

E7 CONSTANTES DIELECTRIQUES

I. INTRODUCTION

Dans cette expérience, nous étudierons des condensateurs et nous dériverons les propriétés de diélectriques tels que l'air et le plexiglas.

II. THEORIE

A) Condensateurs et diélectriques

Deux ou plusieurs conducteurs électriques (métalliques) séparés par une couche de matière isolante (diélectrique), tels que l'eau, l'air, les matières plastiques, etc., forment un condensateur.

Dans un diélectrique, toutes les charges sont liées aux atomes ou molécules. La présence de champ électrique externe provoque de légers déplacements de ces charges, dans un sens ou dans l'autre suivant le signe, créant ainsi une polarisation électrique \mathbf{P} . La polarisation d'un diélectrique peut se produire de deux manières :

- par induction : le champ électrique induit des dipôles dans les molécules sur lesquelles il agit (cf. figure 1).
- par orientation: si le diélectrique contient déjà des dipôles permanents (molécules polaires), le champ électrique va orienter ces dipôles dans sa propre direction.

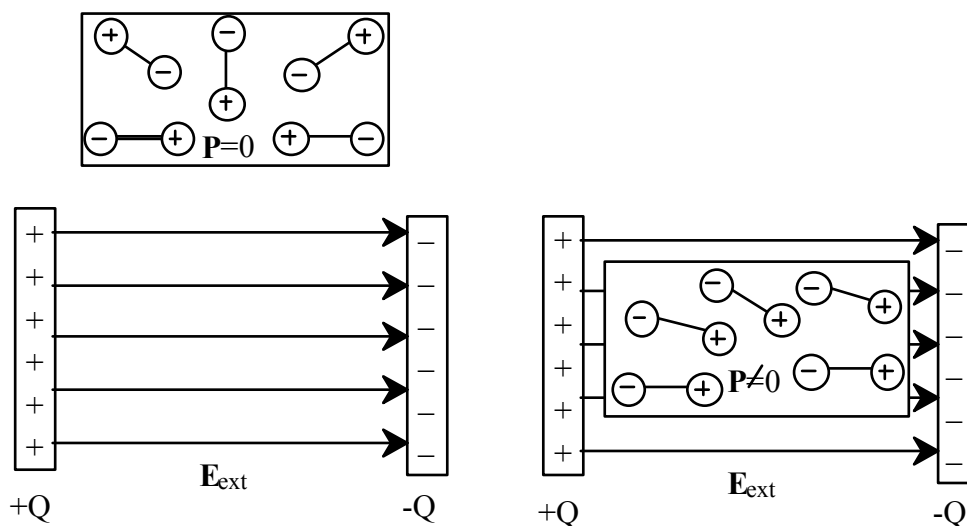


Figure 1

La direction de la polarisation \mathbf{P} dépend de l'orientation cristallographique du diélectrique. Cependant, pour les diélectriques isotropes ou de structure cubique, \mathbf{P} est parallèle à \mathbf{E}_{ext} (champ électrique externe).

B) Constantes diélectriques

Les constantes diélectriques apparaissent dans les expressions pour la polarisation \mathbf{P} :

$$(1) \quad \mathbf{P} = \epsilon_0 \chi \mathbf{E}$$

χ : susceptibilité électrique du diélectrique

$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$ [As/Vm] est la permittivité du vide

et pour le déplacement électrique \mathbf{D} :

$$(2) \quad \mathbf{D} = \epsilon_0 \mathbf{E} + \mathbf{P} = \epsilon_0 (1 + \chi) \mathbf{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \mathbf{E}$$

d'où l'on déduit que $\epsilon_r = 1 + \chi$

ϵ_r : constante diélectrique (ou permittivité relative par rapport au vide).

On définit parfois une constante diélectrique absolue $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$.

Le tableau suivant donne quelques valeurs de la constante diélectrique ϵ_r pour différentes substances isolantes (à pression et température ambiantes).

Substance	vide	air sec	eau	verre	nylon	huile	Plexiglas
ϵ_r	1	1.0006	78.5	5 - 7	3.5	2.2	2-4

Dans le cas d'un diélectrique, la polarisabilité ou constante diélectrique dépend de la nature des éléments à polariser. C'est pourquoi on observe une grande différence entre la valeur de ϵ_r de l'eau pure et celle d'un plastique, par exemple.

A l'intérieur d'un diélectrique, le champ \mathbf{E} n'est plus égal au champ \mathbf{E}_{ext} , mais il est donné par la relation :

$$(3) \quad \mathbf{E} = \mathbf{E}_{\text{ext}} + \mathbf{E}_d$$

où $\mathbf{E}_d = -\mathbf{N}_d \cdot \mathbf{P}$ est le champ de dépolarisation induit par la polarisation \mathbf{P} dans le diélectrique. \mathbf{N}_d est le facteur de dépolarisation.

La capacité C d'un condensateur est liée à la charge Q et à la tension V appliquée entre ses bornes :

$$(4) \quad C = \frac{Q}{V} \quad [C] = \frac{\text{A} \cdot \text{s}}{\text{V}} = \text{Farad}$$

C dépend de la géométrie du condensateur et peut être augmentée du facteur ϵ_r lorsqu'on place un diélectrique entre ses plaques.

C) Condensateur à plaques parallèles (avec diélectrique)

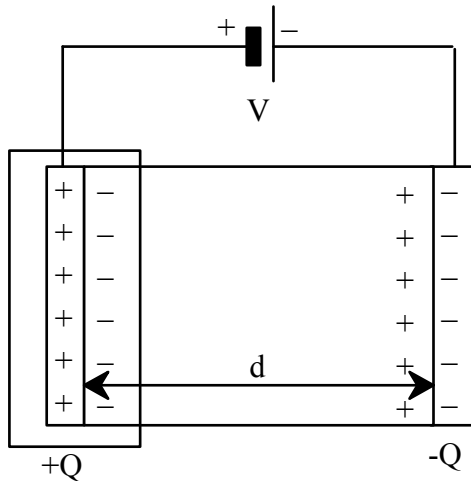


Figure 2

Si l'extension des plaques (de surface S) est grande par rapport à d , on peut négliger les effets de bord et considérer le champ $\mathbf{E} = \text{constant}$ entre les armatures. En appliquant la loi de Gauss sur un petit rectangle entourant la surface d'une des plaques, on a :

$$(5) \quad \begin{aligned} Q &= \int_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = \epsilon_0 \epsilon_r \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S} \\ &= \epsilon_0 \epsilon_r \frac{V}{d} \int_S dS = \epsilon_0 \epsilon_r V \frac{S}{d} \end{aligned}$$

Ainsi :

$$(6) \quad C = \frac{Q}{V} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r \cdot S}{d}$$

D) Condensateur coaxial (avec diélectrique)

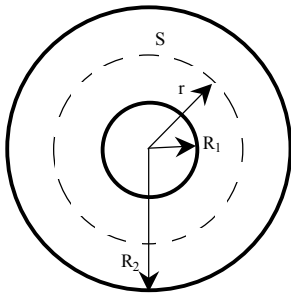


Figure 3

On considère à nouveau un condensateur dont la longueur L est beaucoup plus grande que le rayon ($L \gg R_2$) de manière à négliger les effets de bord. La loi de Gauss permet d'écrire :

$$(7) \quad Q = \epsilon_0 \epsilon_r \int_S \vec{E} \cdot d\vec{S}$$

où S est la surface dessinée en pointillé.

D'où $Q = \epsilon_0 \epsilon_r E \cdot 2\pi r L$

La différence de potentiel entre les deux électrodes est donnée par :

$$(8) \quad V = \int_{R_1}^{R_2} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{r} = \int_{R_1}^{R_2} \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r L} \cdot \frac{dr}{r} = \frac{Q}{2\pi \epsilon_0 \epsilon_r L} \ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)$$

d'où

$$(9) \quad C = \frac{Q}{V} = 2\pi \frac{\epsilon_0 \epsilon_r L}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

III. DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Nous utilisons, pour déterminer C , une méthode consistant à mesurer la charge Q_0 totale pour une certaine tension V_0 , à l'aide d'un galvanomètre balistique.

Le schéma de mesure est le suivant :

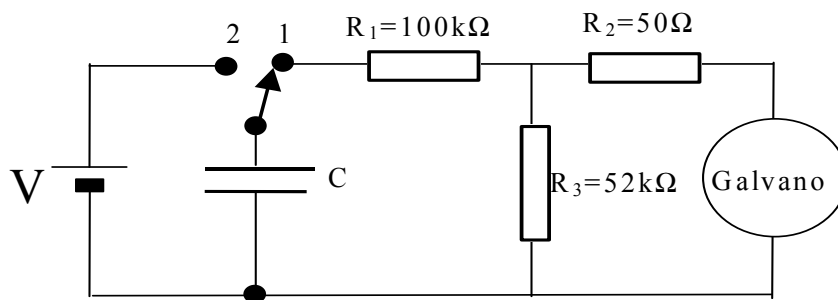


Figure 5

Commutateur en position 1 : le condensateur se charge à la tension V_0 .

Commutateur en position 2 : le condensateur se décharge dans les résistances R_i . La déviation maximale du galvanomètre Δ_{\max} est proportionnelle à la charge qui le traverse:

$$\Delta_{\max} \div Q_0 = C \cdot V_0$$

Connaissant C en lisant Δ_{\max} , il est alors facile de déterminer la constante diélectrique ϵ_r .

Remarque : Le galvanomètre est un instrument délicat qui ne supporte pas les surtensions. Faites contrôler le circuit avant d'enclencher.

IV. MANIPULATIONS

- 1) Mesurer Δ_{\max} pour les condensateurs dont la capacité C est connue et porter sur un graphique Δ_{\max} en fonction de C (utiliser la décade de capacités).
- 2) Mesurer les capacités du condensateur à plaques parallèles pour l'air et le plexiglas en changeant la distance d et porter sur un graphique C en fonction de $1/d$.
- 3) Déterminer les constantes diélectriques de l'air et du plexiglas.

- 4) Contrôler la relation entre C et R_2/R_1 pour les condensateurs cylindriques en portant sur un graphique C en fonction de $1/\ln(R_2/R_1)$ et déterminer la constante diélectrique ϵ_r de l'araldite.