

# Qu'est-ce que L'ÉLECTRICITÉ ?

**L'**ÉLECTRONIQUE est une application de l'électricité. La connaissance de celle-ci est indispensable pour bien assimiler celle-là.

Certes, la plupart des lecteurs du « Haut-Parleur » ont déjà une idée bien précise sur l'électricité, mais, pour beaucoup, elle est quelque chose d'essentiellement mystérieux et de rebelle à tout essai de compréhension. Aussi nous a-t-il semblé utile de reprendre ici quelques notions qui sont aussi fondamentales pour qui veut faire de l'électronique que la connaissance de la table de multiplication l'est pour un homme qui veut faire du calcul. Nous essaierons de le faire d'une façon aussi simple que possible, en nous excusant à l'avance auprès de ceux qui connaissent tout cela depuis longtemps.

## ETUDIIONS L'EAU DES FLEUVES

Dans la quasi-totalité des cas, les phénomènes de nature électrique sont liés au **mouvement** des charges, et l'on commence souvent l'étude de l'électricité par celle des effets produits par les charges qui se déplacent.

Il nous semble plus logique de parler d'abord de ce que sont ces charges, afin d'examiner les phénomènes liés à leur mouvement. Avant de définir un fleuve, il faut bien savoir ce qu'est l'eau.

Donc, la première question que l'on doit se poser est la suivante : « Qu'est-ce que la charge électrique ? »

On dit généralement que l'électricité est un « fluide » ; ce terme semble vague, mais on ne peut guère appeler autrement cet élé-

ment insaisissable par lui-même, dont les effets deviennent bien plus voyants quand il est en mouvement. Il en est un peu de même de l'air : on le perçoit difficilement, mais les effets du vent sont très sensibles.

L'électricité ou, pour être plus précis, les charges électriques font partie de la matière. On sait que toute matière est composée de molécules. Ces molécules sont elles-mêmes des groupes de corpuscules plus petits, les atomes.

Ces derniers, à leur tour, sont composés d'un noyau, partie minuscule renfermant la quasi-totalité de la masse de l'atome, autour duquel il y a des « particules ».

Ce noyau est minuscule : si l'on arrivait à « comprimer » la matière de telle sorte que les noyaux soient très proches les uns des autres (au lieu d'être séparés par des vides immenses par rapport à leur taille), on aurait une matière dont un centimètre cube représenterait une masse de plusieurs tonnes. Et ce n'est pas là une simple vue de l'esprit : une matière ainsi « condensée » existe : elle est le constituant des étoiles dites « naines blanches », comme le « compagnon » de Sirius.

On sait que ce noyau est généralement très stable, à part celui de certains corps dits « radio-actifs » (uranium 235, plutonium), dont les noyaux atomiques éclatent spontanément. Pour les autres corps, on ne sait casser ou modifier leurs noyaux atomiques que depuis peu de temps, et on n'y arrive qu'en mettant en jeu des énergies énormes.

Revenons à ce qui se trouve autour du noyau. Nous avons parlé de « particules ». Ce sont les fameux « électrons » (le premier mot en « ... tron » d'une longue famille).

Suivant les hypothèses faites sur la structure de l'atome, on envisage différemment leurs déplacements. Selon un schéma maintenant considéré comme désuet, on peut dire que ces électrons « tournent » autour du noyau, comme les planètes autour du Soleil.

Ces particules sont extrêmement légères, la masse d'un électron étant environ 2000 fois plus petite que celle d'un atome d'hydrogène (qui n'est pourtant pas si lourd, vu qu'il en faut six cent mille milliards de milliards pour faire un gramme). Autrement dit, un électron a une masse « au repos » de :  $9,1096 \cdot 10^{-28}$  g (nous disons « au repos » car, avec ces corpuscules qui peuvent être animés de très grandes vitesses, voisines de celle de la lumière, les corrections de relativité jouent souvent, augmentant la masse quand la vitesse augmente).

Si léger qu'il soit, l'électron contient une charge électrique importante : dans un kilogramme d'électrons, il y a cent soixante seize milliards de Coulombs, soit quarante neuf millions d'ampères-heures.

Précisons toutefois que, pour avoir ce « kilogramme d'électrons », il faudrait rassembler de deux à cinq tonnes de matière... et encore : il faudrait en « extraire » tous les électrons.

## L'ÉQUILIBRE DES CHARGES

Comment se fait-il donc, si la matière contient tant de charges, que les effets ne s'en manifestent pas plus visiblement ? Tout simplement parce que les noyaux des atomes contiennent de quoi « neutraliser » les électrons. Nor-

malement, dans la matière, il y a un équilibre parfait entre les électrons et les charges contenues dans les noyaux des atomes.

Mais cet équilibre est très facile à rompre. Il suffit d'agir sur la matière par des produits chimiques, des contraintes mécaniques, des frottements, de la chaleur, de la lumière, des mouvements d'aimants au voisinage, etc., pour que l'équilibre soit rompu.

C'est ce que les Grecs ont constaté avec l'ambre, une résine fossile, dont on fait de beaux bijoux. Ils remarquèrent que cet ambre, frotté, devenait capable d'attirer les corps légers, comme les brins de paille. Comme l'ambre, en grec ancien, se nommait « elektron », on nomma « électricité » le phénomène lié aux propriétés de l'ambre frotté.

Que se passe-t-il donc quand on frotte cet ambre ? Il y a, en surface, un effet mécanique sur les électrons des atomes constituant les molécules de l'ambre. Ils sont déplacés, le corps qui frotte apportant des électrons supplémentaires, ou en enlevant (suivant le corps qui frotte, le phénomène peut avoir lieu dans un sens ou dans l'autre). Quoi qu'il en soit, après le frottement, l'équilibre dont nous parlions ne subsiste plus : il y a trop (ou trop peu) d'électrons pour que leur effet soit exactement neutralisé par celui des noyaux. L'effet résultant est alors ce que l'on appelle un « champ électrique » ; au voisinage du morceau d'ambre frotté, les corps légers se trouvent attirés.

Les connaissances sur l'électricité en sont restées là pendant bien des siècles. C'est, en effet, 700 ans, à peu près, avant notre ère, que Thalès de Millet découvrit le phénomène lié à l'ambre frotté.

On en resta aux curieuses propriétés de ce corps naturel pendant longtemps, puisque ce n'est que vers la seconde moitié du dix-septième siècle que Guillaume Gilbert, médecin de la reine Elisabeth d'Angleterre, fit une étude systématique sur les corps « électrisables ». Il trouva que l'on obtient des résultats analogues avec le verre, le soufre et bien d'autres corps.

C'est à peu près un demi-siècle plus tard que fleurirent les innombrables « machines électriques » qui allaient permettre une meilleure compréhension de ce « fluide ». La première dont l'histoire parle est celle d'Otto de Guericke, qui fonctionnait avec un globe de soufre (il est à noter que le soufre était choisi en partie à cause de ses propriétés électriques, en partie à cause de son caractère un peu « diabolique », car on commençait à soupçonner l'analogie entre les décharges depuis les corps électrisés et l'éclair de la foudre).

Déjà, vers 1730, Grey et Wheeler avaient fait une découverte fondamentale : ils avaient remarqué que, sur certains corps, l'électrisation reste parfaitement localisée alors que, sur d'autres, elle se généralise à tout le corps, à condition que ce dernier soit maintenu par un corps de la première espèce. Nous traduisons cela maintenant en disant que, dans un isolant, on peut créer des excès (ou des manques) locaux d'électrons, alors que, avec des corps conducteurs (ou mauvais isolants), l'action électrique se répartit sur tout ce corps, s'il est supporté par un isolant (sinon, les charges s'en vont, par le support, à la terre).

On s'aperçut très vite que l'on avait intérêt, pour les études, à stocker les charges sur des conducteurs, supportés par des isolants, plutôt que sur les isolants eux-mêmes.

En effet, si l'on a emmagasiné des charges électriques sur un isolant, on ne peut disposer, pour des expériences, que des charges produites à l'endroit même où l'on va les prélever. Si l'on a transféré les charges sur un cylindre de métal, supporté par des tiges en verre, par exemple, on peut prélever en un point de la pièce métallique la totalité des charges que l'on a stockées partout sur le métal.

Les premières machines électriques utilisèrent donc un isolant frotté comme générateur de charges, et un conducteur supporté par des isolants comme stockeur de charges. Pour passer de l'iso-

lant au conducteur, on utilisait le « pouvoir des pointes », qui facilitent l'écoulement vers elles (ou par elles) des charges électriques. On put alors commencer une étude sérieuse des charges électriques.

### ELECTRICITÉ DES DEUX SIGNES ET... TARTINE DE CONFITURE

Dès le début de l'étude sérieuse des phénomènes électriques, un Français, malheureusement bien oublié de nos jours, qui s'appelait Du Foy, collaborateur de l'abbé Nollet (grand précurseur dans l'étude de l'électricité, lui aussi), vit que si l'on suspendait à un fil de soie un petit objet léger, il était initialement attiré par le conducteur chargé de la machine électrique, mais que, dès que l'objet était arrivé en contact avec le conducteur, il était aussitôt repoussé par lui.

C'est à peu près à la même époque que l'on mit au point un appareil assez sensible pour déceler la présence des charges électriques : l'électroscope à feuilles d'or. La figure 1 montre comment il est constitué.

On place dans un récipient transparent R (une bouteille à large goulot, ou un bocal) une languette en feuille d'or, posée à che-

val sur une partie horizontale H qui termine en bas une tige verticale T. Les deux bouts de la languette font deux feuilles F et F' qui, normalement, pendent verticalement, au contact l'une de l'autre.

La tige T est maintenue par le couvercle C du récipient, couvercle isolant de préférence (ce n'est pas indispensable si le verre constituant R est bien propre et bien sec). La tige est terminée en haut par une boucle B.

Un tel électroscope est facile à construire. Il est recommandé de prendre une plaque de plexiglas pour faire le couvercle C ; la partie horizontale H est le bout recourbé d'un fil de cuivre soudé en bas de la tige T.

La feuille d'or se trouve assez facilement chez les marchands d'articles de dessin : on l'emploie pour la dorure et l'enluminure des manuscrits. Quoique l'on puisse en penser, elle n'est pas bien chère, le prix de l'or n'intervenant d'ailleurs presque pas dans le prix de la feuille (c'est le travail de laminage qui est coûteux). Le problème le plus délicat est la manipulation de la feuille, qui est si mince qu'un souffle suffit pour la déchirer ; il faut mettre un mouchoir noué devant son nez (comme les chirurgiens) quand on manipule cette feuille.

Dès que l'on approche de la boule un bâton d'isolant électrisé, on voit les feuilles dévier. Lors-

que l'on écarte le bâton, les feuilles retombent.

Si nous approchons un bâton de plastique frotté avec une peau de chat, les feuilles divergent. Il en va de même si nous approchons de la boule une tige de verre frottée avec un drap. Mais, si nous approchons simultanément le bâton de plastique et la tige de verre, en les mettant à des distances convenables de la boule, on constate que les effets des deux corps électrisés se contrarient, on peut arriver à annuler la divergence des feuilles.

On en conclut, comme l'ont fait les physiciens il y a près de deux cents ans, qu'il y a deux sortes de charges — électriques et qu'elles sont antagonistes. Initialement, ils les avaient appelées : électricité vitrée et électricité résineuse (les plastiques n'existaient pas à l'époque, on utilisait des sortes de résines).

Plus tard, on pensa qu'il fallait regarder cela comme des quantités positives et négatives, on dit que l'une des électricités serait appelée positive, l'autre négative. On avait, diront les statisticiens, une chance sur deux de faire un choix heureux. Malheureusement, là aussi, le fameux principe de la tartine de confiture a joué, on a pris le mauvais choix (vous connaissez, bien sûr, le « principe de la tartine de confiture » : quand on laisse tomber une tartine, il n'y a théoriquement qu'une chance sur deux pour qu'elle tombe avec la confiture vers le bas, or c'est toujours ce qui se produit ; il est à signaler que l'on donne aussi à ce principe le nom plus noble de « Loi de Murphy »).

Pourquoi ce choix est-il désastreux ? Tout simplement parce qu'il conduit à considérer comme négative la charge des électrons, qui sont les vrais véhicules du courant électrique dans la majorité des cas, et l'on verra plus loin à quel point cela va nous gêner. Mais tant pis, le choix est fait, il n'y a pas à revenir là-dessus.

Dès que l'on eût précisé les notions d'électricité positive et négative, on fit la constatation suivante : deux corps chargés d'électricité de même nom (nous disons maintenant de même signe) se repoussent mutuellement, tandis que deux corps chargés d'électricité de noms (signes) contraires s'attirent. C'est là l'explication du phénomène constaté par Du Foy : le petit objet supporté par un fil de soie, une fois arrivé au contact d'un corps électrisé, se charge d'électricité du même nom

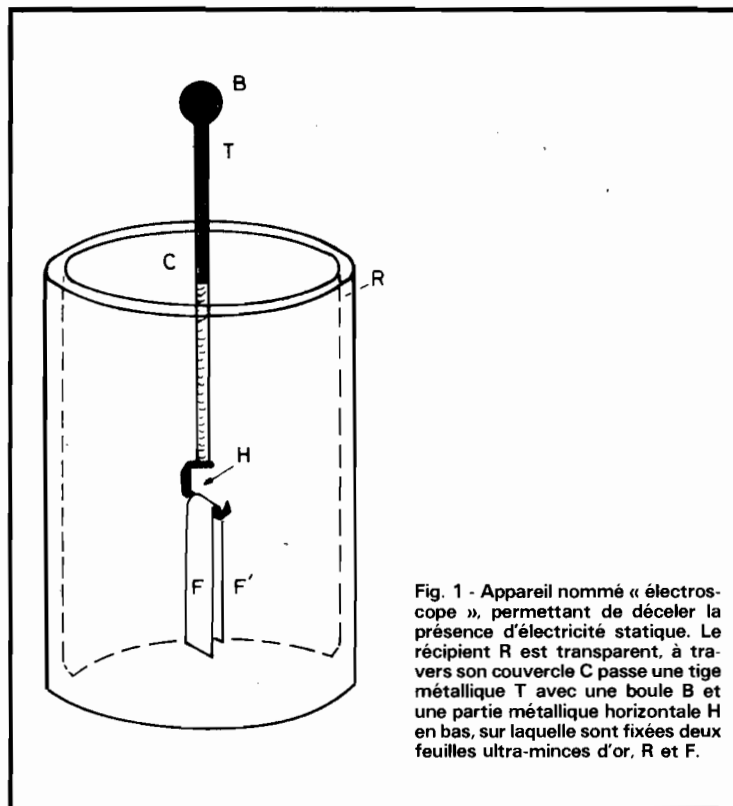


Fig. 1 - Appareil nommé « électroscope », permettant de déceler la présence d'électricité statique. Le récipient R est transparent, à travers son couvercle C passe une tige métallique T avec une boule B et une partie métallique horizontale H en bas, sur laquelle sont fixées deux feuilles ultra-minces d'or, R et F.

que celle qui est sur ce corps : l'objet léger est alors repoussé par le corps électrisé.

## INTERPRÉTONS LES ESSAIS À L'ÉLECTROSCOPE

Comment se fait-il que les feuilles de l'électroscope divergent quand nous approchons de la boule un corps chargé par frottement ? Cela s'explique par le phénomène dit « d'influence ».

Supposons (fig. 2) que le bâton électrisé que nous approchons de la boule soit chargé d'électricité négative. Il y a, dans le métal de la tige, de la boule et des feuilles, des charges positives et négatives en quantités considérables, mais elles sont initialement en quantités égales, se neutralisant parfaitement.

La présence du bâton chargé va détruire cet équilibre : les charges positives vont venir dans la boule, les charges négatives vont être repoussées le plus loin possible de cette dernière : elles iront dans les feuilles. Ces dernières porteront donc toutes les deux des charges de même signe : elles se repousseront.

Dès que l'on écarte le bâton, l'influence cesse ; les charges positives et négatives regagnent leurs places et se neutralisent parfaitement. Les feuilles ne sont plus chargées et elles retombent.

Nous pouvons maintenant faire une expérience plus compliquée et l'interpréter.

Pendant que le bâton chargé est proche de la boule, comme sur la figure 2, touchons avec le doigt la tige T (fig. 3 a). Tout en laissant le bâton au même endroit, retirons le doigt (fig. 3 b), puis écartons le bâton (fig. 3 c).

Nous constatons, lorsque nous touchons la tige, que les feuilles retombent, ce qui est normal : notre doigt va permettre l'écoulement vers le sol des charges que le bâton repoussait le plus loin possible. Comme lesdites charges peuvent aller, par le chemin qui leur est offert (le doigt, le corps de l'opérateur et le sol), bien plus loin que dans les feuilles, elles vont immédiatement profiter de l'occasion et quitter les feuilles.

Quand nous enlevons le doigt (fig. 3 b), les charges positives sont maintenues dans la boule par influence du bâton chargé négativement. Mais quand nous retirons le bâton, les charges positives ne sont plus maintenues dans la bou-

le, elles vont partout en particulier sur les feuilles (fig. 3 c). Ces dernières s'écartent.

Si nous approchons de nouveau le bâton électrisé négativement, nous nous retrouverons dans le cas de la figure 3 (b), et la divergence des feuilles va diminuer, au fur et à mesure que l'on approchera le bâton.

A l'opposé, si nous approchons de la boule un corps chargé positivement, il va repousser d'autres charges positives vers les feuilles, dont la divergence va augmenter.

## UN PETIT TOUR DANS L'ÉLECTRONIQUE

Pour bien montrer que ces

considérations sont directement applicables dans le domaine de l'électronique, nous allons, à la lumière de ce que nous venons de voir, nous pencher sur le fonctionnement du microphone à condensateur.

On sait que ce dernier comporte une fine membrane M (fig. 4), soumise à l'action des ondes sonores, placée très près d'un corps électrisé E, que nous supposons porteur de charges positives sur sa face en regard de la membrane (on sait que, maintenant, il n'est plus nécessaire d'amener ces charges sur une plaque fixe E, on a remplacé cette dernière par un « electret », sorte de disque portant, par construction, des charges positives sur une face et des charges négatives sur l'autre).

Le phénomène d'influence tend donc à appeler sur la membrane des charges négatives, tandis que les charges positives de la membrane sont repoussées, à travers le fil F, vers l'entrée de l'amplificateur A (généralement il s'agit de la grille d'un transistor à effet de champ).

Quand la membrane M va s'approcher du corps E, ce qui aura lieu quand elle sera poussée par une augmentation de pression due aux ondes acoustiques, il y aura un effet d'influence plus prononcé, il y aura donc plus de charges positives qui iront vers l'entrée de A. A l'opposé, quand M va s'écarter de E, sous l'influence d'une diminution de pression, il y aura moins de charges positives à l'entrée de A.

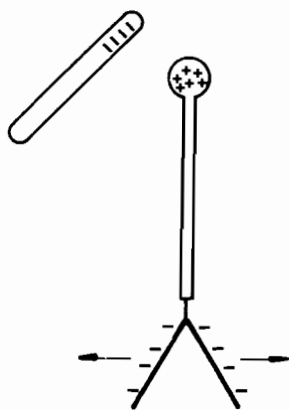


Fig. 2. - Quand on approche de la boule de l'électroscope un bâton électrisé, par exemple en électricité négative, les charges positives contenues dans la tige de l'électroscope vont vers la boule B, les charges négatives sont repoussées vers les feuilles. Ces dernières, chargées négativement toutes deux, se repoussent et divergent.

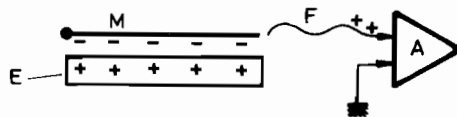


Fig. 4. - Dans le microphone à condensateur, la plaque électrisée positivement E maintient dans la membrane M des charges négatives, faisant partir les charges positives de la membrane vers l'entrée de l'amplificateur A.

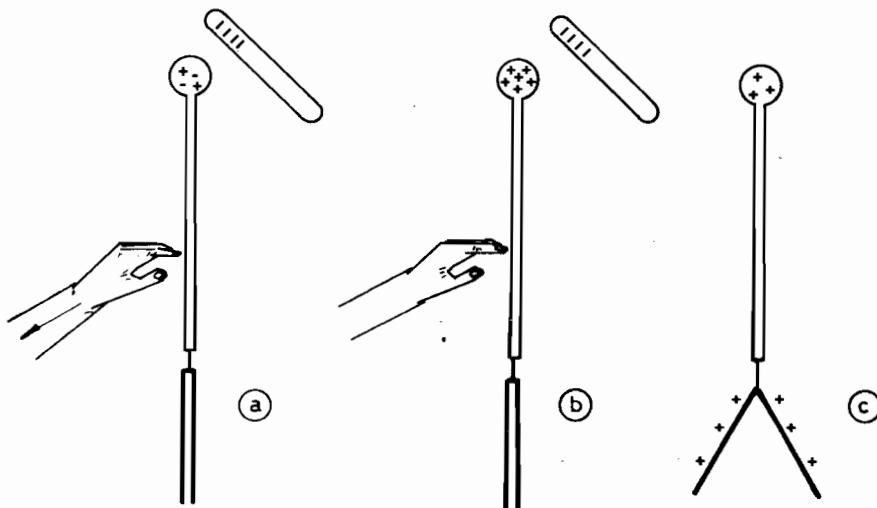


Fig. 3. - Ayant approché un bâton électrisé de la boule de l'électroscope, comme sur la figure 2, on a touché (a) la tige. Les charges négatives sont parties dans le sol et les feuilles retombent. En (b), avec le bâton à la même place, on a cessé le contact de la main et de la tige : les charges positives, maintenues dans la boule par l'influence des charges négatives du bâton, ne vont pas dans les feuilles : ces dernières restent verticales. Si on écarte le bâton (c), les charges positives se répartissent partout dans le métal de l'électroscope, y compris dans les feuilles, qui re-divergent.

On voit donc comment le mouvement de  $M$  va engendrer une variation de potentiel à l'entrée de  $A$ , ce dernier l'amplifiant pour donner un signal BF utilisable.

## LES PROBLÈMES D'INCOMPATIBILITÉ D'HUMEUR

Puisque les charges de même signe se repoussent, on se doute que cette « mésentente » des charges va les pousser à s'écarter le plus possible les unes des autres. Si ces charges sont sur un isolant, qui ne les laisse pas circuler, tant pis pour elles : elles seront forcées de se supporter mutuellement, malgré l'horreur qu'elles s'inspirent.

Mais, dans un conducteur, supporté, comme toujours, par un isolant, les charges peuvent se déplacer librement, à condition de rester sur le conducteur, puisqu'il n'y a pas de chemin pour elles vers le sol.

Elles se comporteront donc comme des enfants qui sont « fâchés entre eux » et que l'on a logés dans une même pièce dont la porte est fermée : ils se mettent aussi loin que possible les uns des autres, occupant les coins de la pièce. Les charges se fuiront donc mutuellement dans la limite du possible et elles iront se loger sur la **surface** du conducteur. Il n'y en aura aucune qui restera à l'intérieur.

Si ce conducteur est une sphère, la répartition des charges sera régulière : chaque centimètre carré de la surface de cette sphère contiendra la même charge (nous supposons qu'aucun corps influençant n'est à proximité).

Mais s'il s'agit d'un corps de forme plus complexe, l'effet de répulsion mutuelle des charges sera maximal là où le rayon de courbure est petit, ne laissant aux charges que peu de « recul » pour se fuir mutuellement. C'est ce fait qui explique le pouvoir des pointes : quand le rayon de courbure devient tout petit, les charges sont repoussées par d'autres avec une telle force qu'elles en arrivent à s'enfuir par l'air, rendu conducteur par « ionisation ».

Les constructeurs de machines électriques avaient noté ce phénomène, utilisé pour collecter par des peignes les charges développées sur des isolants par frottement. Ils avaient aussi fait attention à prévoir des conducteurs tout à fait dépourvus d'aspérités

pour le stockage des charges : ce sont des cylindres de gros diamètre, terminés par des sphères ou des fractions de sphères.

Cette aversion réciproque des charges va conduire à une autre nécessité : utiliser des conducteurs de grande taille pour loger sans trop de difficulté beaucoup de charges. En effet, sur une petite sphère, par exemple, les charges ne peuvent guère se fuir. Il en résulte que, lorsqu'il y a un peu de charges logées sur la surface de cette petite sphère, il devient très difficile d'en loger d'autres. Chaque charge que l'on voudra apporter sur la petite sphère va être si énergiquement repoussée, surtout vers la fin de son déplacement, qu'il faudra un travail énorme pour l'amener.

De toutes façons, même avec une grosse sphère, où l'on peut loger, toutes choses égales par ailleurs, plus de charges que sur une petite, il ne sera guère possible de dépasser une charge relativement minime : sur une sphère de 1 mètre de diamètre (bien encombrante), on ne peut guère loger plus d'un cent millièmes de Coulomb. Pour loger de plus grandes charges, il faudra trouver autre chose que la simple boule métallique isolée.

## LA MESURE DES CHARGES

Cette force qui fait se repousser deux charges de même signe a permis, dès les débuts de l'électricité, de définir une unité de charge.

On a commencé par étudier comment cette force variait avec la **distance** qui sépare les charges. On a vu qu'elle était inversement proportionnelle au carré de cette distance : quand on multiplie la distance des charges par 5, par exemple, la force est divisée par 25 (carré de 5) ; quand on divise la distance par 7, la force est multipliée par 49.

On a donc pris comme unité de charge celle qui, placée à un centimètre d'une charge identique dans le vide (ou dans l'air, ce qui est pratiquement la même chose du point de vue de la force), la repoussait (et était repoussée par elle) avec une force de une « dyne ». En effet, l'unité de distance du système utilisé à l'époque (système cgs) est le centimètre, l'unité de force étant la dyne, qui représente à peu près la force d'attraction de la Terre sur une

masse de un milligramme, autrement dit le **poids** de un milligramme.

Cette unité de charge est minuscule : il en faut trois milliards pour faire le Coulomb, unité de charge actuellement utilisée.

Dans le système d'unités normalisé (MKSA) l'unité de distance est le mètre, l'unité de masse le kilogramme-masse, l'unité de temps étant la seconde. Il en résulte que l'unité de force de ce système est le « Newton », qui vaut exactement cent mille dynes.

On ne définit pas le Coulomb par action de répulsion sur une charge égale. En effet, en admettant que l'on puisse placer une boule métallique portant une charge de un Coulomb à un mètre d'une autre boule portant la même charge, la force de répulsion mutuelle serait de neuf milliards de Newtons, soit à peu de choses près, le poids d'une masse d'un million de tonnes !

## L'UTILISATION DES CHARGES ANTAGONISTES

Donc, dès que l'on veut loger des charges électriques sur une pièce métallique, on se heurte à la force qui fait se repousser les charges. Celles que l'on a réussi à placer sur la pièce sont fortement repoussées vers l'extérieur et elles repoussent toute charge que l'on veut y apporter, ce qui fait qu'un tel apport ne peut se réaliser qu'au prix d'un travail mécanique considérable.

Tout se passe un peu comme si l'on voulait apporter du gaz dans un récipient de très faible volume : la pression y augmenterait très vite, nécessitant un effort de pompage énorme pour y faire entrer encore un peu de gaz.

Avec les charges, on ne parle, bien sûr, pas de « pression ». On dit que les charges sont à un **potentiel** élevé par rapport à la Terre, vers laquelle la répulsion électrique leur donne « envie » d'aller (si nous osons interpréter ainsi la « psychologie des charges »). C'est un peu la même chose que si l'on avait hissé de l'eau en la faisant pénétrer par le bas dans un tube vertical de très petite section : même pour une faible quantité d'eau, le niveau monterait très haut, ce qui provoquerait l'apparition d'une très forte pres-

sion en bas du tube. Il faudrait, pour chaque gramme d'eau à faire pénétrer dans le tube, vaincre une pression énorme, et l'introduction de ce gramme d'eau correspondrait à un travail mécanique considérable.

On note ce « potentiel », correspondant au travail (en Joules) que l'on doit effectuer pour amener en ce point une charge de un Coulomb, en unités de potentiel : en Volts.

Pour donner le potentiel d'un point, il faut définir d'où l'on est parti pour amener la charge unité en ce point. On parle plus de « différence de potentiel » entre deux points que de potentiel d'un point. Si on ne l'a pas précisé, l'un de ces deux points est toujours la Terre.

Donc, maintenant que nous connaissons la notion de potentiel, analogue à la notion de pression en mécanique, nous pouvons mieux préciser l'imperfection de la simple boule métallique comme réceptacle de charges : on ne peut y loger que peu de charges, et ce en la portant cependant à un potentiel énorme par rapport à la Terre.

Qu'on ne s'y trompe pas : les premières machines électriques ne donnaient que des charges dérisoires, atteignant péniblement le microcoulomb (un millionième de Coulomb !), mais elles mettaient en jeu des différences de potentiel énormes, se comptant souvent en dizaines ou en centaines de kilovolts.

Dans un récipient donné où l'on veut loger du gaz, il y a un rapport constant entre la masse  $m$  de gaz qu'on y fait entrer et la pression  $P$  de gaz obtenue quand le gaz est entré. Ce rapport  $P/m$ , indépendant de  $P$  et de  $m$ , définit le volume du récipient, ou, comme l'on dit aussi, sa **capacité**.

Pour les conducteurs sur lesquels on loge des charges, il y a aussi un rapport constant, caractérisant l'aptitude de ce conducteur à emmagasiner des charges : le rapport de la variation de potentiel de ce corps à la quantité d'électricité qu'on y a introduite, provoquant ladite variation de potentiel ; ce rapport se nomme la **capacité** du conducteur, il se compte en **Farads**. Un conducteur d'une capacité d'un Farad a son potentiel qui augmente d'un Volt quand on lui amène une charge de un Coulomb.

A titre indicatif, si l'on voulait faire un conducteur simplement sphérique ayant une capacité d'un Farad, il « suffirait » d'une sphère de dix-huit millions de kilomè-

tres de diamètre, soit treize fois le diamètre du Soleil.

On en tire une conclusion : une grosse boule métallique n'est pas la solution rêvée pour stocker des charges importantes.

Mais alors, comment faire pour entasser beaucoup de Coulombs dans quelque chose sans faire appel à des boules grosses comme Sirius (c'est loin, Sirius, de plus c'est peu maniable et relativement chaud !), oui, comment faire ?

La solution se trouve aisément si on réfléchit avec notre logique actuelle : puisque c'est la répulsion mutuelle des charges de même signe qui rend si difficile le stockage de ces charges, on doit arriver à faciliter les choses en faisant intervenir des charges de signe contraire, au voisinage de l'endroit où l'on veut mettre les premières charges.

---

**UNE BOUTEILLE  
DE LEYDE,  
DE L'EAU,  
UNE MACHINE  
ÉLECTRIQUE,  
UN PHYSICIEN,  
LA COURONNE DE  
FRANCE ET...  
PAS DE  
RATON-LAVEUR !**

---

Non, ce n'est pas un poème de Prévert ! Il s'agit de l'histoire authentique de la découverte accidentelle des condensateurs.

Le physicien s'appelait Muschenbroek, il travaillait à Leyde dans les Pays-Bas, et il avait pensé que l'on pouvait électriser de l'eau (il voulait stocker des charges électriques dans l'eau : après tout, pourquoi ces charges ne seraient-elles pas solubles dans l'eau ?).

Il prit donc (fig. 5) une bouteille contenant de l'eau, fermée par un bouchon traversé par une tige. Cette dernière se terminait en bas dans l'eau, en haut dans l'air, avec une boule au bout.

Il toucha le conducteur d'une machine électrique avec la boule et fit fonctionner la machine. Les charges arrivèrent par la tige, fort lentement (une machine électrique produit, nous l'avons dit, fort peu de charges).

Après un certain temps, prévu pour la charge, Munschenbroek toucha la boule, préalablement écartée de la machine électrique et... il reçut une commotion fort désagréable.

On peut penser que c'est plus l'émotion que la commotion qui l'affecta à ce point, mais il raconta à tout le monde qu'il venait de ressentir une chose atroce, il s'alita et précisa qu'il ne recommencerait pas l'expérience, quand bien même on lui offrirait la couronne de France !

On ne la lui offrit d'ailleurs pas et il s'en remit. Evidemment, le choc avait été bien plus désagréable que tout ce que les physiciens avaient pu ressentir jusque-là en déchargeant avec le doigt des corps chargés d'électricité, mais ce ne devait pas être tellement horrible.

Muschenbroek conclut de son expérience que l'eau pouvait retenir des charges à la perfection, ce qui était une erreur. Non, la propriété de la fameuse « Bouteille de Leyde » venait de la présence face à face, à faible distance, de l'eau à l'intérieur de la bouteille et de la main du malheureux expérimentateur à l'extérieur. Si le physicien avait posé sa « bouteille » sur un support isolant assez grand pendant la charge, il n'aurait senti, en déchargeant le tout, qu'une secousse légère, car il n'aurait pas pu faire entrer beaucoup de charges dans l'eau de la bouteille (sur la face extérieure de cette eau, pour être plus précis, autrement dit sur la face intérieure de la bouteille).

Mais la présence de la main à l'extérieur de la bouteille, une main conductrice, fort proche (à l'épaisseur du verre près) de l'eau à l'intérieur (cette eau devant, elle aussi, être considérée comme conductrice), venait tout changer. Pourquoi ? Parce que l'arrivée de charges négatives (par exemple) dans l'eau provoquait, par influence, l'arrivée de charges de signe opposé, positives donc dans notre exemple, sur la main du physicien, plus exactement sur la face interne de cette main, celle qui était au contact avec le verre de la bouteille. Ces charges montaient depuis la Terre à travers le corps de l'infortuné physicien, qui ne sentait alors rigoureusement rien, le courant électrique correspondant étant très largement inférieur à ce qu'il faut pour qu'on le ressente.

Dans ces conditions, l'attraction exercée, à travers le verre, sur les charges négatives par les charges positives, permettait de loger bien plus facilement les charges négatives, car cette attraction contrebalançait efficacement la répulsion mutuelle des charges négatives.

Donc, pour reprendre notre comparaison de tout à l'heure, tout se passait comme si l'on avait voulu pomper de l'eau en la faisant pénétrer dans un tube vertical, ouvert en haut, par la base de

ce dernier, mais dans un tube de gros diamètre, cette fois, où l'on peut loger beaucoup d'eau sans que le niveau monte abusivement.

La machine électrique jouait le rôle que, dans notre exemple, joue la pompe qui refoule l'eau à la base du tube. Que ce soit dans le gros tube ou dans le petit tube, le niveau final était le même, dépendant uniquement de la pression maximale que peut donner la pompe. Evidemment, pour arriver à ce niveau limite, il faut plus de temps dans le cas du gros tube qu'avec le petit.

De même, la machine électrique, pouvant donner une différence de potentiel maximale définie, chargeait au même potentiel par rapport à la Terre un conducteur quelconque isolé et la bouteille de Leyde (ou plutôt la face intérieure de cette bouteille). Mais avec la bouteille, la charge était plus longue, et l'énergie emmagasinée était bien plus grande, d'où l'émotion de l'inventeur du condensateur.

---

**DEUX CONDUCTEURS  
SÉPARÉS PAR  
UN ISOLANT...**

---

... et nous avons réalisé un condensateur. Les charges d'un signe que l'on met sur un des conducteurs, plus exactement sur la face de ce conducteur en regard de l'autre, appellent, par influence, des charges de signe opposé sur l'autre conducteur (on dit aussi « armature ») du condensateur.

Le stockage des charges est alors très facile. L'effet d'attraction des charges négatives par les charges positives enlève aux unes et aux autres presque toute envie de s'en aller. Elles ont même tellement envie d'aller les unes vers les autres qu'il est prudent de ne pas augmenter outre mesure la différence de potentiel entre les armatures : les charges opposées prendraient alors le plus court chemin pour venir se rejoindre.

Pensez que, sur une plaque de verre de 2 mm d'épaisseur, de 1 m x 0,5 m, en garnissant les deux faces de papier métallique presque jusqu'aux bords (fig. 6), on peut stocker autant d'électricité, à différence de potentiel égale, que dans une sphère isolée de 160 m de diamètre ! Les charges positives d'une des armatures sont attirées par les charges négatives de l'autre. Et l'on peut charger ce condensateur avec une dif-

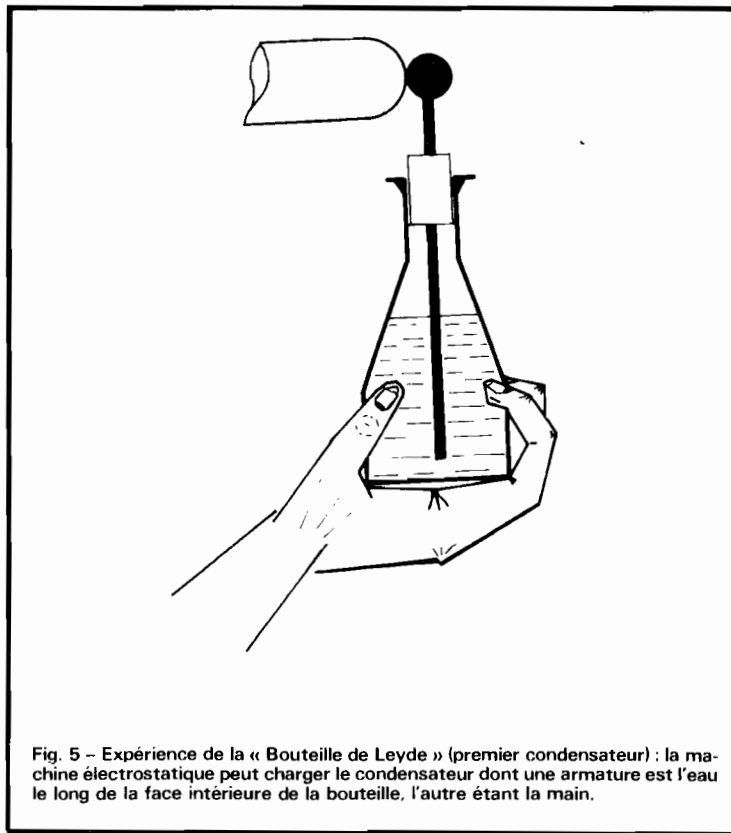


Fig. 5 - Expérience de la « Bouteille de Leyde » (premier condensateur) : la machine électrostatique peut charger le condensateur dont une armature est l'eau le long de la face intérieure de la bouteille, l'autre étant la main.

férence de potentiel élevé entre les armatures : deux millimètres de verre, cela supporte facilement 20 kV ; sous cette tension, on stocke près d'un cinquième de millicoulomb, et cela représente une énergie disponible de près d'un cinquième de Joule.

Bien entendu, les charges ont toujours « envie » de se rejoindre : si l'on connecte par un fil les deux armatures de notre condensateur, il y aura écoulement des charges d'une des armatures vers l'autre, sous l'influence de la différence d'état électrique (ou différence de potentiel) entre ces armatures. Le courant électrique qui en résultera sera, presque toujours, trop bref et trop peu intense pour que l'on puisse en étudier vraiment les effets.

### ET SI L'ON FAIT AGIR LES PRODUITS CHIMIQUES ?

Là, tout change. Nous avons dit, plus haut, que l'on pouvait rompre l'équilibre entre les charges positives et les charges négatives dans la matière de différentes façons. Jusqu'ici, nous n'avons envisagé que le frottement, et nous avons vu qu'il était capable de produire fort peu de charges, mais qu'il peut les placer à un « niveau électrique », ou à une « pression électrique » considérable, autrement dit à un potentiel élevé. La production d'électricité par frottement est un peu l'analogue de la compression de très faibles quantités de gaz sous une énorme pression dans un réservoir de volume minuscule.

L'action chimique procède tout autrement. Quand on plonge un métal comme le zinc dans un bain acide, l'action des ions hydrogène de la solution se traduit par une « attaque » du zinc. Les atomes de zinc passent en solution sous forme d'« ions zinc », qui sont des atomes auxquels on a enlevé deux électrons par atome. Ces électrons, en nombre énorme, vont se loger dans le zinc. Rendant ce dernier négatif par rapport à la solution, ils ralentissent l'attaque (qui peut même s'arrêter complètement si les produits sont ultra-purs).

En un temps quasi nul, l'action chimique libère ainsi un nombre fabuleux d'électrons dans le zinc, sans aucune comparaison avec ce que peut produire un frottement. Mais cette action de nature chimi-

que ne peut « élever la pression » (le potentiel) des électrons bien haut, tant s'en faut. Ce n'est plus en kilovolts ou mégavolts que l'on compte les différences de potentiel, mais en volts (sans les mettre tellement au pluriel !), car le phénomène est d'une toute autre nature que celui du frottement.

Pourrons-nous « utiliser » ces électrons du zinc ? Oui, à condition de les faire circuler dans un fil et de les renvoyer dans la solution acide. Pour cela, il faudra que les électrons y rentrent par un conducteur qui ne soit pas soumis à l'attaque chimique, contrairement au zinc. Nous utiliserons une deuxième électrode en cuivre, ou en charbon, plongée elle aussi dans le bain acide : ce sera l'électrode « positive » de notre pile, car, les lecteurs l'ont bien deviné malgré les précautions de l'auteur, il s'agit d'une pile électrique.

Dès que nous prélèverons les électrons sur l'électrode de zinc, pour les renvoyer à l'électrode de charbon (par exemple) à travers un circuit extérieur à la pile, l'attaque chimique régénérera immédiatement les électrons prélevés, en nombre énorme à chaque seconde.

Tout se passe comme si l'action chimique travaillait comme une pompe, capable de comprimer à une vitesse fantastique d'énormes masses de gaz, sous une pression très faible, dans un réservoir, où ladite pompe peut, si l'on consomme une partie de ce gaz, le remplacer immédiatement en quasi-totalité.

On conçoit qu'il faudra prévoir, pour le parcours des électrons, à l'extérieur de la pile, un chemin aisé : plus question de faire passer

les charges par ces « mauvais isolants » dont s'accoutaient parfaitement les expérimentateurs utilisant les machines électriques ; plus question de faire passer les charges par du bois mouillé, par de l'eau presque pure : il n'y passerait qu'une quantité de charges par seconde tout à fait dérisoire par rapport à ce que l'action chimique peut fournir. Non, nous emploierons des circuits où les électrons passent bien, des conducteurs métalliques, par exemple.

### OÙ EN SOMMES-NOUS ?

Nous avons donc vu ce qu'étaient les charges électriques, telles qu'on les a découvertes il y a fort longtemps. Nous savons qu'on peut les produire par frottement, ce qui en donne fort peu mais avec une énorme « envie de partir », due à la répulsion mutuelle des charges. Cette répulsion nous a permis de définir une unité de charge ; le travail que l'on doit faire pour amener une charge unité d'un point à un autre (travail exercé contre les forces répulsives des charges) nous a permis de définir la différence de potentiel entre ces points.

Nous avons vu ensuite que le stockage des charges était malaisé en raison de l'effet de répulsion mutuelle, qui les localise sur la surface des conducteurs et limite très strictement la quantité de charges stockables. Une « astuce », l'utilisation du maintien des charges grâce aux charges antagonistes, nous a permis d'augmenter les possibilités de stockage dans les conducteurs, sans toutefois aller tellement loin.

Nous avons enfin vu que, pour produire des quantités énormes d'électrons sous une différence de potentiel très faible, une solution de choix était l'action chimique.

Donc, dans notre pile, les électrons, que nous connaissons bien maintenant, sont prêts à partir en quantités fantastiques (par rapport aux décharges des corps électrisés) dès que nous leur offrirons un passage suffisamment aisé. Bref., nous avons bien fait connaissance de l'eau ; nous sommes prêts à ouvrir la vanne, nous aurons un fleuve. Les effets qui se manifesteront alors sont tout à fait nouveaux, mais leur étude va être bien simplifiée : tout est prêt, le courant électrique peut partir, mais... ça c'est une autre histoire (comme disait Rudyard Kipling) !

(A suivre)

J.-P. OEHMICHEN  
Ingénieur E.P.C.I.

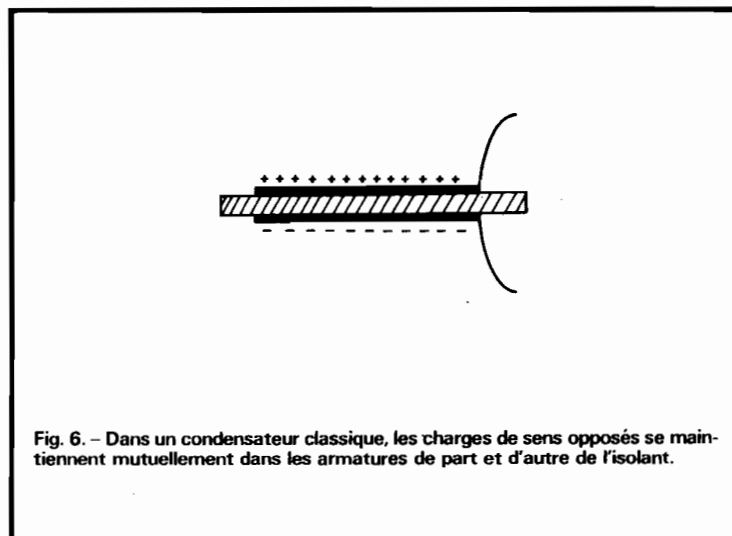


Fig. 6. - Dans un condensateur classique, les charges de sens opposés se maintiennent mutuellement dans les armatures de part et d'autre de l'isolant.