait fallu tourner le bouton *f* de 126° ; la torsion

totale du fil était alors $18^\circ + 126^\circ$, ou 144° . La force répulsive, qui s'exerçait entre les deux boules, à une distance représentée par 18, était donc équilibrée par une force de torsion représentée par 144. — Or, dans la deuxième expérience, la distance 18 était la moitié de la distance 36 dans la première expérience; la force répulsive 144 était quatre fois plus grande que la force répulsive primitive 36. — La loi des distances était donc ainsi vérifiée.

643. Masses électriques. — Considérons un corps conducteur électrisé A, de dimensions très petites, et supposons qu'on mesure la force répulsive qu'il exerce, à une distance déterminée, sur une petite sphère conductrice *a*, chargée d'une électricité de même nom. Si, en laissant invariable la charge de la sphère *a*, et en augmentant progressivement celle du corps A, on arrive à faire que, à la même distance, la force répulsive devienne double ou triple, on dira que la charge de A est devenue double ou triple. — D'une manière générale, on considère la charge ou la masse électrique d'un élément conducteur électrisé, comme proportionnelle à la force qu'il exerce, à une distance déterminée, sur une petite sphère conductrice dont la charge reste constante. — La charge de l'élément et celle de la sphère sont de même nom ou de noms contraires, suivant que la force est répulsive ou attractive.

Quelles que soient l'unité de longueur et l'unité de force qu'on adopte, il est particulièrement simple de prendre, comme unité de masse électrique, la charge d'un élément conducteur dont l'action sur un autre élément chargé d'une masse égale, et placé à l'unité de distance, est égale à l'unité de force. — Alors, si la charge de l'un des éléments devient de *q* unités, la force devient *q* fois plus grande; si la charge de l'autre élément devient de *q'* unités, la force devient encore *q'* fois plus grande; enfin, si les éléments sont amenés à la distance *r*, la force devient r^2 fois plus petite; son expression est donc :

$$f = \frac{qq'}{r^2}.$$

Cette force est d'ailleurs répulsive ou attractive, selon que les charges *q* et *q'* sont de même nom ou de noms contraires.

En particulier, l'action réciproque de deux masses électriques, toutes deux égales à *q*, placées à la distance *r*, serait :

$$f = \frac{q^2}{r^2}.$$

644. Unité électrostatique C.G.S. de masse électrique. — Dans le système C.G.S. la valeur de l'unité de masse électrique, unité dérivée, se déduit immédiatement de la formule $f = \frac{q^2}{r^2}$. Si l'on fait $f = 1$ et $r = 1$, on a $q = 1$. L'unité de masse électrique positive est donc la quantité d'électricité vitrée, qui, agissant sur une charge égale, placée à un centimètre de distance, produit une répulsion d'une dyne. — L'unité

de masse électrique négative est celle qui exerce sur l'unité de masse positive, à un centimètre de distance, une attraction d'une dyne.

L'unité ainsi définie a été appelée unité *électrostatique*, pour la distinguer d'une autre unité de quantité d'électricité, l'unité *électromagnétique*, qui sera définie plus loin.

645. Unité pratique de masse électrique : coulomb. — L'unité électrostatique C.G.S. qui vient d'être définie est une quantité d'électricité extrêmement petite. Avec cette unité, les masses électriques mises en jeu dans les applications industrielles seraient exprimées par des nombres extrêmement grands. Pour ces évaluations, on fait usage d'une *unité pratique de masse électrique*, le *coulomb*, qui vaut 3×10^9 unités électrostatiques C.G.S.

Pour nous faire une idée de la grandeur du coulomb, calculons, par exemple, la force répulsive qui s'exercerait entre deux corps conducteurs chargés chacun d'un coulomb, et distants de 10 kilomètres. La valeur de cette force, en dynes, serait

$$f = \frac{q q'}{r^2} = \frac{3 \times 10^9 \times 3 \times 10^9}{(10^4)^2} = 9 \times 10^6,$$

est-à-dire 9 mégadynes, ou environ 9 kilogrammes.

646. Addition des masses. — **Masses positives, masses négatives** — Supposons que, après avoir mesuré séparément les charges q et q' de deux éléments conducteurs A et A', par les actions qu'ils exercent, à une distance donnée, sur une petite sphère électrisée, on mette ces deux éléments en contact, de manière à n'en former qu'un seul; on pourra, par le même procédé, mesurer la charge résultante Q. — En procédant ainsi, on ferait les deux constatations suivantes :

1° Si les charges initiales q et q' sont de même nom, la charge résultante Q a pour mesure la somme $q + q'$ des charges initiales.

2° Si les charges initiales q et q' sont de noms contraires, la charge résultante Q, de même nom que la plus grande des charges initiales, a pour mesure la différence des valeurs absolues de ces charges.

Par suite, si l'on représente les quantités d'électricité vitrée ou résineuse par des nombres positifs ou négatifs, la charge résultant de leur réunion sera toujours représentée par leur somme algébrique. — Cette considération justifie les noms d'*électricité positive* et d'*électricité négative*, donnés à l'électricité vitrée et à l'électricité résineuse.

647. Champ électrique. — **Force électrique en un point du champ.** — **Lignes de force.** — Lorsque, dans le voisinage d'un corps ou d'un système de corps électrisés, on explore les divers points de l'espace au moyen d'un corps conducteur léger, tel que la balle de sureau d'un pendule électrique (fig. 428), isolée par un fil de soie, et chargée d'une masse d'électricité positive assez petite pour ne pas modifier par influence l'état d'électrisation des corps voisins, on constate que, en chaque point,

la balle de sureau est sollicitée à se mouvoir dans une direction déterminée. — On appelle *champ électrique*, la région de l'espace dans laquelle s'exerce une pareille action.

En un point donné du champ, la force F qui sollicite le pendule est la résultante des actions de toutes les masses électriques du système, sur la charge q qu'il possède; elle est donc proportionnelle à q , et le rapport $\frac{F}{q}$ représente la force qui solliciterait l'unité de masse électrique

positive, qui serait placée en ce point du champ: c'est ce qu'on appelle la *force électrique* en ce point. — La grandeur et la direction de cette force caractérisent l'*intensité du champ* au point considéré.

On appelle *ligne de force*, une ligne tracée dans le champ, et définie par cette condition, qu'elle soit, en tous ses points, tangente à la direction de la force électrique; le *sens* de cette ligne est, en chaque point, celui de la force elle-même.

Considérons, par exemple, le cas particulièrement simple où le système de corps électrisés se réduit à une sphère A (fig. 459), de rayon très petit, et chargée d'une masse q d'électricité positive: nous la supposons placée dans une enceinte conductrice, de très grandes dimensions, et communiquant avec le sol. Le champ électrique s'étend dans tout l'espace environnant, jusqu'aux parois de l'enceinte. En un point P, situé à une distance d de la sphère, la force électrique est dirigée suivant AP, et a pour valeur $\frac{q}{d^2}$; les lignes de force sont des

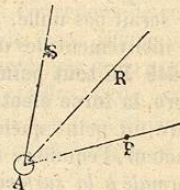


Fig. 459.

lignes droites AP, AR, AS... Au voisinage des parois de l'enceinte, à une grande distance du point A, la force électrique est sensiblement nulle. — Si la petite sphère A était chargée négativement, la force électrique au point P serait dirigée suivant PA; les lignes de force PA, RA, SA..., partant des parois de l'enceinte, aboutiraient au point A.

Remarque. — En un point M, situé en dehors de l'enceinte, à une distance D du point A, la force électrique $\frac{q}{D^2}$, produite par la charge q du point A, est rigoureusement annulée par une force électrique égale et contraire, provenant de la charge $-q$, induite sur la paroi interne de l'enceinte (640). Donc, si des corps électrisés sont placés à l'intérieur d'une enceinte conductrice, communiquant avec le sol, le champ électrique est toujours limité aux parois de l'enceinte. — Si les masses électriques sont toutes placées à l'extérieur de l'enceinte, l'intérieur de l'enceinte ne fait pas partie du champ. — Ce sont ces résultats qu'on exprime en disant qu'une enceinte conductrice fermée en communication avec le sol, constitue un *écran électrique*.