HAL
open science

L'électromètre à quadrants

M. Moulin

To cite this version:

M. Moulin. L'électromètre à quadrants. Radium (Paris), 1907, 4 (5), pp.188-194. 10.1051/radium:0190700405018801 . jpa-00242241

HAL Id: jpa-00242241
https://hal.science/jpa-00242241

Submitted on 4 Feb 2008

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.

L'électromètre à quadrants[2]

Par M. MOULIN

[Laboratoire de physique générale de l'École de Physique et de Chimie de Paris.]

Mesure des quantités.

Dans ce qui suit, nous supposerons toujours que l'électromètre est employé suivant la méthode de la charge de l'aiguille, les mêmes conclusions s'appliqueraient pour la méthode symétrique.

L'aiguille est chargée à un potentiel V par rapport à l'une des paires de quadrants (2), qui est reliée à la cage. La paire de quadrants 1 qui recevra les charges est reliée à un cylindre de Faraday, ou à un condensateur A (non représenté sur la figure) (fig. 6), par un fil protégé contre les perturbations extérieures au moyen d'un écran métallique relié à la cage.

Supposons que le conducteur isolé 1 soit primitivement au même potentiel que la paire de quadrants 2 et que les écrans, sa charge est $c_{31}V$, induite par

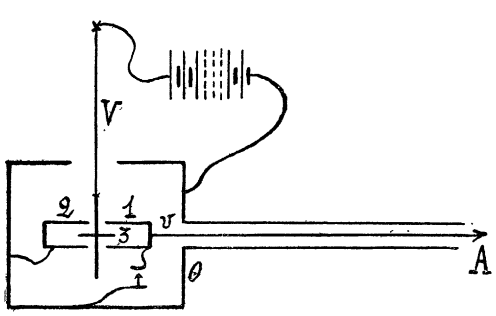

Fig. 6.

l'aiguille. Quand une charge q se répand sur le conducteur, son potentiel devient v et, l'aiguille déviant, c_{31} varie de $\int \frac{dc_{31}}{d\alpha} d\alpha$. On aura donc, en appelant C la capacité du conducteur isolé 1 :

$$q = Cv + V \int \frac{dc_{31}}{d\alpha} d\alpha,$$

1. M. Coulier, *Journal de pharmacie et de chimie*, t. XXII 1875, p. 165 à 173 et p, 254.

2. Voir *Le Radium*, avril 1907, p. 145. Des fautes d'impression se sont glissées dans la première partie de ce travail : page 147, colonne gauche, 14e ligne, au lieu de $(c_1 - c_2)V^2$. lire : $(c_1 - c_2)Vv$; page 150, colonne gauche, dernière formule, au lieu de :

$$2\alpha = -\frac{BUVv}{\gamma + cV^2 + \left(c' + \frac{c}{4}\right)V^2},$$

lire :

$$2\alpha = -\frac{BVv}{\gamma + cV^2 + \left(c' + \frac{c}{4}\right)v^2}.$$

page 152, sous le tableau, col. gauche au lieu de :

$$V = V_3 = V_a - 2, \qquad \text{lire} \qquad V = V_3 = V_a - \frac{v}{2}.$$

Article published online by EDP Sciences and available at http://dx.doi.org/10.1051/radium:0190700405018801

en négligeant la variation de C due à la déviation de l'aiguille[1].

Or, nous avions $-\frac{dc_{31}}{d\alpha} = b_1 + 2c_1\alpha$, et $2c_1\alpha$ étant en général petit devant b_1, comme nous le verrons, on peut négliger le deuxième terme et l'on aura :

$$q = Cv - b_1\alpha V \qquad (4)$$

or,

$$\alpha = -\frac{b_1 V}{\gamma + cV^2} v = kv$$

il s'en suit que

$$q = \left(C + \frac{b_1^2 V^2}{\gamma + cV^2}\right) v = (C + kb_1 V)\, v. \quad (5)$$

La capacité du système isolé, augmente avec V.[2] C'est cette capacité que l'on mesure.

Nous pouvons chercher la relation entre α et q. Remplaçant v par sa valeur tirée de (4) dans l'expression de α, il vient :

$$\alpha\left(\gamma + cV^2 + \frac{b_1^2 V^2}{C}\right) = -\frac{b_1 V}{C} q.$$

Le couple directeur est augmenté de $\frac{b_1^2 V^2}{C}$,[3] couple directeur électrique qui agit dans le même sens que γ, puisque C est positif. Si l'électromètre est à l'amortissement critique quand les quadrants sont en court-circuit, il ne l'est plus en circuit ouvert.

Il est facile de voir que, lorsqu'on fait varier V, la sensibilité *passe par un maximum* pour :

$$\gamma = cV^2 + \frac{b_1^2 V^2}{C},$$

quand le couple directeur mécanique est égal au couple directeur électrique total.

Si le couple cV^2 est petit devant $\frac{b_1^2 V^2}{C}$, on a alors

$$\gamma = \frac{b_1^2 V^2}{C}$$

$$C = \frac{b_1^2 V^2}{\gamma}.$$

La capacité fixe est égale à la capacité variable. Dans ce cas, lorsqu'on est au maximum de sensibilité, la sensibilité est donnée par une relation simple qui ne fait intervenir que γ et C. On a, en effet :

$$\frac{2\alpha}{q} = \frac{\varepsilon}{q} = -\frac{b_1 V}{C\gamma} = -\frac{\sqrt{C\gamma}}{C\gamma} = -\frac{1}{\sqrt{C\gamma}}.$$

La sensibilité est alors indépendante des dimensions de l'aiguille et des quadrants et du potentiel de charge qui donne ce maximum ; il suffit simplement qu'il ne soit pas trop petit si l'on veut que la proportionnalité soit conservée.

Voyons ce que l'on pourra atteindre comme sensibilité. Supposons $\gamma = 10^{-2}$ et $C = 25$, ce qui est petit, et même une limite inférieure, on aura :

$$\frac{2\alpha}{q} = \frac{\varepsilon}{q} = \frac{1}{\sqrt{0{,}25}} = 2$$

soit 2 mètres à un mètre par unité électrostatique, ou 0,0005 unité statique par millimètre à un mètre. Avec 100 unités de capacité, la sensibilité ne serait que deux fois plus petite.

Dans le cas où le couple d'Hopkinson n'est pas négligeable, on trouve :

$$\frac{\varepsilon}{q} = -\frac{\sqrt{C(\gamma - cV^2)}}{C\gamma}$$

Si ce couple est négatif, la sensibilité maxima sera un peu plus grande que $\frac{1}{\sqrt{C\gamma}}$, mais il faudra pouvoir atteindre le maximum pour un potentiel inférieur, au potentiel qui conduirait à une instabilité de l'aiguille. S'il est positif il vaut mieux pouvoir atteindre le maximum de sensibilité pour un potentiel V assez faible.

Les dissymétries que nous avons rencontrées dans la mesure des potentiels se retrouveront dans la mesure des quantités. Il est donc utile, si l'on veut faire des mesures précises, de faire un étalonnage préalable de l'appareil pour différentes déviations[1]. Si l'on fait cet étalonnage, il n'est plus nécessaire de charger l'aiguille à des potentiels très grands par rapport à v et, on pourra, en choisissant convenablement les dimensions des quadrants et de l'aiguille, s'arranger pour atteindre le maximum de sensibilité avec des potentiels de charge acceptables (50 à 100 volts), pour des capacités comprises entre les limites habituelles (50 à 200 unités environ) sans que l'on ait besoin de changer b_1 c'est-à-dire l'aiguille.

Mesures des courants.

Un cas intéressant dans la mesure des charges est celui où l'on se propose de mesurer des charges qui arrivent sur le conducteur isolé proportionnellement au temps, c'est-à-dire un courant[2]

$$i = \frac{q}{t}.$$

Il suffira de mesurer le temps que met l'image pour passer d'une division n_1 à une division n_2 de l'échelle,

1. On peut voir que cela revient à négliger v devant V, ce que nous avons déjà fait.
2. Hopkinson. *Phil. Mag.*, 1885-1 (n° 19), p. 293.
3. P. Langevin. *Annales de Chimie et Physique*, 1903-1, p. 470.

1. Voir plus loin, note 1, page 192.
2. On trouvera de nombreux exemples de ce genre de mesures dans les travaux qui ont été faits sur les gaz ionisés et sur la radioactivité.

quand sa vitesse sera constante. Je reviendrai tout à l'heure sur ce point.

A côté de cette méthode, il existe des méthodes de zéro qui ont l'avantage de ne pas exiger d'étalonnage préalable de l'échelle. Dans ces méthodes, on compense à chaque instant la charge qui arrive par une charge égale et de signe contraire qu'on libère progressivement. La plus connue est celle du quartz piézo-électrique, sur laquelle je crois inutile d'insister ici[1]. J'en indiquerai seulement deux autres qui sont assez peu employées.

Supposons que l'une des armatures B d'un condensateur soit reliée au conducteur isolé (fig. 7), (c'est-à-dire soit reliée d'une part à l'électromètre E et

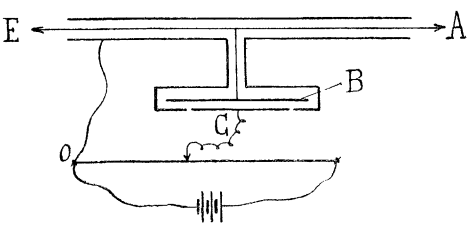

Fig. 7.

d'autre part à l'appareil A qui reçoit les charges). Soit C le coefficient d'influence de l'autre armature (C) sur l'armature B et soit V le potentiel de C. La charge induite sur le conducteur isolé est

$$q = CV.$$

Nous pouvons faire varier cette charge en faisant varier V ou en faisant varier C d'une façon continue.

Si au moment où l'on isole la paire de quadrants 1, le potentiel de A est V_0 et si, au bout d'un temps t, on l'a amené à la valeur V_1 en maintenant l'électromètre au zéro, le courant sera donné par la relation.

$$i = \frac{q}{t} = -\frac{C(V_1 - V_0)}{t}$$

avec le signe —, puisque la charge que l'on induit pour compenser est de signe contraire à la charge amenée par le courant. (C est négatif.)

Si, au contraire, pour un potentiel constant V, nous avons fait varier C de C_0 à C_1 pendant le temps t, nous aurons :

$$i = \frac{q}{t} = -\frac{(C_1 - C_0)\,V}{t}$$

Dans ces méthodes, comme dans celle du quartz, la sensibilité dépend de la sensibilité aux charges; elle passe par un maximum quand on fait varier le potentiel de l'aiguille.

Pour faire varier le potentiel V, il est nécessaire de disposer d'un potentiomètre à variation continue. La variation continue d'un coefficient d'influence est facile à réaliser; on pourra employer un dispositif analogue à celui de l'électromètre à quadrants dont B serait l'aiguille et C l'une des paires de quadrants; par rotation, on fera varier le coefficient d'influence, sans que la capacité du système isolé varie d'une quantité appréciable. Il y a, en effet, intérêt à ne pas faire varier par trop cette capacité : dans toutes ces méthodes de zéro, il est difficile, en général, de faire partir le chronomètre au moment précis où l'on isole le conducteur qui reçoit les charges si l'on veut conserver une main de libre pour faire agir immédiatement le compensateur; de plus, dans le cas du quartz, on n'est prévenu du moment où le poids quitte le plateau que par le départ de l'image. On fait donc partir le chronomètre quand, après isolement, l'image passe sur une division n voisine du zéro, puis, à l'aide de la compensation, on la ramène et la maintient au zéro. A la fin de la mesure, quand le compensateur a cessé d'agir, on arrête le chronomètre quand l'image repasse sur la même division n et, pour que la vitesse de l'image soit la même qu'au début, il faut nécessairement que la capacité n'ait pas varié.

On a aussi employé, dans certains cas, une autre méthode qui consiste à introduire sur le conducteur isolé une fuite proportionnelle à son potentiel à l'aide d'une grande résistance ou d'un gaz ionisé par une substance radioactive qui, pour les faibles différences de potentiel, laisse passer un courant proportionnel à la différence de potentiel[1]. L'électromètre prend alors une déviation permanente proportionnelle au courant et indique un potentiel v tel que

$$i = \frac{v}{r}$$

La sensibilité dépend de la sensibilité de l'électromètre aux potentiels; la capacité intervient pour diminuer la vitesse de mise en équilibre. Cette méthode n'est intéressante que pour des courants assez intenses pour lesquels les autres méthodes ne seraient applicables qu'en augmentant assez la capacité pour ramener la vitesse de déviation à une valeur qui rende les mesures possibles.

La méthode qui consiste à mesurer la vitesse de déviation a été très employée pour les mesures sur les gaz ionisés. Elle exige quelque précaution, car, par suite de l'inertie de l'aiguille et de son amortissement, la déviation ne prend son régime qu'au bout d'un temps qui n'est pas négligeable.

Nous avons vu que, dans le cas où l'électromètre est employé en circuit ouvert, la déviation permanente produite par une charge q est donnée par la relation

$$\alpha\left(\gamma + cV^2 + \frac{b_1^2 V^2}{C}\right) = -\frac{b_1 V}{C}\,q$$

ou

$$\alpha\Gamma = Kq \qquad (5)$$

1. Voir *Le Radium*, 1904, p. 185 : C. Chéneveau, *Méthode et appareils de mesure de la radioactivité*. (Au lieu de libérer la charge en posant le poids sur le plateau, on trouve plus commode d'opérer en enlevant ce poids.)

1. Voir *Le Radium*, 1906, p. 72, Bronson : *Influence des températures élevées sur la loi de décroissance.*

Γ étant le couple directeur total.

L'aiguille n'atteindra cette position d'équilibre qu'au bout d'un temps théoriquement infini, et la variation de α en fonction du temps sera régie par l'équation différentielle.

$$I\frac{\partial^2\alpha}{\partial t^2}+a\frac{\partial\alpha}{\partial t}+\Gamma\alpha=Kq \qquad (6)$$

(I étant le moment d'inertie de l'aiguille et a le coefficient d'amortissement.)

Si la charge arrive proportionnellement au temps, et si i est la charge qui arrive par seconde nous aurons, au lieu de l'équation 6 à second membre constant, l'équation

$$I\frac{\partial^2\alpha}{\partial t^2}+a\frac{\partial\alpha}{\partial t}+\Gamma\alpha=Kit \qquad (7)$$

équation dont l'intégrale est, pour le régime oscillant :

$$\alpha=Ae^{-\frac{a}{2I}t}\cos\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi\right)+\frac{K}{\Gamma}i\left(t-\frac{a}{\Gamma}\right)$$

avec
$$\frac{2\pi}{T}=\sqrt{\frac{\Gamma}{I}-\frac{a^2}{4I^2}}$$

A et φ sont des constantes déterminées par la condition que pour $t=0$, $\alpha=0$ et $\frac{\delta\alpha}{\delta t}=0$.

Le régime oscillant est le seul qui nous intéresse, puisque l'électromètre doit être au plus à l'amortissement critique en court-circuit et que le couple directeur est plus grand en circuit ouvert.

Au bout d'un certain temps θ, le premier terme devient négligeable et l'on a :

$$\alpha=\frac{K}{\Gamma}i\left(t-\frac{a}{\Gamma}\right)$$

$$\frac{\partial\alpha}{\partial t}=\frac{K}{\Gamma}i.$$

La vitesse est constante, mais la déviation est en retard de $\frac{a}{\Gamma}$.

On voit donc qu'il faut commencer la mesure non à partir d'une même division de l'échelle, quel que soit le courant, mais au bout du temps θ après l'isolement du conducteur qui reçoit les charges.

Si au bout d'un temps $>\theta$ (que nous déterminerons tout à l'heure), on mesure le temps t qui s'écoule entre le passage de l'image sur les divisions n_1 et n_2 de l'échelle correspondant à des charges q_1 et q_2, on aura (en remplaçant K par sa valeur tirée de 5) :

$$i=\frac{q_2-q_1}{t}$$

Si l'échelle est parcourue en un temps peu supérieur au temps θ, nous pourrons, si la clef qui sert à mettre au sol la paire de quadrants qui reçoit les charges, ne produit pas de perturbation à la rupture, commencer la mesure à partir du zéro, c'est-à-dire au moment où l'on isole cette paire de quadrants, en notant le temps t', plus grand que θ, que met l'image à atteindre la division n_1, correspondant à une charge q_1. On aura alors :

$$i=\frac{q_1}{t-\frac{a}{\Gamma}}$$

Le retard $\frac{a}{\Gamma}$ peut se déterminer d'après les oscillations de l'aiguille pour une charge constante, comme nous le verrons plus loin. Le temps θ peut aussi se déduire de ces oscillations.

Nous allons chercher à quelle fraction près de sa valeur limite la déviation arrive au bout d'un temps θ, dans le cas du courant et dans le cas d'une charge constante. Remplaçant dans les intégrales des équations 6 et 7 les constantes d'amplitude A par leur valeur déterminée par les conditions indiquées plus haut, on trouve :

$$\alpha=\frac{K}{\Gamma}i\frac{T}{2\pi}e^{-\frac{a}{2I}t}\cos\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi\right)+\frac{K}{\Gamma}i\left(t-\frac{a}{\Gamma}\right)\cdots \qquad (7')$$

et

$$\alpha=\frac{K}{\Gamma}q\frac{T}{2\pi}\sqrt{\frac{\Gamma}{I}}e^{-\frac{a}{2I}}\cos\left(\frac{2\pi t}{T}+\varphi'\right)+\frac{K}{\Gamma}q\cdots \qquad (6')$$

Au bout du temps θ, les amplitudes des oscillations seront réduites respectivement à des fractions $\frac{1}{n}$ et $\frac{1}{n'}$ de la valeur limite de la déviation. Autrement dit :

$$\frac{\frac{T}{2\pi}e^{-\frac{a}{2I}\theta}}{\theta-\frac{a}{\Gamma}}=\frac{1}{n}$$

et
$$\frac{T}{2\pi}\sqrt{\frac{\Gamma}{I}}e^{-\frac{a}{2I}\theta}=\frac{1}{n'}.$$

Le rapport de ces deux fractions est

$$\frac{n}{n'}=\left(\theta-\frac{a}{\Gamma}\right)\sqrt{\frac{\Gamma}{I}}$$

Or, la durée d'oscillation du mouvement non amorti serait

$$2\pi\sqrt{\frac{I}{\Gamma}}<T.$$

Par conséquent,

$$\frac{n}{n'}>2\pi\frac{\theta-\frac{a}{\Gamma}}{T}$$

Le temps $\frac{a}{\Gamma}$ est petit, de l'ordre de quelques secondes. Si θ est le temps que met l'aiguille pour arriver à $\frac{1}{100}$ près de sa position d'équilibre, c'est-à-dire pour $n'=100$, θ sera en général plus grand que T, $\theta-\frac{\alpha}{\Gamma}$ sera de même ordre que T. Le régime s'établira

donc plus vite dans le cas du courant que dans le cas d'une charge constante.

Prenons, par exemple, le cas expérimental suivant : Pour $n' = 100$, $\theta = 20$ sec., $\frac{a}{\Gamma} = 2{,}6$ sec., $T = 18$ sec.

$$\frac{n}{n'} > 2\pi \frac{17{,}4}{18}$$

$$\frac{n}{n'} > 6, \text{ sensiblement.}$$

D'où : $n > 600$

On pourrait donc prendre un temps plus petit, et chercher quelle valeur il faut donner à θ pour avoir $n > 100$ par exemple.

Détermination des constantes d'un électromètre à quadrants.

Les constantes intéressantes à connaître sont : b_1, γ, la capacité fixe de l'électromètre, les couples directeurs électriques (dont nous avons déterminé le rapport à γ) et $\frac{a}{\Gamma}$.

Supposons que l'une des paires de quadrants, 1 par exemple, soit reliée à l'une des armatures B d'un condensateur de coefficient d'influence connu C, comme celui de la figure 7. L'autre paire de quadrants est reliée à la cage et aux écrans qui protègent le conducteur isolé (potentiel zéro) et l'aiguille est à un potentiel V par rapport à la cage. Si l'on fait varier de 0 à V le potentiel de l'autre armature (C) du condensateur, on induit sur le conducteur isolé une charge CV,[1] et on aura, d'après l'équation (5) :

$$CV = (C + kb_1 V)\, v$$

v étant le potentiel que prend le conducteur isolé. Il se produit une déviation ε correspondant au potentiel v :

$$\varepsilon = -2kv$$

k étant la sensibilité qui correspond à la déviation ε; comme k peut varier avec ε, il est bon de le déterminer en cherchant à quel potentiel v' il faut porter la paire de quadrants isolée pour avoir une déviation ε' voisine de ε et l'on aura pour la capacité totale :

$$\frac{CV}{\varepsilon}\frac{\varepsilon'}{v'} = C + \frac{\varepsilon'}{2v'} V b_1$$

Si l'on porte en abcisses $\frac{\varepsilon'}{2v'}$ V et en ordonnées les valeurs correspondantes de $\frac{CV}{\varepsilon}\frac{\varepsilon'}{v'}$, c'est-à-dire si on trace la courbe de la capacité totale en fonction de kV, on aura une droite (si le terme $2c\alpha$, que nous avons négligé devant b, était réellement négligeable), dont l'ordonnée à l'origine représente la capacité totale fixe et dont le coefficient angulaire donne le coefficient d'influence par unité d'angle, b_1.

D'autre part, nous pouvons facilement déterminer le rapport $\frac{b_1}{\gamma}$, par exemple en traçant la courbe de la sensibilité au potentiel en fonction du potentiel V, c'est-à-dire la courbe $2k = f(V)$ et en prenant le coefficient angulaire de la tangente à l'origine qui représente précisément $\frac{2b_1}{\gamma + cV^2}$ pour $V = 0$, c'est-à-dire $\frac{2b_1}{\gamma}$.

Si le couple directeur variait avec ε, il serait nécessaire de prendre, pour déterminer la sensibilité au potentiel $\frac{\varepsilon'}{v'}$ qui correspond à un potentiel donné V sur l'aiguille, de tracer la courbe de la sensibilité en fonction de la déviation et d'en prendre l'ordonnée à l'origine. Il sera plus commode d'employer la méthode idiostatique (en compensant les différences de potentiel de contact), pour laquelle les couples directeurs électriques sont négligeables. La courbe de ε en fonction de v^2 sera une droite, en général, et son coefficient angulaire nous donnera précisément le rapport $\frac{b_1}{\gamma}$. D'où γ.[1]

Il est intéressant de connaître la capacité intérieure fixe de l'électromètre qui limite la sensibilité que l'on peut atteindre. Il est facile de déterminer la capacité extérieure C_e en comparant le coefficient d'influence de tous les écrans protecteurs extérieurs sur le conducteur isolé au coefficient d'influence C, en employant, par exemple, la méthode des mélanges. On portera respectivement l'armature du condensateur (initialement au potentiel zéro), et les écrans protecteurs à des potentiels V et V' de signes contraires et tels que l'électromètre ne dévie pas. Le potentiel du conducteur isolé étant alors nul et sa charge restant nulle,

$$CV + C_e V' = 0.$$

D'où C'. On en déduit la capacité extérieure

$$C_e = -(C + C')$$

et la capacité intérieure fixe :

$$C_i = C - C_e.$$

Nous allons maintenant voir comment peut se déterminer le retard $\frac{a}{\Gamma}$. Soit T la durée d'oscillation

1. Ceci est utilisé pour l'étalonnage en quantités. La déviation ε qui en résulte correspond à une charge $-CV$ répandue sur le conducteur isolé (charge du signe de V, C étant négatif).

1. Il faut remarquer que si C est connu en unités électrostatiques, b_1 sera exprimé aussi en unités électrostatiques. Si v est exprimé en volts, on aura γ en *cgs* par la relation

$$\frac{b_1}{\gamma} = \frac{\varepsilon}{v^2} \times 9\,10^4$$

et δ le décrément logarithmique des oscillations en circuit ouvert, la paire de quadrants isolée étant reliée au conducteur de capacité C. On a pour deux élongations successives ε_1 et ε_2 :

$$\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = e^{\frac{a}{2I}1}$$

et $$\delta = \text{Log.}\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{a}{2I}T.$$

d'autre part, $$\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{\Gamma}{I} - \frac{a^2}{4I^2}.$$

Il s'en suit : $$\frac{\Gamma}{I} = \frac{4\pi^2}{T^2} + \frac{\delta^2}{T^2}$$

et, par conséquent :

$$\frac{\Gamma}{a} = \frac{\Gamma}{I}\frac{I}{a} = \frac{4\pi^2 + \delta^2}{T^2}\frac{T}{2\delta}$$

$$\frac{a}{\Gamma} = \frac{2\delta T}{4\pi^2 + \delta^2}.$$

On peut en déduire a si l'on fait cette mesure quand les quadrants et l'aiguille sont au même potentiel ; c'est alors γ qui intervient. Mais cette mesure est impossible si l'amortissement est grand. On pourra alors déterminer la valeur de $\frac{\alpha}{\Gamma_m}$ qui correspond au maximum de sensibilité en circuit ouvert. Nous avons vu, en effet, que, dans ces conditions, le couple directeur électrique est égal au couple directeur mécanique.

Par conséquent,

$$\Gamma_m = 2\gamma$$

$$\frac{a}{\Gamma_m} = \frac{a}{2\gamma}$$

et, comme on connaît γ, il est facile d'en déduire a. Le moment d'inertie de l'aiguille se déduira de la relation

$$I = \frac{aT}{2\delta},$$

Nous prendrons comme exemple l'électromètre Curie et celui des Compteurs (aiguille 5 cent., suspension 40 cent.).

Les courbes de la figure 8 représentent la sensibilité

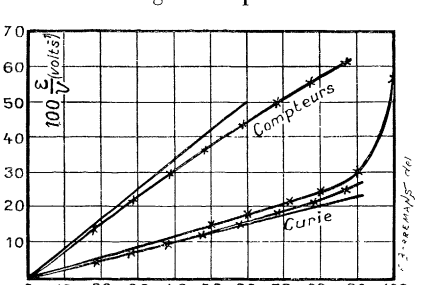

Fig. 8.

au potentiel de ces deux électromètres en fonction de V (cent. par volt à 1 mètre).

Les courbes de la figure 9 représentent la sensibilité à la charge pour des capacités fixes de 56 et

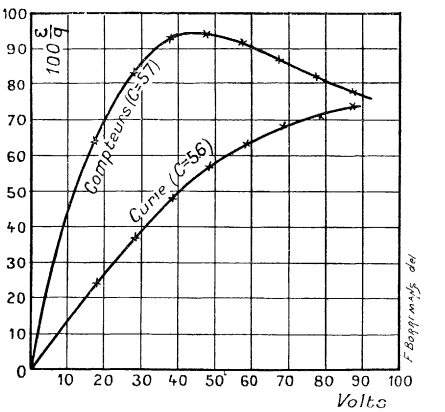

Fig. 9.

57 unités (cent. par unité statique à 1 mètre) en fonction de V (volts).

Les courbes de la figure 10 représentent la variation

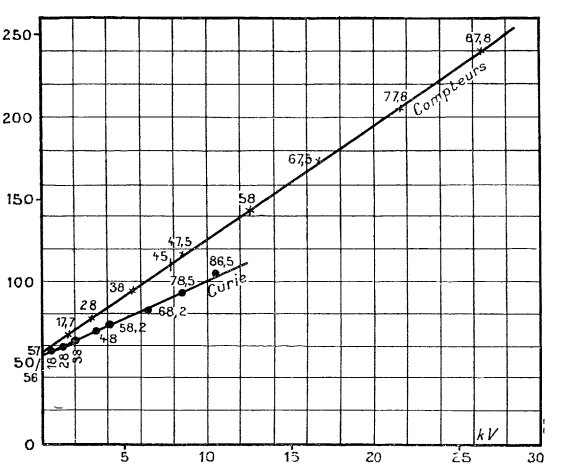

Fig. 10.

de la capacité totale en fonction de kV. Les valeurs de V sont inscrites à côté des points.

On en tire les valeurs suivantes des constantes :

1° Électromètre Curie :

$b_1 = 4,5$ (calculé d'après les dimensions : 4)

$\gamma = 5,5.10^{-2}$

$\frac{b_1}{c}$ est de l'ordre de 40. Pour $\alpha = \frac{1}{8}$ (c'est-à-dire 25 cent. à 1 mètre) on aurait $\frac{b_1}{2c\alpha} = 160$, env.

Capacité fixe intérieure $= 21$.

Le maximum de sensibilité ne pourrait être atteint pour des capacités supérieures à 56 unités qui était la capacité fixe totale du conducteur isolé.

2° Électromètre de la Compagnie des Compteurs :

$b_1 = 6,85$ (calculé d'après les dimensions : 6,6)

$\gamma = 1,88\ 10^{-2}$

$\frac{b_1}{c} = 280$ $\frac{b_1}{2c\alpha}\left(\text{pour } \alpha = \frac{1}{8}\right)$ est de l'ordre de 10^5.

Capacité intérieure fixe $= 31$.

La capacité fixe du conducteur isolé était de 57 unités et la capacité totale de 110 unités au maximum de sensibilité, pas tout à fait le double de la capacité fixe. Ce maximum de sensibilité était obtenu pour 45 volts.

En négligeant le couple directeur, on devrait avoir pour la sensibilité maxima

$$\frac{\varepsilon}{q} = -\frac{1}{\sqrt{C\gamma}} = -0{,}972$$

soit environ 97 centimètres à 1 mètre.

En tenant compte de ce couple directeur $cV^2 = 0{,}06\,10^{-2}$ environ, pour 45 volts et pour la déviation correspondant aux déviations employées dans les mesures, on aurait :

$$\frac{\varepsilon}{q} = -\frac{\sqrt{C(\gamma - cV^2)}}{C\gamma} = 0{,}95$$

soit 95 centimètres à 1 mètre, ce qui correspond sensiblement à la sensibilité trouvée.

Je pense avoir indiqué les particularités importantes du fonctionnement de l'électromètre à quadrants. La connaissance de l'origine des écarts de proportionnalité permettra de corriger les appareils en les modifiant convenablement. Les couples directeurs électriques ne semblent pas pouvoir se prévoir *a priori*; il serait intéressant de chercher comment ils varient avec les dimensions de l'aiguille, des quadrants et des fentes [1]. Le mieux, pour cette étude, serait, je crois, d'employer une sorte de condensateur constitué comme un électromètre dont on mesurerait, par une méthode de zéro, la capacité du conducteur intérieur ayant la forme de l'aiguille.

Lorsqu'on emploie des méthodes de déviation, il est commode d'avoir un appareil aussi proportionnel que possible; cette proportionnalité est inutile pour les méthodes de zéro. Dans la mesure des charges, pour que les couples directeurs qui sont variables aient une faible influence, il faudra, comme nous l'avons vu, pouvoir arriver au maximum de sensibilité pour un potentiel V faible, mais il ne faut pas oublier que V doit rester grand devant v; autrement dit, il faudra une grande sensibilité au potentiel.

Nous avons vu qu'il est possible de déterminer les constantes d'un électromètre à quadrants par des méthodes simples et, qu'en admettant que le volt vaut $\frac{1}{300}$ unité électrostatique, on peut déterminer le couple mécanique γ. Inversement, connaissant γ par des mesures d'oscillations, nous pourrons mesurer en unités électrostatiques une différence de potentiel donnée; autrement dit, l'électromètre à quadrants pourrait être employé comme électromètre absolu. La mesure du coefficient b ne fait intervenir que la connaissance d'un coefficient d'influence étalon C, et on sait réaliser actuellement des condensateurs étalons parfaits. De plus, il serait facile de tenir compte des termes négligés. La difficulté proviendrait du trop grand nombre de mesures qui enlèverait toute précision à cette méthode. Elle permettrait cependant d'avoir une sensibilité assez grande pour pouvoir mesurer directement la force électro-motrice des éléments-étalons ordinaires.

Mars 1907.