ELECTROMÈTRES ET ELECTROSCOPES

par

DR. HURMUZESCU

Professeur à l'Université de Jassy.

D'une manière genérale on appelle électromètre un système de corps conducteurs pouvant servir à la mesure des différences de potentiel ou des charges électriques. Cette mesure est basée sur le déplacement relatif des conducteurs, du à une attraction on à une répulsion électrostatique.

Ces instruments ont été employés exclusivement dans les laboratoires, depuis peu de temps seulement leur rôle devient plus important dans les mesures industrielles.

Electromètres absolus. Lorsque les conducteurs entre lesquels nous voulons connaitre la différence de potentiel, sont construits de telle sorte que l'on puisse calculer en chaque point la distribution des lignes de force électrique, nous avons un *électromètre absolu.*

Pratiquement cela n'est possible que si le champ est uniforme dans la partie moyenne où se mesure l'attraction électrique, ou encore si le champ électrique varie suivant une loi simple et calculable.

Les surfaces géometriques avec lesquelles on a réalisé des électromètres absolus sont: deux plans parallèles indifinis ou à anneau de garde, (l'électromètre de Lord Kelvin comme type [1]), deux cylindres circulaires concentriques et infiniment longs, (l'électromètre cylindrique de Bichat et Blondlot), deux sphéres concentriques (l'électromètre de Lippmann).

---

1) H. Abraham et I. Lemoine Electromètre absolu pour les grandes différences de potentiel. Journal de Physique (année 1895) t. IV p. 466.

A. Pérot. et Ch. Fabry. Electromètre absolu pour petites différences de potentiel. Voir Journal de Physique (année 1898) t. VII p. 317.

La théorie de tous ces instruments est facilement déduite de la considération du déplacement relatif des conducteurs électrisés à potentiel constant. On sait que dans ce cas le travail électrique est égal à l'accroissement de l'énergie du système.

$$dT=\frac{1}{2}VdM$$

or $M=cV$, d'où $dM=Vdc$

$$dT=\frac{1}{2}V^2dc=Fdx$$

Si nous considérons, que la partie mobile du système electromètrique s'est déplacée de dx suivant la force, la capacité du système a augmenté de dc.

Mettons $c=f(a, s, k)$

$$dc=f'(x, s, k)\,dx$$

En remplaçant plus haut nous tirons

$$V=\sqrt{\frac{2F}{f'(x, s, k)}}$$

En mesurant la force F en dynes et en calculant $f'(x,s,k)$ en centimetres on a V en valeur absolue.

Pour l'electromètre à plateaux

$$f(x, s, k)=\frac{S}{4\pi e} \text{ et } \ldots f'(x, s, k)=\frac{S}{4\pi ke^2}$$

Pour l'electomètre cylindrique

$$f(x, s, k)=\frac{l}{2k\mathrm{Log}\frac{R}{r}}, \text{ d'ou } f'(x, s, k)=\frac{1}{2k\mathrm{Log}\frac{R}{r}}$$

Pour l'électromètre sphérique

$$f(x, s, k)=\frac{Rr}{R-r}, \ldots\ldots f'(x, s, k)=\frac{R^2}{4(R-r)^2}$$

Pour mesurer F en valeur absolue il faut employer la balance. C'est la raison pour laquelle le plus souvent l'électromètre est construit sous forme de balance.

Si au lieu de peser cette force par des poids on la compense par une autre force contraire. comme par exemple une

action électrodynamique, on a la différence de potentiel entre deux conducteurs, mesurée par l'intensité absolue du courant qui traverse l'électrodynamomètre. [1])

Dans tous ces instruments pour que la sensibilité soit suffisante, il faut que les deux conducteurs électrisés à la différence de potentiel V soient le plus rapprochés possible ; autant que le permet une mesure précise de cette longueur et la longueur de l'etincelle de décharge entre les deus surfaces.

Electromètres relatifs. Lorsqu'il s'agit de comparer seulement les différences de potentiel ou les charges électriques, il n'est pas besoin de connaître la densité électrique. Il suffit dans ce cas, que pour un petit déplacement du système mobile, la distribution électrique ne change pas d'une manière appréciable

Le type de ces appareils est l'électromètre à quadrants ou l'électromètre symétrique.

Il y a une grande variété de ces électromètres, et l'on peut combiner pour chaque expérience une forme qui soit la mieux appropriée. [2])

Pour l'étude de la transformation des rayons X, j'ai employé de préférence les deux variantes suivantes: La partie fixe de l'appareil se composait de deux secteurs diamétraux et doubles, formés d'acier aimanté, les poles de noms contraires en regard. L'aiguille était une feuille d'aluminium et tournait entre les deux doubles secteurs superposés. Un fil de platine de $0,^{mm}03$ de diamètre portait l'aiguille. La sensibilité de l'appareil était telle que pour un volt on avait un déplacement de 12^{mm} sur une échelle installée à un mètre de distance.

Une autre forme que j'ai employée est un electromètre cylindrique, dans lequel on compensait la déviation par une action électrodynamique ; une réduction de mon appareil pour la mesure de v. Les résultats obtenus par cet instrument ont été excellents: nous y reviendrons dans un autre travail.

Electroscopes. Dans l'étude des certains phénomènes électrostatiques, on a hesoin souvent pour les démonstrations et quelquefois même pour les recherches. d'une indication plus rapide et plus facile.

Comme les électromètres sont plus difficiles à installer que les électroscopes, pour ces cas, on leur préfère ces derniers instruments, lesquels peuvent devenir une espèce d'électromètre par une graduation préalable.

---

1) voir Dr. Hurmuzescu Nouvelle détermination du rapport v. thèse de doctorat. Gauthier-Villars 1896.

2) M. Riccardo Arno, a construit un électromètre, dont la partie mobile est en papier paraffiné, basé sur le retard d'électrisation du à la polarisation des diélectriques soumis à l'influence d'un champ électrique variable.

Les premiers électroscopes étaient basés sur l'action de répulsion du pendule électrique.

Le premier électroscope est celui de Canton (1753), il se composait de deux boules de sureau suspendues par des fils métalliques, puis vient celui de Hanley, suivi par celui de Volta (à pailles d'or). Le premier électroscope à feuilles d'or est du à Bennet (1787).

Depuis on a eu différents modèles d'électroscopes, mais celui qui a été le plus employé est l'électroscope à feuilles d'or. On peut dire qu'a l'aide de cet appareil, les theorèmes de l'électricité statique peuvent être demontrés et verifiés facilement. L'electroscope a pu donner naissance aussi à des découvertes et même dans ces derniers temps.

Toutes les variantes de l'électroscope se reduisent au principe suivant de construction. Un conducteur métallique terminé à la partie inférieure par un système de feuilles métalliques très minces, donc mobiles. Les feuilles etaient de l'or battu (quelques microns comme épaisseur); on a employé aussi de l'aluminium à cause de sa légéreté. Ce système de conducteurs doit être maintenu par un support isolant et à l'abri de tout mouvement d'air. L'état électrique du système est donné par l'angle d'écart entre les feuilles d'or.

L'isolant, qu'on a employé de préférence, a été la verre, lequel servait en même temps comme cloche pour mettre l'électroscope à l'abri des mouvements de l'air.

Ainsi construit l'appareil ne donnait des indications exactes que par un temps bien sec et encore dans certaines conditions. Le verre, étant une substance hygroscopique, etait plus on moins conducteur, et l'électroscope perdait vite la charge.

Dans d'autres cas la cage en verre s'electrisait par influence et plus encore par convection, de sorte que l'effet qu'on voulait mesurer se trouvait être caché par ces phenoménes perturbateurs. Ayant eu l'occasion de m'occuper en 1894 de certains phénoménes nouveaux d'électrisation par convection [1], j'ai montré combien les indications d'un tel électroscope peuvent étré faussées par les électrisations du verre et par ses qualités imparfaites de mauvais isolant, variables avec l'état hygromètrique.

Voulant éliminer les causes d'erreurs dans ees appareils, j'ai été conduit à construire un nouvel instrument réunissant les conditions suivantes: isolement complet et suppression de toute action parasite.

1) Dr. Hurmuzescu. Charge électrique par convection de l'air. Séances de la Société française de Physique. Paris, année 1893, p. 282.

Comme isolant on avait déjà employé d'autres substances que le verre, ainsi on avait mis à contribution la résine, l'ébonite. M. Branly [1]) avait utilisé des électroscopes isolés au soufre. M. Boudréaux [2]) dans la fabrication de ses instruments d'électrostatique préférait l'isolement à la paraffine.

Ces deux isolants donnent des résultats également bons, mais le soufre a le grand inconvenient d'être très cassant. Le fait de le tenir à la main peut produire quelquefois ce résultat.

La paraffine isole parfaitement tant qu'elle est propre, mais son point de fusion est très bas et avant cette température elle devient molle (23°). Dans cet état sa surface adhérente s'empreigne vite des poussières. De cette manière l'isolement, qui se fait par la surface, se trouve compromis, du moment que cette dernière n'est pas en état de propreté parfaite.

En faisant fondre des quantités convenables de soufre et de paraffine à une douce température après avoir ajouté un dissolvant comme le benzol, on obtient, après la solidification par refroidissement brusque et sous pression, une nouvelle substance isolante. Cet isolant (la diélectrine) joint à la propriété de se laisser très bien travailler au tour et à la lime, celle d'isoler parfaitement bien. La diélectrine se travaille beaucoup mieux, tout de suite après avoir été obtenue. Avec le temps elle devient plus cassante, mais sa propriété de corps isolant augmente de même.

Aussi je l'ai utilisée à la construction des appareils électriques suivants: électroscopes, électrophores, commutateurs, isoloirs [3]) etc.

L'électroscope, que j'ai présenté en 1894 à la Société française de Physique, se caractérise par son isolement parfait du à la *diélectrine* et par l'emploi, pour la première fois, d'une cage métallique. De cette manière le corps électrisé se trouve à l'intérieur d'une surface métallique fermée, et d'après le théorème de l'écran de Faraday, la distribution électrique de l'électroscope est indépendante de toute modification extérieure.

Pour que l'on puisse voir l'écartement des feuilles de l'électroscope, on a aménagé deux fenêtres circulaires en face l'une de l'autre et bouchées par du verre conducteur et de couleur rouge; ceci pour supprimer l'action de decharge des rayons violets et ultraviolets.

Cette cage métallique a encore l'avantage d'augmenter la condensation électrique.

1) Branly. Cours d'électricité.

2) Boudréaux. Société Française de Physique. Réunions des Mardi 4 et Mercredi 5 Avril 1893.

3) V. Chabaud. Exposition annuelle de la Société française de Physique, 27 et 28 Mai 1893. Paris.

Avec ces électroscopes on peut prouver que la déperdition électrique due aux supports isolants est très faible; dans l'obscurité un tel électroscope garde sa charge plus d'un mois.

Sous l'influence des radiations radioactives l'électroscope se décharge plus ou moins vite suivant la radiation et aussi suivant la nature du métal. Toutes choses égales d'ailleurs, l'électroscope à feuilles d'aluminium se décharge moins vite que celui à feuilles d'or.

C'est avec un pareil instrument que nous avons découvert les premiers, M. Benoist et moi [1]) l'action de décharge des rayons X sur les corps électrisés.

En effet, cet électroscope étant parfaitement isolé et à l'intérieur d'un écran métallique complet, la moindre variation dans l'angle d'écart des feuilles métalliques indiquait la présence d'un agent nouveau de nature non électrostatique.

Pour faire pénetrer les rayons X sur l'électroscope même, à travers la cage métallique, on a pratiqué dans une des parois (en métal épais et opaque pour les radiations X) une ouverture qu'on bouchait par une feuille mince d'aluminium battu, ou par plusieurs de ces feuilles, en faisant ainsi varier l'épaisseur à volonté.

Les qualités essentielles de cet appareil, la précision et la commodité ont justifié le grand emploi que beaucoup de physiciens en ont fait. [2])

Il peut servir dans les cours pour montrer l'existence des rayons X, il a servi aussi dans les recherches non seulement sur les rayons X mais encore sur les radiations des substances radioactives. [3])

Si les déterminations plus précises de certains chapitres de ces phénomènes ont exigé des méthodes expérimentales plus parfaites, dans les mesures qualitatives l'usage de cet appareil peut nous conduire encore à des resultats importants et guider nos premières connaissances.

Dans les expériences de démonstrations et de cours et même dans l'étude des transformations des rayons X, on a un grand avantage à utiliser l'électroscope. [4])

1) M.M. L. Benoist et Dr. Hurmuzescu. Nouvelles propriétés des rayons X. Comptes Rendus des Séances de l'Academie des Sciences. Paris 3. Fevrier 1896.

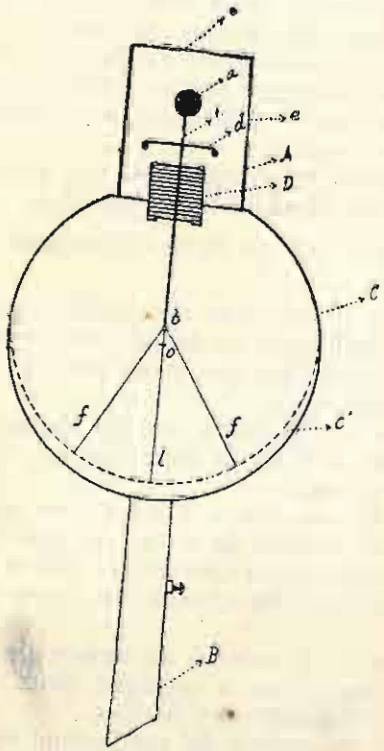
2). M. J. Chappuis. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences t. CXXII p. 777, 840.

3) M. H. Becquerel. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences. t. CXXII, p. 559, 689, 765. M. et M-me P. Curie. Exposition de la Société Française de Physique. avril 1899.

4) Dr. Hurmuzescu. Sur la transformation des Rayons X. Archives des Sciences Physiques et Naturelles. t. VII. Genève 1899.

La sensibilité de cet appareil augmente si on emploie trois feuilles métalliques. [1])

Dans le dernier modèle de cet appareil, dont un spécimen a été présenté par M. Chabaud [2]) à l'exposition de Paris de 1900, j'ai introduit les modifications suivantes, qui lui donnent une grande sensibilité. J'y ai combiné un système de deux feuilles mobiles, une de chaque côté d'une lame fixe, de beaucoup plus large, avec une nouvelle forme de cage métallique. Par la position des feuilles de l'électroscope dans la cage, la condensation, qui se fait en plus grande partie sur la lame fixe, devient plus grande et plus régulière.



Le nouvel appareil se compose: (voir figure) d'une tige métallique *l*, sur laquelle se trouve vissé un disque métallique

1) L. Benoist. Comptes Rendus de l'Academie des Sciences, tome CXXIII, 1896.

2) V. Chabaud. Constructeur d'appareils, 58 rue Mouffetard Paris.

à bords arrondis *d*, destiné à protéger la diélectrine *D*; elle se termine à la partie supérieure par une sphère *a*.

A l'extremité inférieure *b* de cette tige sont fixées les feuilles *f*, *f* d'aluminium battu, une de chaque côté de la lame fixe *l*, toujours en aluminium.

Tout ce système conducteur se trouve fixé et supporté par un plot en diélectrine *D*, emprisonné à son tour au milieu de la cage métallique qui protège les feuilles mobiles.

La cage *C* fait partie d'un cylindre horizontale, circulaire dont la circonférence de section droite a pour centre le point *o*.

Par construction on règle de manière que le point *b*, le sommet de l'angle de divergence de feuilles mobiles *f f*, soit sur le diamètre vertical de la circonférence *o c* de la cage.

Les extremités des feuilles par leur divergence décrivent du point *b* une circonférence de rayon *b c'*; soit $b\,c' = o\,c$, c.-a-d. la longueur commune des feuilles mobiles, égale au rayon de la cage *c* et soit encore *a* la distance de *b* au dessus de *o*, ou l'excentricité des feuilles.

Le maximum de divergence des feuilles mobiles sera donné par la ligne d'intersection des deux circonférences, *o c* et *b c'*, c'est-a-dire par la ligne horizontale distante de $\frac{a}{2}$ au dessous de *b*.

En prenant la longueur des feuilles égale à $oc - a$, l'angle de divergence peut varier au dela de 180°, le contact des feuilles avec la cage n'aura lieu que pour 360°, le point de tangence des deux circonférences.

Les forces qui agissent sur les feuilles mobiles sont: les forces repulsives 2 F de la lame fixe et les attractions 2 F' des parois de la cage.

La force F' s'ajoute à F pour une excentricité positive, lorsque *b* est au dessus de *o*, passe par un maximum pour une certaine valeur de *a* déterminée par la condensation, devient zèro pour *a* nul et change de signe pour une excentricité négative.

Il faut regler le point *b* au dessus du point *o*.

Dans la cage *C* on a pratiqué deux fenêtres en regard pour voir la divergence des feuilles.

La partie supérieure du conducteur se trouve abritée par un couvercle *A* en métal, qu'on enlève pour électriser l'électroscope.

Tout l'appareil se trouve fixé sur un pied en métal *B*.

Pour des expériences sur les rayons X, on remplace sur une portion *e* le métal du couvercle par une feuille d'aluminium et par précaution on abrite tout l'appareil par une feuille de plomb de 3 m. m. d'épaisseur, laissant un trou circulaire devant la fenêtre *e*.

Avec un tel appareil dont les dimensions sont les suivantes: 6 centimètres de profondeur, 10 centimètres étant le diamètre de la circonférence *o c*, 5 c. m. la longueur des feuilles d'aluminium et 3 m. m. d'excentricité positive, j'ai obtenu des déviations proportionnelles aux potentiels et pour un potentiel de 110 volts un angle $\alpha = 20°$.

Laboratoire de Physique de l'Université de Jassy.