

## TP-2 **Champ et potentiel électriques** **(cuve rhéographique)**

### 1- But du TP

C'est l'étude expérimentale du champ et du potentiel électriques créés par deux conducteurs chargés (plans et cylindriques).

Cette étude sera très utile quand on abordera les condensateurs plans et cylindriques.

### 2- Technique utilisée

Deux conducteurs chargés, l'un positivement et l'autre négativement, séparés d'une certaine distance, vont créer un champ et un potentiel électrostatique en tout point de l'espace. Nous nous intéressons à la région de l'espace qui se trouve entre les deux conducteurs. Pour pouvoir mesurer le champ et le potentiel, nous allons placer ces conducteurs dans une cuve remplie d'un liquide faiblement conducteur (eau du robinet). Nous mettons ce liquide uniquement pour permettre le passage d'un faible courant entre les deux conducteurs ; ceci permet de mesurer le potentiel en un point quelconque de la cuve. Les mesures de tensions (ou différence de potentiel, d.d.p) sont toujours plus faciles à effectuer que celles des intensités du champ électrostatique.

### 3- Rappels théoriques

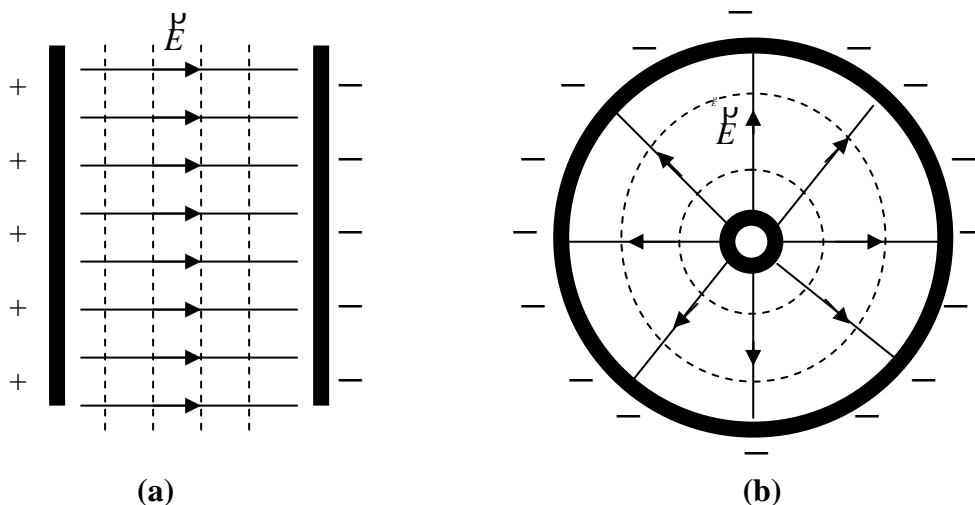
#### *Lignes de champ électrique*

Lorsqu'un conducteur est chargé électriquement, il donne naissance dans l'espace qui l'entoure à un champ électrostatique  $\vec{E}$ . En tout point de cet espace, le champ  $\vec{E}$  est *tangent* à des courbes appelées *lignes de champ*.

#### *Surfaces équipotentielles*

Ce sont les lieux géométriques des points M qui ont la même valeur du potentiel électrique, c'est-à-dire  $V(M) = \text{constante}$ .

Les lignes de champ sont toujours perpendiculaires aux surfaces équipotentielles; autrement dit,  $\vec{E}$  est toujours *perpendiculaire* aux surfaces *équipotentielles* (fig.1 a et b).



**Fig.1** Lignes de champ (  $\longrightarrow$  ) et lignes équipotentielles (----), pour deux conducteurs plans (a) et deux conducteurs cylindriques (b).

#### 4- Relations utiles

La relation la plus utile pour ce TP est celle qui relie le champ électrique  $\vec{E}$  au potentiel électrique  $V$  :

$$\vec{E} = -\text{grad } V \quad \text{soit} \quad E = -\nabla V \quad (1)$$

avec :

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} ; \quad \text{en coordonnées cartésiennes } x, y, z \quad (2)$$

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial r} \vec{u}_r + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial \theta} \vec{u}_\theta + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k} ; \quad \text{en coordonnées cylindriques } r, \theta, z \quad (3)$$

#### 5 - Dispositif expérimental

- **Cuve rhéographique** : c'est une cuve transparente de forme rectangulaire, remplie d'eau, sous laquelle est disposée un quadrillage pour repérer les coordonnées des points où l'on veut déterminer le potentiel électrique.
- **Conducteurs chargés** : nous disposons de deux paires de conducteurs que nous appellerons électrodes ; une paire d'électrodes planes pour obtenir des lignes de champ parallèles (*fig.1a*), et une paire d'électrodes cylindriques pour avoir des lignes de champ radiales (*fig.1b*).
- **Sonde électrique** : c'est une électrode filiforme de petit diamètre, disposée perpendiculairement au fond de la cuve, elle permet de déterminer la répartition du potentiel. Dans ce TP nous utiliserons des sondes électriques à **1 fil** et à **2 fils**. Une sonde à 1 fil, pour déterminer les lignes équipotentielle ; et une sonde à 2 fils, pour trouver  $\text{grad } V$ .

#### 6 - Manipulation

##### Partie A : Potentiel et champ produits par deux électrodes planes ( 9 pts)

**Montage** : (2 pts)

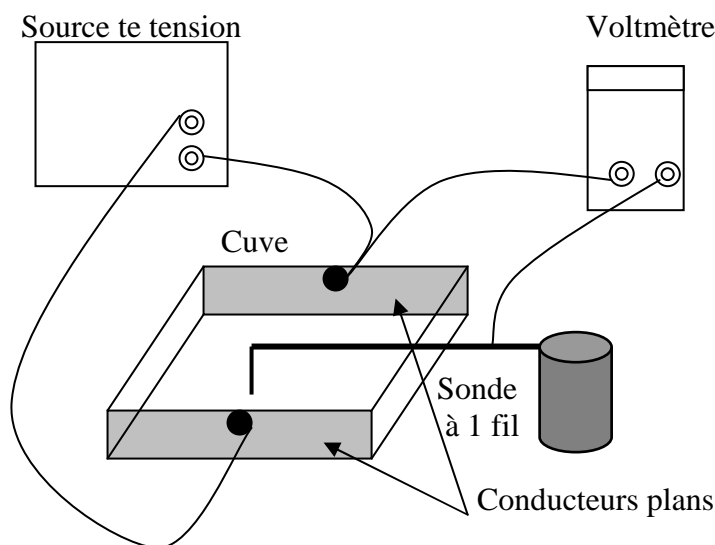
Réalisez le montage indiqué par la *fig.2* : cuve remplie d'eau, on y place deux conducteurs plans (qui doivent toucher le fond de la cuve) et on relie chaque conducteur à une borne de la source de tension. On connecte la "sonde à un fil" au multimètre (la sonde doit être tenue verticalement). Le sélecteur du multimètre doit être positionné sur le calibre 20 V~. On règle la source de tension sur 12 V~. Avant de brancher la source de tension appelez obligatoirement votre enseignant pour vérifier le montage

**Observations qualitatives** : (0.5, 0.5, 0.5 pt)

**A-a)** Déplacer la sonde sur la surface de chacune des plaques. Notez vos observations.

**A-b)** Déplacer la sonde perpendiculairement aux électrodes en partant de l'électrode de référence vers celle de potentiel plus élevé. Notez vos observations.

**A-c)** Déplacez la sonde parallèlement aux électrodes. Notez vos observations.



**Fig.2** Montage de la partie A

**Mesures à réaliser :**

**A-1) (1 pt)**

- A l'aide d'une sonde à 1 fil, déterminez 5 à 6 points régulièrement répartis le long de la cuve pour lesquelles le voltmètre indique une tension  $V_1 = 9 \text{ V} (\pm 0.1 \text{ V})$ .
- Reportez les points obtenus sur la feuille-1 de papier millimétré.
- Tracez la ligne équipotentielle  $V_1 = 9 \text{ V}$  en joignant les points.
- Répétez cet ensemble de mesures pour  $V_2 = 6 \text{ V}$ , et  $V_3 = 3 \text{ V} (\pm 0.1 \text{ V})$ , et tracer les équipotentielles correspondantes  $V_2 = 6 \text{ V}$  et  $V_3 = 3 \text{ V}$ .  
Finalement, sur la feuille-1 vous aurez trois lignes équipotentielles que vous désignerez par  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$ .

**A-2) (1 pt)**

- Prenez une sonde à 2 fils, connectez-la au multimètre (voir fig.3) ; placez l'une des aiguilles de la sonde sur un point situé sur la ligne équipotentielle  $V_1$ , tournez l'autre aiguille de  $360^\circ$  autour de la première. Lisez l'affichage du voltmètre, et trouvez la direction qui correspond à la plus grande valeur de la tension affichée. Reportez cette direction sur la feuille-1 par un segment de droite de 3 cm. Refaites cela pour tous les autres points de toutes les équipotentielles.

- A-3)** Mesurez les valeurs du potentiel  $V(x)$ , en déplaçant la sonde en pas de 2 cm le long de l'axe des  $x$  (qui est l'axe perpendiculaire aux surfaces des deux conducteurs plans, dans le sens des potentiels décroissants). Les porter dans le tableau suivant :

**Tableau 1** (1 pt)

$x$ (cm)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$V$ (Volts)										
$E_m$ (V/cm)										
$E$ (V/cm)										

$x$ (cm)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$V$ (Volts)											
$E_m$ (V/cm)											
$E$ (V/cm)											

**A-4)** Tracez le graphe  $V(x)$  correspondant. (0.5)

**A-5)** Déduire de ce graphe la loi de variation du potentiel  $V$  en fonction de  $x$ . (0.5 pt)

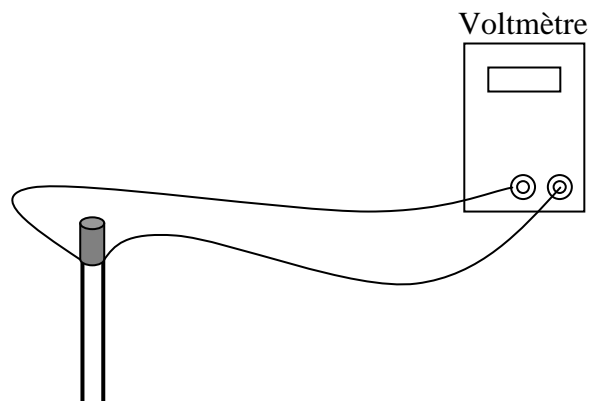
**A-6)** Utilisez les relations (1) et (2) pour montrer que  $\vec{E} = -\frac{dV}{dx}\vec{i}$ . (0.5 pt)

**A-7)** Comme l'axe  $Ox$  est dans le sens des lignes de champ (c.- -d. sens des  $V$  décroissants), alors le module de  $E$  s'écrit :  $E = -dV/dx$ . Utilisez cette relation pour calculer le champ moyen  $E_m$  dans les intervalles indiqués par le tableau 1.

**A-8)** Comme le champ moyen dans un intervalle peut être assimilé au champ local au milieu de cet intervalle, écrivez le champ électrique en  $x = 1, 3, \dots, 19$  cm (complétez le tableau 1).

**A-9)** Utilisez les valeurs du champ moyen obtenues pour  $V_1 = 9$  V, et  $V_2 = 6$  V et  $V_3 = 3$  V, afin de tracer sur la feuille-1 les vecteurs champs électrique sur les points représentés. (0.5 pt)

**A-10)** Tracez le graphe  $E = f(x)$ . Tirer la conclusion. (0.5 pt)



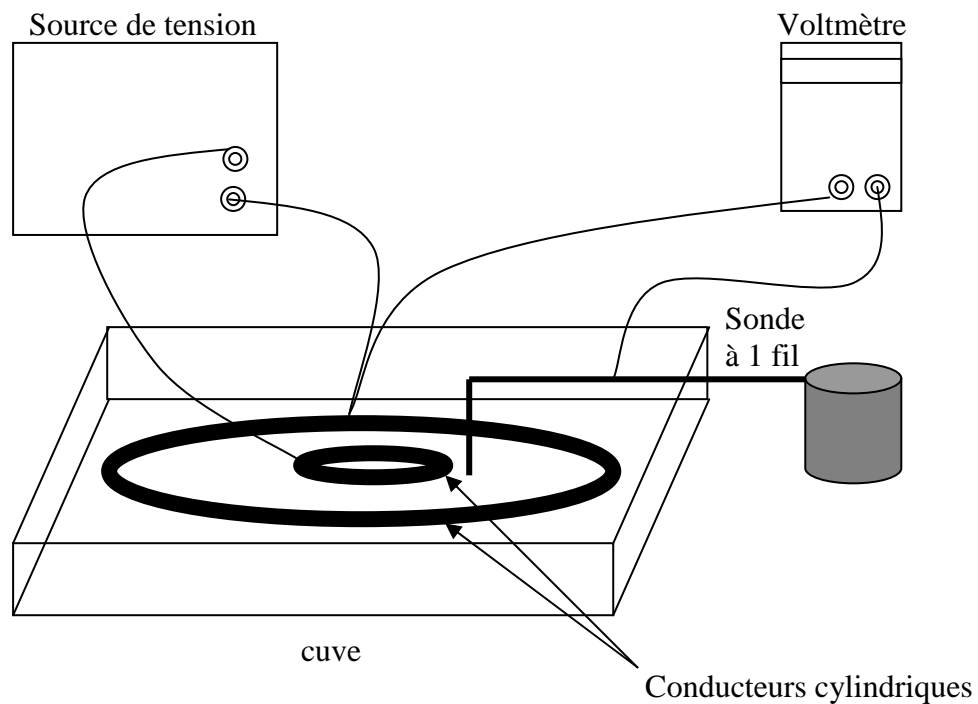
**Fig.3** Sonde à deux fils

## **Partie B : Potentiel et champ produits par deux électrodes cylindriques**

( 10 pts)

**Montage :** (2 pts)

Réalisez le montage indiqué par la **fig.4** : on place deux électrodes cylindriques (qui doivent toucher le fond de la cuve) reliées à la source de tension. Connectez la "sonde à un fil" au voltmètre (la sonde doit être tenue verticalement). Garder la même valeur de la tension d'alimentation (12 V~). Avant de brancher la source de tension appelez obligatoirement votre enseignant pour vérifier le montage



**Fig.4** Montage de la partie B

**Observations qualitatives :** (0.5, 0.5, 0.5 pt)

**B-a)** Déplacer la sonde sur la surface de chacune des plaques cylindriques. Notez vos observations.

**B-b)** Déplacer la sonde de façon radiale par rapport aux électrodes, en partant de l'électrode centrale vers celle de potentiel plus faible. Notez vos observations.

**B-c)** Déplacez la sonde sur des cercles entourant l'électrode centrale. Notez vos observations.

**Mesures à réaliser :**

**B-1)** (1 pt)

- A l'aide d'une sonde à 1 fil, déterminez 8 points sur les 8 rayons séparés de  $\pi/4$ , pour lesquelles le voltmètre indique une tension  $V_1 = 9 \text{ V}$  ( $\pm 0.1 \text{ V}$ ).
- Reportez les points obtenus sur la feuille-2 de papier millimétré.
- Tracez la ligne équipotentielle  $V_1 = 9 \text{ V}$  en joignant les points.
- Répétez cet ensemble de mesures pour  $V_2 = 6 \text{ V}$ , et  $V_3 = 3 \text{ V}$  ( $\pm 0.1 \text{ V}$ ), et tracer les équipotentielles correspondantes  $V_2 = 6 \text{ V}$  et  $V_3 = 3 \text{ V}$ .

(Finalement, sur la feuille-2 vous aurez trois lignes équipotentielles que vous désignerez par  $V_1$ ,  $V_2$  et  $V_3$ ).

**B-2)** (1 pt)

- Prenez une sonde à 2 fils, connectez-la au multimètre ; placez l'une des aiguilles de la sonde sur un point situé sur la ligne équipotentielle  $V_1$ , tournez l'autre aiguille de  $360^\circ$  autour de la première. Lisez l'affichage du voltmètre, et trouver la direction qui correspond à la plus grande valeur de la tension affichée. Reportez cette direction sur la feuille-2 par un segment de droite de 2 cm. Refaites cela pour tous les autres points de toutes les équipotentielles.

**B-3)** Mesurez les valeurs de la tension  $V$ , en déplaçant la sonde en pas de 1 cm le long d'un axe radial en partant de l'électrode centrale. Porter les valeurs dans le tableau 2.

**Tableau 2 (1 pt)**

R (cm)	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
V(Volts)										
E <sub>m</sub> (V/cm)										
E (V/cm)										

R (cm)	6.5	7	7.5	8	8.5	9	9.5	10	10.5
V(Volts)									
E <sub>m</sub> (V/cm)									
E (V/cm)									

**B-4)** Tracez le graphe V(r) correspondant. (0.5)

**B-5)** Utilisez les relations (1) et (3) du paragraphe Relations utiles pour montrer que 
$$\vec{E} = - \frac{dV}{dr} \vec{u}_r. \quad (0.5)$$

**B-6)** Si on choisit l'orientation de l'axe radial dans le sens des V décroissants, alors le module de E s'écrit :  $E = - dV/dr$ . Utilisez cette relation pour trouver le champ moyen E<sub>m</sub> dans les intervalles indiqués par le tableau 2.

**B-7)** Le champ électrique moyen dans un intervalle d'espace pouvant être assimilé au champ local au milieu de cet intervalle, complétez alors le tableau 2.

**B-8)** Tracez le graphe E(r). (0.75)

**B-9)** En utilisant six points de ce graphes, montrez que pour tous ces points le produit E.r est égal à une même constante. Donnez alors la fonction E(r).

Cherchez dans les livres d'électricité, l'expression du champ électrique E(r) entre deux conducteurs cylindriques coaxiaux, l'un (intérieur) chargé (+) et l'autre (extérieur) chargé (−). En comparant E(r) expérimental et E(r) théorique, calculez la densité surfacique de charges, σ, du conducteur cylindrique intérieur. Pourquoi, à votre avis, ce n'est pas exactement le σ de notre conducteur ? (1 pt)

**B-10)** Dédurre de la fonction E(r) la loi de variation de V en fonction de r. (0.75)

### **Partie C : Modification des équipotentiels en introduisant un conducteur entre les électrodes (1 pt)**

- Placez un conducteur creux dans la cuve, entre les deux électrodes cylindriques.
- Que remarquez-vous? Les lignes équipotentiels restent-elles inchangées ? (0.5)
- Sondez maintenant l'intérieur du conducteur creux avec une sonde à 2 fils, faites des rotations locales de la sonde de 360° et donnez vos observations. (0.5)

(Rappelez-vous de cette partie C quand on abordera, en cours, la *cage de Faraday*)