TP2 - LA CUVE RHEOGRAPHIQUE

Etude du champ et du potentiel électriques entre conducteurs

1) Introduction : Déterminer le champ électrique et le potentiel électrique créés en tout point de l'espace par des conducteurs portés à des potentiels constants est un problème plutôt compliqué. Mais dans certains cas simples, une solution expérimentale, la cuve rhéographique, permet de résoudre ce problème.

Elle est constituée d'une cuve en matière isolante, remplie d'un liquide de grande résistance (de l'eau du robinet en l'occurrence), dans lequel on plonge les conducteurs (électrodes métalliques en inox de faible résistance); En reliant ces électrodes à une source de tension alternative (pour éviter une polarisation des électrodes) on fait circuler entre elles un courant électrique. Le potentiel en chaque point de la cuve peut facilement être déterminé expérimentalement par l'emploi d'une sonde et d'un voltmètre.

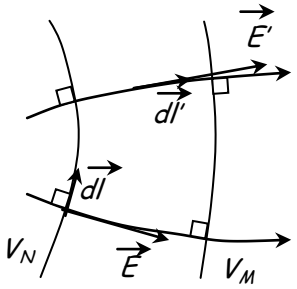
On peut repérer l'ensemble des points où le potentiel est le même grâce à la feuille de papier quadrillée placée sous le fond de la cuve. En marquant ces points sur une feuille de papier millimétré on peut ainsi tracer la carte des équipotentielles qui permettront de déduire les lignes de champ électrique pour la configuration choisie. Bien évidemment, les électrodes constituent elles-mêmes des surfaces équipotentielles.

2) Aperçu théorique :

La relation générale qui lie le champ électrique $\vec{E}$ et le potentiel électrique V est donnée par : $dV = -\vec{E}.d\vec{l}$. Autrement dit, le vecteur champ $\vec{E}$ dérive d'un potentiel scalaire V.

Dans un espace à 2 dimensions, l'ensemble des points où le potentiel a la même valeur représente une *ligne équipotentielle* définie par :

$$V(x,y) = Constante \ \ ou \ (dV = 0).$$



Si on se déplace d'une petite quantité $d\vec{l}$ sur l'équipotentielle V_N la circulation du vecteur champ $\vec{E}$ s'écrit : $dV = -\vec{E}.d\vec{l} = 0$.

Le produit scalaire $\vec{E}.d\vec{l}$ est nul. Par conséquent $\vec{E}$ est en tout point *perpendiculaire* à cette ligne équipotentielle.

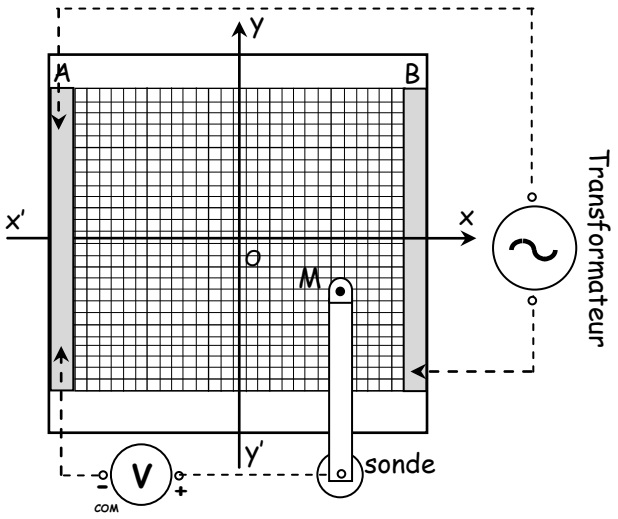
Les *lignes de champ* (qui sont tangentes en tout point aux vecteurs $\vec{E}$) sont donc *orthogonales* aux lignes équipotentielles quelle que soit la distribution. Ces lignes de champ sont des courbes *orientées* (dans le sens du champ) contrairement aux courbes équipotentielles.

Pour un déplacement $\overrightarrow{dl'}$ sur une ligne de champ on a : $dV = -\vec{E}'.\overrightarrow{dl'}$. Le produit scalaire $\vec{E}'.\overrightarrow{dl'}$ étant positif, la variation dV du potentiel est par conséquent négative. V_M est donc inférieur à V_N. Le potentiel décroît le long d'une ligne de champ. De plus, en suivant une ligne de champ, la variation du potentiel est localement maximale.

3) Travail demandé :

A) Potentiel et champ produits par deux électrodes planes :

A.1) Réaliser le montage de la figure ci-dessous et le faire vérifier avant de relier à la source de tension.
On utilise deux électrodes planes parallèles *A* et *B* placées aux bords de la cuve, un transformateur *(220V~11V)*, une sonde constituée d'une tige métallique de faible diamètre et un voltmètre. On choisit de porter l'électrode A au potentiel de référence (V_A = *0 V*) et l'électrode *B* sera au potentiel V_B. Connecter la borne - ou *COM* du voltmètre à l'électrode *A* et la borne + à la sonde.



Si la sonde est placée en un point *M* de la cuve, le voltmètre indique la d.d.p. V_M-V_A existant entre ce point et l'électrode *A*. Comme V_A = *0 V*, l'indication du voltmètre est le potentiel V_M. On peut ainsi connaître, en déplaçant la sonde, le potentiel en n'importe quel point de la cuve.

A.2) Déplacer la sonde sur toute la surface de l'électrode *A* puis sur celle de l'électrode *B*. Noter les potentiels V_A *et* V_B et commenter.
Vérifier que $V(x_M, y_M)$ en un point *M* et égal à $V(x_M, -y_M)$ en un point *M'* symétrique de *M* par rapport à l'axe *x'Ox*.

A.3) Prendre une feuille de papier millimétré et représenter à l'échelle *1* les électrodes *A* et *B* et les axes *x'Ox et y'Oy*.

Rechercher les équipotentielles E_{q1} = 2 V, E_{q2} = 4 V, E_{q3} = 6 V et E_{q4} = 8 V et tracer les sur la feuille de papier millimétré.

Commencer d'abord par repérer le point où le potentiel est de *2 V* sur l'axe *x'Ox*. Puis, rechercher quelques autres points dans le demi-espace des y positifs en déplaçant à chaque fois la sonde sur une ligne *y = constante*.
Reporter par symétrie les points correspondants dans l'autre demi-espace. La dimension des électrodes n'étant pas grande par rapport à leur espacement, les équipotentielles peuvent présenter des courbures dans les zones proches de *y = 10 cm et y = -10 cm* qui sont dues à des effets de bord.

A.4) Déterminer suivant l'axe *x'Ox*, les champs électriques moyens :

- $\vec{E}_{m1}$ au point M_1 entre *A et* E_{q1},
- $\vec{E}_{m2}$ au point M_2 entre E_{q1} *et* E_{q2},
- $\vec{E}_{m3}$ au point M_3 entre E_{q2} *et* E_{q3} et
- $\vec{E}_{m4}$ au point M_4 entre E_{q3} *et* E_{q4}.

Conclusion.

A.5) Déplacer la sonde de 2 *cm en 2 cm* suivant l'axe x'Ox et relever en chaque point le potentiel V_1. Tracer le graphe $V_1(x)$.

A.6) Quelle est la forme de la fonction $V_1(x)$?

En désignant par *d* la distance entre les 2 électrodes et par $\vec{\imath}$ le vecteur unitaire suivant x'Ox, déduire l'expression du champ électrique $\vec{E}$ suivant *x'Ox* ainsi que sa valeur. Comparer avec les modules des champs $\vec{E}_{mi}$.

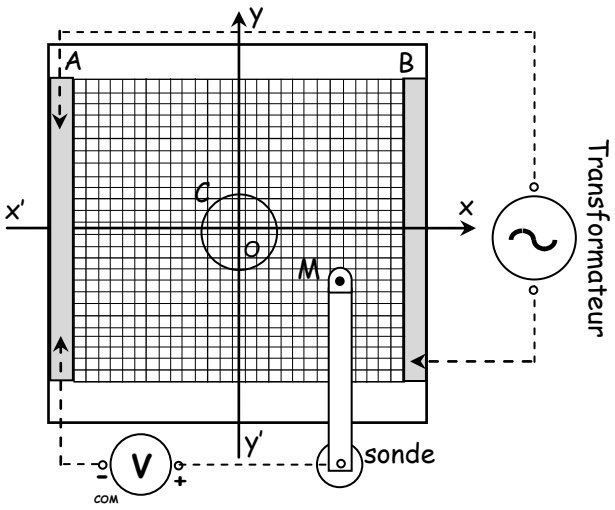
Le champ $\vec{E}$ est-il uniforme en tout point de la cuve ?

A.7) Tracer quelques lignes de champ au centre et près des bords des électrodes.

B) Potentiel et champ produits par deux électrodes planes en présence d'un conducteur cylindrique:

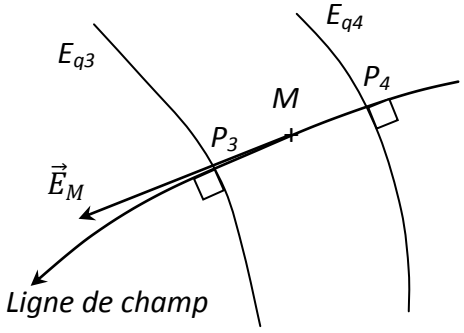
B.1) Placer au centre de la cuve le conducteur *C* de diamètre *6 cm*.
Déplacer la sonde à l'intérieur du conducteur et sur la surface. Relever le potentiel V_C.
Que peut-on dire de la valeur du champ E_C à l'intérieur.
On considère le conducteur *C* en équilibre. Comment se répartissent les charges sur sa surface?

B.2) Tracer sur une nouvelle feuille de papier millimétré, les électrodes *A et B* et le conducteur *C. R*elever comme précédemment, en tenant compte de la symétrie, les équipotentielles E_{q1}, E_{q2}, E_{q3} *et* E_{q4}.



B.3) Quel est le changement induit par le conducteur *C* sur les équipotentielles et les lignes de champ?

B.4) En prenant *y = 5 cm*, marquer le point *M* situé entre les équipotentielles E_{q3} *et* E_{q4} et représenter la ligne de champ passant par ce point. On rappelle que c'est une ligne orientée (des hauts potentiels vers les bas potentiels), qui démarre de l'électrode *B*, coupe orthogonalement toutes les équipotentielles rencontrées et arrive sur le conducteur *C*. Elle est évidemment perpendiculaire à *B et C*.



Représenter au point M le champ électrique moyen $\vec{E}_M$ et déterminer son module.

$\left|\vec{E}_M\right| = \frac{V_{P_4} - V_{P_3}}{P_4 P_3}$ avec $V_{P4} > V_{P3}$

En prenant *y = - 5 cm*, marquer le point *N* situé entre les équipotentielles E_{q1} *et* E_{q2} et représenter la ligne de champ passant par ce point.

B.5) Déplacer la sonde de *2 cm en 2 cm* suivant l'axe x'Ox et relever le potentiel V_2. Tracer sur la même feuille de papier millimétré que $V_1(x)$, le graphe du potentiel $V_2(x)$. Comparer. Commenter.