

CONDENSATEUR ELECTRIQUE

BUT DE LA MANIPULATION

Dans ce TP nous étudions le champ électrique à l'intérieur de condensateur plan ainsi que le champ généré par la charge statique.

CHAMP ELECTRIQUE

Nous désignons par champ électrique un champ créé par des particules électriquement chargées. Un tel champ permet de déterminer en tout point de l'espace la force électrique exercée à distance par ces charges. Si les charges sont fixées, le champ électrique est appelé champ électrostatique

Exemples simples de calcul du champ électrique.

Les exemples qui suivent sont des applications du théorème de Gauss.

Champ créé par une charge ponctuelle

Soit une charge ponctuelle q située en un point O . Soit un point de l'espace M . La force induite par le champ électrique provoqué par q en M vaut :

$$\vec{E} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0|OM|^2} \cdot \frac{\vec{OM}}{|OM|},$$

avec ϵ_0 la permittivité du vide. Le module du champ électrique décroît proportionnellement avec le carré la distance d . Sa direction passe par le point O (champ radial). L'expression de son module à une distance d est :

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 d^2}$$

Champ créé par un fil infiniment long et uniformément chargé

On définit la charge linéique par :

$$\lambda = Q/L,$$

en $C \cdot m^{-1}$, Q étant la charge d'une portion (élément de longueur) du fil et L est la longueur de cette portion. Le module champ électrique décroît proportionnellement avec la distance d . Sa direction est perpendiculaire au fil et passe par le fil (champ radial). L'expression de son module à une distance d est :

$$E = \frac{q}{2\pi\epsilon_0 d}$$

Champ créé par une plaque plane infinie, uniformément chargée

On définit la charge surfacique par :

$$\sigma = Q/A,$$

en $C \cdot m^{-2}$, Q étant la charge d'une région (élément de surface) de la plaque et A est la superficie de cette région.

Le champ électrique créé est uniforme : sa direction est une perpendiculaire au plan et l'expression de son module est la même en tout point de l'espace et elle est indépendante de la position :

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0}$$

CHAMPS ELECTRIQUES DANS LE CONDENSATEUR

Information général.

Un condensateur est un composant électronique ou électrique élémentaire, constitué de deux armatures conductrices (appelées « électrodes ») en influence totale et séparées par un isolant polarisable (ou « diélectrique »). Sa propriété principale est de pouvoir stocker des charges électriques opposées sur ses armatures. La valeur absolue de ces charges est proportionnelle à la valeur absolue de la tension qui lui est appliquée. Le condensateur est caractérisé par le coefficient de proportionnalité entre charge et tension appelé capacité électrique et exprimée en farads (F).

On définit la capacité par la relation :

$$Q = C \times U$$

où :

- Q est la charge stockée sur sa borne positive et s'exprime en Coulombs;
- U est la tension aux bornes du composant ;
- C est la capacité électrique du condensateur

La charge électrique emmagasinée par un condensateur est proportionnelle à la tension appliquée entre ses deux armatures. Aussi, un tel composant est-il principalement caractérisé par sa capacité, rapport entre sa charge et la tension.

La capacité électrique d'un condensateur se détermine essentiellement en fonction de la géométrie des armatures (A et d) et de la nature du ou des isolants (ε_0 perméabilité) ; la formule simplifiée suivante est souvent utilisée pour estimer sa valeur :

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{A}{d},$$

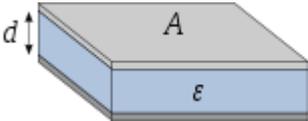
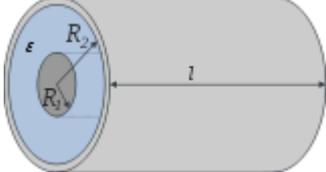
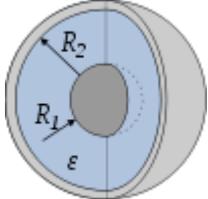
A c'est une surface de l'armature, d c'est une distance entre les électrodes, ε_r , c'est la permittivité relative de l'isolant ($\varepsilon_r=1$ dans le vide), et ε_0 c'est la permittivité relative du vide ($\varepsilon_0= 8,84 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1} = 8,84 \cdot 10^{-12} \text{ C} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)

La recherche de la plus forte capacité pour les plus faibles volumes et coût de fabrication conduit à réduire autant que possible l'épaisseur d'isolant entre les deux armatures ; comme la tension de claquage diminue également dans la même proportion, il y a souvent avantage à retenir les meilleurs isolants.

Le champ électrique à l'intérieur d'un condensateur plan vérifie :

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \vec{e},$$

avec σ la charge surfacique portée par les armatures et \vec{e} un vecteur unitaire perpendiculaire aux plaques dans le sens des potentiels décroissants.

Désignation	Capacité	Champ électrique	Représentation
Condensateur plan	$C = \epsilon_0 \epsilon_r \cdot \frac{A}{d}$	$E = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r A}$	
Condensateur cylindrique	$C = 2\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{l}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$	$E(r) = \frac{Q}{2\pi r l \epsilon_0 \epsilon_r}$	
Condensateur sphérique	$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$	$E(r) = \frac{Q}{4\pi r^2 \epsilon_0 \epsilon_r}$	
Sphère	$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r R_1$		

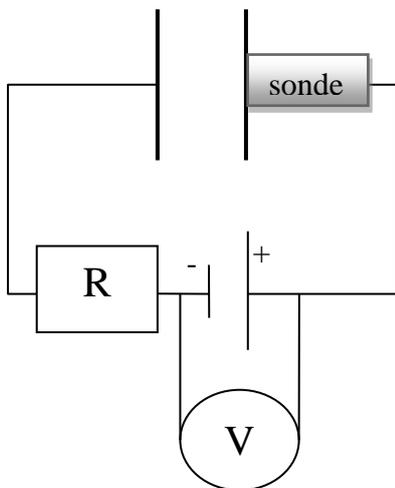
Principe:

Le champ électrique uniforme E est produit entre les plaques chargées d'un condensateur plan. L'intensité du champ est déterminée par une sonde intégrée dans une plaque de condensateur, en fonction de l'espacement des plaques d et de la tension U .

Pour les manipulations nous utilisons les matériels suivants :

- Plaque 283 mm x 283 mm
- Plaque avec une ouverture
- Plaque diélectrique
- Mesureur de champ électrique
- Source de courant.
- Deux multimètres
- Résistance de protection, $R=10\text{ M}\Omega$

Le montage : Le montage est présenté sur la figure dessous.



Nous utilisons le premier multimètre pour mesurer la tension sur les plaques de condensateur et le deuxième pour mesurer la valeur de tension qui proportionnelle au champ électrique. Pour avoir la valeur de champ électrique en V/m il faut multiplier la valeur en volt sur le deuxième multimètre par 100 m^{-1} pour le calibre 1kV/m, par 1000 m^{-1} pour le calibre 10kV/m et par 10000 m^{-1} pour le calibre 100 kV/m.

La relation entre le champ électrique et le potentiel s'écrit :

$$|\vec{E}| = |-\text{grad } \phi| = \left| \frac{\partial \phi}{\partial x} \right|.$$

Nous avons pour le champ uniforme :

$$|\vec{E}| = \left| \frac{\phi_1 - \phi_2}{x_1 - x_2} \right| = \frac{U}{d}, \quad (1)$$

U – tension sur les bornes de condensateur, d c'est une distance entre les armatures.

Mesures et interprétations

ATTENTION ! Tous les branchements ainsi que les réglages des armatures doivent être faits quand la tension sur les bornes du condensateur est égale à zéro ! N'oubliez pas de brancher la résistance de la protection. Appelez l'enseignant pour la vérification du montage.

A. Relation entre l'intensité du champ électrique et la tension.

Dans cette manipulation l'espacement entre les plaques est constant, $d=5\text{cm}$.

A.1. Mesurer le champ électrique pour les valeurs de la tension entre 10V et 100V.

A.2. Tracer la courbe $E_{\text{mes}}=E_{\text{mes}}(U)$ expérimentale et la courbe théorique $E_{\text{th}}=E_{\text{th}}(U)$ (sur la même figure) sans oublier les rectangles d'erreurs afin de vérifier l'expression (1). Rappelons que si les barres/rectangles d'erreur des courbes théorique et expérimentale se croisent, l'expérience confirme la relation théorique.

Nous prenons ΔU égale 5% de valeur U plus un dernier chiffre. Pour estimer l'incertitude ΔE_{mes} nous pouvons, par exemple, observer les variations de E_{mes} pendant le certain temps (quelques dizaines de secondes), et, puis, prendre $\Delta E_{\text{mes}} = (\max(E_{\text{mes}}) - \min(E_{\text{mes}})) / 2$. Rappelons que nous utilisons la méthode de la propagation des erreurs pour estimer les incertitudes de E_{th} , $\Delta d=0.5\text{cm}$.

A.3. Quel type de relation entre E et U existe ? Est-ce que l'expérience confirme la relation théorique (1)?

B. Relation entre l'intensité du champ électrique et la distance entre les plaques.

Dans cette manipulation, la tension sur les bornes des plaques est constante $U=100\text{V}$.

B.1. Mesurer le champ électrique pour les valeurs de distances entre les plaques de 2 cm à 10 cm.

B.2. Vérifier la relation théorique (1), comme pour la partie de TP précédent.

B.3. Tracer aussi la courbe de charge superficielle sur les plaques de condensateur comme la fonction de la distance inversée $\sigma = \sigma(1/d)$. Quel est le type de cette dépendance ? Estimer l'incertitude de $1/d$.

C. Mesures d'une charge statique.

Pour cette manipulation nous n'appliquons pas la tension sur le condensateur. Enlever la plaque sans la sonde. Nous mesurons le champ électrique statique de la plaque diélectrique. Nous supposons que la plaque est chargée uniformément.

C.1. Mesurer $E(x)$ (valeur de champ électrique E en un point M comme la fonction de la distance x entre la plaque et M , M étant un point sur un axe perpendiculaire à la plaque, utiliser le calibre correspondant au champ mesuré).

C.2. Proposer une méthode pour déterminer la charge statique électrique complète de la plaque diélectrique. Utiliser extrapolation pour déterminer la valeur de champ.

C.3. Estimer la charge statique de la plaque.