Sur l'emploi des condensateurs à anneau de garde et des électromètres absolus

Pierre Curie

► To cite this version:

Pierre Curie. Sur l'emploi des condensateurs à anneau de garde et des électromètres absolus. J. Phys. Theor. Appl., 1893, 2 (1), pp.265-271. 10.1051/jphystap:018930020026501 . jpa-00239723

HAL Id: jpa-00239723

<https://hal.science/jpa-00239723>

Submitted on 1 Jan 1893

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**SUR L'EMPLOI DES CONDENSATEURS A ANNEAU DE GARDE
ET DES ÉLECTROMÈTRES ABSOLUS;**

PAR M. P. CURIE.

Condensateur à anneau de garde. — Nous nous sommes servis mon frère et moi, dans diverses recherches, d'un condensateur à anneau de garde, dans lequel on employait comme plateaux deux plaques de verre argentées.

Les plateaux PP, P'P' (*fig. 1*) étaient séparés par trois cales de

Fig. 1.

quartz *g*. L'argenture de la face intérieure de l'un des plateaux était divisée en une portion centrale (2) et un anneau de garde (3) à l'aide d'un trait circulaire de quelques dixièmes de millimètre de large *ss* tracé dans l'argenture. Ce trait constituait le sillon de l'anneau de garde. L'avantage de cet appareil est de réaliser d'une façon à peu près parfaite et sans qu'il soit nécessaire de faire aucune correction le condensateur théorique (¹).

(¹) L'axe optique des cales de quartz est horizontal, c'est-à-dire parallèle aux plateaux. Dans la direction normale à l'axe, la conductibilité du quartz est en effet extrêmement faible, tandis que le quartz conduit presque aussi bien que le verre dans la direction de l'axe (J. CURIE, *Annales de Chimie et de Physique*, 1889).

Nous employons cet appareil depuis 1883 (voir J. CURIE, *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 1886 et journal *La lumière électrique*, 1888). M. Abraham s'est servi récemment de cet instrument et a donné une méthode très précise pour mesurer la distance des plateaux (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, 1892. Thèse à la Faculté des Sciences).

Nous avons d'abord employé cet instrument dans des recherches d'électricité statique, en portant P (*fig. 1*) à un certain potentiel V avec une pile, l'anneau de garde étant à terre, et en mesurant la quantité d'électricité nécessaire pour maintenir la portion centrale de P' au potentiel zéro. Mais, dans ces conditions, l'appareil est mal isolé. Le sillon s, qui sépare l'anneau de garde de la portion centrale du plateau P', devient conducteur sous l'influence de l'humidité de l'air et cette conductibilité est généralement accompagnée d'une petite force électromotrice; enfin la conductibilité du verre lui-même n'est pas négligeable (¹).

Pour éviter ces inconvénients, nous avons employé le condensateur (*fig. 2*) en chargeant au potentiel V la portion centrale du plateau P', l'anneau de garde étant toujours à terre, et en mesu-

Fig. 2.

rant l'électricité qu'il fallait fournir au plateau P pour qu'il reste au potentiel zéro.

En vertu d'un théorème connu d'électricité statique, les quantités d'électricité mesurées sont les mêmes dans les deux modes opératoires, bien que dans le second la distribution des lignes de force soit très compliquée (nous avons représenté d'une manière schématique sur les *fig. 1* et *2* la disposition des lignes de force).

En opérant par la seconde méthode, c'est le plateau P, très bien

(¹) Les armatures du condensateur communiquant d'abord avec la terre, on isole la portion centrale de P'; on constate avec un électromètre de faible capacité qu'il n'y a pas tout d'abord de force électromotrice; mais celle-ci prend naissance lentement. On peut admettre que les deux portions d'argenture du plateau P', reliées par l'humidité à la surface du sillon de l'anneau de garde, forment un couple. Ce couple, complètement polarisé quand tout est relié à la terre, se dépolarise lentement quand une des parties argentées est isolée.

Ces causes de trouble, qui peuvent avoir une influence appréciable dans des expériences d'électricité statique, ne peuvent évidemment produire aucun effet dans des expériences avec un galvanomètre. M. Abraham a, du reste, vérifié par expérience qu'il en était bien ainsi.

isolé par les cales de quartz parallèle, qui est en relation avec les appareils de mesure et l'instrument fonctionne parfaitement.

Électromètre absolu à anneau de garde. — Je me suis demandé si le même artifice pouvait être employé avec l'électromètre absolu à anneau de garde, c'est-à-dire si l'on pouvait indifféremment l'employer par la méthode ordinaire ou bien charger la portion centrale du plateau P' (*fig. 2*), laisser l'anneau de garde et le plateau P en relation avec la terre et mesurer l'attraction du plateau P.

La pression électrostatique étant proportionnelle au carré de la densité électrique, il semble, au premier abord que les forces d'attraction doivent être assez différentes dans les deux cas. On parvient cependant à se rendre compte qu'elles ne diffèrent que d'une quantité extrêmement petite lorsque le rapport du diamètre de la portion centrale du plateau P' à la distance des plateaux est suffisamment grand. De plus le terme de correction très petit qui pourrait être nécessaire peut être évalué d'une façon rigoureuse dans une étude préalable. Il suffit, pour cela, de faire trois mesures : la première avec la portion centrale seule du plateau P' au potentiel V, l'anneau de garde et le plateau P étant à terre ; la deuxième avec tout le plateau P' au potentiel V ; la troisième avec l'anneau de garde au potentiel V, la portion centrale de P' et le plateau P étant à terre.

Désignons par F_1 , F_2 , f les forces d'attraction obtenues respectivement dans ces trois expériences. Désignons par C la capacité réciproque (ou coefficient d'induction) entre le plateau P et la portion centrale du plateau P' ; par c la capacité réciproque du plateau P et de l'anneau de garde de P' ; par γ la capacité réciproque entre la portion centrale et l'anneau de garde du plateau P'. Désignons par e la distance des plateaux. On a, en supposant que l'on écarte de de les plateaux et en appliquant le principe de la conservation de l'énergie,

$$F_1 = -\frac{1}{2} V^2 \frac{dC}{de} - \frac{1}{2} V^2 \frac{d\gamma}{de},$$

$$F_2 = -\frac{1}{2} V^2 \frac{dC}{de} - \frac{1}{2} V^2 \frac{dc}{de},$$

$$f = -\frac{1}{2} V^2 \frac{dc}{de} - \frac{1}{2} V^2 \frac{d\gamma}{de},$$

d'où

$$F_1 + F_2 - f = 2 \left(-\frac{1}{2} V^2 \frac{dC}{de} \right).$$

Désignons par φ la force que donnerait l'attraction de la portion centrale du plateau P' si l'électromètre était employé par la méthode habituelle pour le même potentiel électrique

$$F_1 + F_2 - f = 2 \varphi,$$

ce qui permet de calculer φ .

Soit

$$\varepsilon = \frac{\varphi - F_1}{F_1},$$

on aura

$$\varphi = F_1(1 + \varepsilon)$$

et ε sera un coefficient de correction toujours très petit qui sera le même, quel que soit le potentiel, pour une même distance des plateaux et qui pourra être déterminé d'avance.

Le calcul qui précède rend légitime le nouveau mode opératoire, qui, au point de vue pratique, semble plus avantageux que l'ancien. On pourrait en effet employer les plateaux en verre argentés comme pour les condensateurs, puisque les deux portions conductrices du plateau P' sont solidaires. Le desideratum de la théorie serait obtenu d'une manière plus parfaite, le sillon qui sépare ces deux portions argentées étant très étroit et ces deux portions étant très exactement dans le même plan.

Je pense que, si l'on réalisait cet instrument, la meilleure disposition pour mesurer la force d'attraction serait de suspendre le plateau continu PP à l'extrémité d'une balance ⁽¹⁾, le plateau PP' étant fixe. Il faudrait employer une balance permettant d'apprécier un déplacement très petit du plateau. Les balances avec micromètre mobile et microscope fixe conviendraient pour cet usage ⁽²⁾.

Enfin, la sensibilité étant fortement augmentée par la présence du champ électrique, il faudrait, pour que l'équilibre fût stable, baisser le centre de gravité du fléau d'une quantité qui dépendrait

(1) M. Baille a déjà fait usage de la balance dans des mesures faites avec l'électromètre à anneau de garde (*Journal de Physique*, 2^e série, t. I, p. 169; 1882).

(2) P. CURIE, *Journal de Physique*, 2^e série, t. IX, p. 138; 1890.

de l'intensité du champ. Une masse mobile le long de l'aiguille de la balance serait fort utile pour obtenir ce résultat.

Ces diverses dispositions rendraient moins pénible l'emploi de l'électromètre absolu et les mesures faites avec une balance et un équilibre stables seraient beaucoup plus précises que celles faites avec un ressort.

Voici le résultat d'un calcul numérique qui montre que les conditions requises pour un bon fonctionnement peuvent être réalisées pratiquement.

Soit un électromètre de 1dm^2 de surface de plateau, et supposons un champ de 200 volts par millimètre et une distance de 5mm entre les plateaux.

La balance employée aurait 10cm de longueur de bras et le micromètre serait à 20cm du couteau central; on pourrait apprécier au microscope $\frac{1}{800}$ de millimètre. Le fléau aurait une masse de 300gr (en y comprenant une masse de 100gr mobile le long de l'aiguille).

On remarque d'abord que dans ces conditions la balance est folle tant que le centre de gravité du fléau n'est pas plus bas que $2\text{mm},4$ au-dessous de l'arête du couteau central.

L'attraction électrique étant de 177 dynes, supposons que l'on veuille apprécier le $\frac{1}{10}$ de milligramme, il faudra pour cela baisser le centre de gravité du fléau jusqu'à $5\text{mm},7$.

Électromètre sphérique. — Le même principe peut servir à transformer tous les instruments employés en électricité statique. Ce principe consiste essentiellement à séparer au point de vue du potentiel électrique et à rendre solidaires au point de vue mécanique certains conducteurs qui, dans le fonctionnement normal, étaient solidaires au point de vue du potentiel électrique et indépendants au point de vue mécanique et réciproquement.

L'électromètre sphérique de M. Lippmann est particulièrement intéressant à considérer avec ce nouveau mode de fonctionnement. Avec la nouvelle disposition, la sphère conductrice intérieure (*fig. 3*) serait simplement suspendue sous le plateau d'une balance par le fil métallique *ad*. La sphère extérieure fixe serait formée de deux hémisphères métalliques matériellement solidaires et réunis par une substance isolante tout le long d'un grand cercle *bb*. On porterait l'hémisphère inférieur au potentiel *V*, l'hémisphère supérieur étant mis à la terre, ainsi que toute la sphère intérieure et l'on mesurerait, par une pesée, la force résultante des actions électriques sur la sphère intérieure. Les lignes de forces (grossièrement représentées *fig. 3*) seraient réparties

d'une façon fort complexe; cependant la force d'attraction verticale F est donnée par une formule simple d'une façon rigoureuse. Désignons par de un déplacement infiniment petit de la sphère intérieure suivant la verticale.

Soit C la capacité réciproque entre la moitié de la sphère extérieure et la sphère intérieure. Soit c la capacité réciproque des deux moitiés de la sphère extérieure.

On a

$$F = -\frac{1}{2} V^2 \frac{dC}{de} - \frac{1}{2} V^2 \frac{dc}{de}.$$

Fig. 3.

Mais, lorsque les deux sphères sont concentriques, c , par raison de symétrie, passe par un minimum: donc $\frac{dc}{de} = 0$ pour les deux sphères concentriques et il reste

$$F = -\frac{1}{2} V^2 \frac{dC}{de}.$$

Pour avoir $\frac{dC}{de}$ il faut faire usage des images électriques en suivant la méthode de Murphy. On cherche la capacité $C + dC$ d'un hémisphère lorsque les deux centres des deux sphères sont à une distance de infiniment petite (la direction e étant normale au plan de séparation des deux hémisphères). C est la capacité de la moitié d'un hémisphère du condensateur sphérique lorsque les sphères

sont concentriques; on a donc par différence dC , ce qui permet de calculer F . On trouve ainsi, lorsque, comme dans le cas considéré plus haut, c'est une des moitiés de la sphère extérieure qui est portée au potentiel V ,

$$(1) \quad F = \frac{3}{8} V^2 \frac{r}{R-r} \frac{R^3}{R^3-r^3},$$

R étant le rayon de la sphère extérieure,
 r celui de la sphère intérieure.

Dans le cas où la sphère intérieure serait divisée au point de vue électrique en deux hémisphères portés aux potentiels zéro et V et où la sphère extérieure serait au potentiel zéro, on aurait

$$(2) \quad F = \frac{3}{8} V^2 \frac{R}{R-r} \frac{r^3}{R^3-r^3};$$

ces deux formules diffèrent de celle de l'électromètre sphérique employé sous sa forme normale. On a, en effet, dans ce cas

$$(3) \quad F = \frac{V^2}{8} \frac{R^3}{(R-r)^2}.$$

Les formules (1) et (2) montrent que, lorsque l'on augmente le rayon R , le rayon r restant constant, la force diminue plus vite avec le nouveau mode de fonctionnement qu'avec l'ancien. Avec l'ancien mode, la force tend vers $\frac{1}{8} V^2$ lorsque R tend vers l'infini, tandis qu'elle tend vers zéro avec la nouvelle méthode. Ceci pouvait se prévoir *a priori*.

Au contraire, si $(R-r)$ est petit par rapport à r , les formules (1), (2), (3) donnent sensiblement les mêmes résultats.

L'électromètre sphérique présente, à certains points de vue, des avantages très sérieux. Cet électromètre absolu serait peut-être le meilleur, si l'on parvenait à surmonter les grosses difficultés que l'on rencontre dans sa construction. L'usage de cet instrument sera plus pratique en employant le nouveau mode opératoire que nous venons d'indiquer. Signalons en particulier que l'on pourra vérifier la coïncidence des centres des deux sphères en utilisant les phénomènes électriques, en constatant par exemple que la force agissant sur la sphère intérieure est nulle lorsque, cette sphère restant en relation avec la terre, on porte toute la sphère extérieure à un certain potentiel.