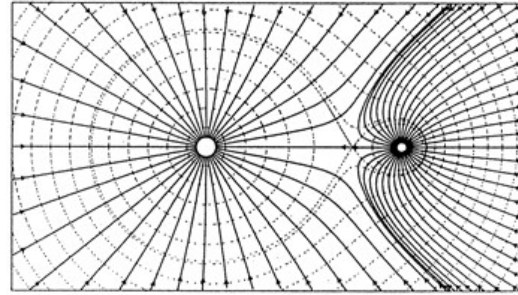


# TP 3 : champs électrostatiques et potentiels

**Objectif** : Tracer des lignes équipotentiels et des lignes de champ pour différents conducteurs chargés à 2 dimensions.



## 1 Principe de la méthode

On se propose de tracer expérimentalement les équipotentiels entre 2 électrodes dans les 3 cas suivants :

- le condensateur plan ;
- le dipôle (ou doublet) ;
- le condensateur cylindrique

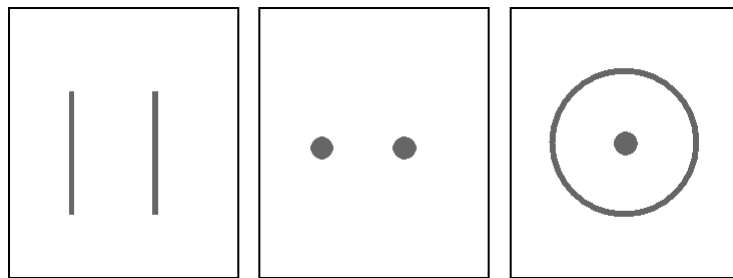


FIGURE 1 – Structures électrostatiques étudiées dans ce TP

Le travail étant assez long, on choisira de traiter deux des trois structures qui sont à disposition.

### 1.1 Théorie : Champ et potentiel électrostatiques

- Dans un espace à 2 dimensions, l'ensemble des points où le potentiel a la même valeur est une **courbe** équipotentielle définie par  $V(x, y) = C^{te}$ .
- $\vec{E}$  est perpendiculaire à une ligne équipotentielle.
- Les lignes de champ (tangentes au vecteur) sont en tout point orthogonales aux lignes équipotentiels quelle que soit la distribution. Ces lignes de champ sont des courbes orientées (dans le sens du champ) contrairement aux courbes équipotentiels. Elles vont dans le sens des potentiels décroissants.
- Les lignes de symétrie sont définies ainsi : même signe de charge électrique et même forme géométrique des 2 côtés de la ligne de symétrie.
- Les lignes d'antisymétrie sont définies ainsi : charge positive d'un côté et négative de l'autre avec la même forme géométrique de chaque côté.

♠ **Travail préliminaire** : pour chaque couple d'électrodes, dessiner les lignes de symétrie et les lignes d'antisymétrie.

## 1.2 Dispositif expérimental

### 1.2.1 Description du matériel

Trois panneaux distincts permettent d'étudier 3 couples d'électrodes différents :

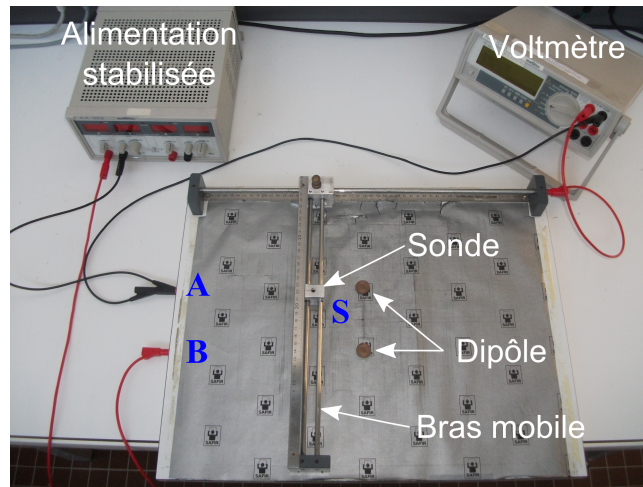


FIGURE 2 – Un exemple de panneau à électrodes du TP

Sur chaque panneau, la feuille carbonée est fixée par serrage au niveau des électrodes. Les liaisons électriques sur ces électrodes se font à partir des bornes (A et B) placées sur le bord du panneau (les connexions entre électrodes et bornes sont assurées par des fils placés sous le panneau).

La borne de la sonde est au bout de la tige métallique (en S).

### 1.2.2 Principe de mesure

Les conducteurs (électrodes) de géométrie donnée sont au contact de la feuille de papier carboné conducteur de conductivité constante.

On établit entre les électrodes une différence de potentiel  $U_0 = 10V$  à l'aide d'une alimentation stabilisée.

**Vérifier précisément la valeur de  $U_0$ .**

En tout point du papier, il existe alors un champ électrique responsable de la conduction. A l'aide d'une sonde S amenée au contact du papier conducteur, on peut mesurer la différence de potentiel existant entre l'électrode de potentiel nul et un point quelconque S de la surface libre.

Pour mesurer cette différence de potentiel, on utilise un voltmètre : on déplace S sur le plateau en déplaçant 2 barres métalliques et on peut ainsi déterminer les lignes équipotentielles.

## 2 Manipulation

### 2.1 Mode opératoire pour le tracé des équipotentielles

On choisit de tracer telle ou telle équipotentielle  $V_i$ .

On cherchera, par contacts successifs de la sonde avec le papier conducteur, les positions correspondant au potentiel choisi.

On recueille les points correspondant au potentiel choisi sur une feuille de papier millimétré (ou sur du papier polaire) : pour cela, la feuille doit être percée de trous correspondants à la géométrie des électrodes.

Pour chaque point :

- Relever la sonde ;
- Placer la feuille ;
- Repérer le point par une marque sur la feuille en indiquant  $V_i$  ;
- Retirer la feuille et choisir un autre point.

Une autre méthode consiste à lire les coordonnées du point grâce aux deux règles graduées présentes sur le dispositif et reporter les valeurs sur le papier millimétré.

## 2.2 Mesures et exploitation

### 2.2.1 Condensateur plan

Le système se comporte comme si les deux armatures du condensateur portaient des charges opposées.

1. ♠ Représenter sur papier millimétré ordinaire au moins 4 équipotentiels "pertinentes" de part et d'autre des électrodes : entre les électrodes et en dehors (étude des effets de bord) ;
2. ♠ Après le tracé des  $V_i$  : dessiner quelques vecteurs  $\vec{E}$  puis construire l'allure de quelques lignes de champ. Pour cela relire le paragraphe 1.1 "Théorie".
3. Voyons comment sont les lignes de champ à l'intérieur du condensateur : soient  $x_1$  et  $x_2$  deux points de la même ligne de champ,  $x_1$  au potentiel  $V_1$  et  $x_2$  au potentiel  $V_2$ . Calculer la norme de  $\vec{E}$  grâce à la formule suivante :

$$E = \left| \frac{\Delta V}{\Delta X} \right| = \left| \frac{V_2 - V_1}{x_2 - x_1} \right| \quad (1)$$

et ce pour différents couples de points  $x_1$  et  $x_2$ .

♠ Que peut-on dire de  $E$  à l'intérieur du condensateur ?

♠ Déterminer la valeur moyenne de sa norme.

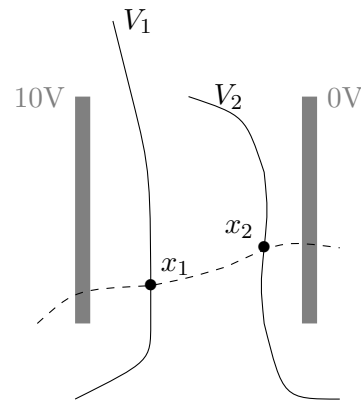


FIGURE 3 – Condensateur, lignes de champ et équipotentiels

4. ♠ Comment varie le champ à l'extérieur ?

♠ *Ne pas oublier de rendre la feuille de papier millimétré.*

### 2.2.2 Dipôle électrostatique

Le dipôle est en fait constitué de deux cylindres plats et pleins. Le système se comporte comme si les deux cylindres portaient des charges opposées.

1. ♠ Représenter sur papier millimétré ordinaire au moins 4 équipotentiels sur tout le plateau autour des électrodes.
2. ♠ Comme précédemment, dessiner quelques vecteurs  $\vec{E}$  et construire l'allure de quelques lignes de champ.
3. Le potentiel créé par 2 cylindres chargés de façons égales et de signes opposés en un point de l'espace est donné par la relation suivante :

$$V_i(M) = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 h} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{U_0}{2} \quad (2)$$

avec  $h$  la hauteur des cylindres et  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \text{ SI}$ .

♠ Choisir une équipotentielle qui a été tracée mais ne pas prendre  $V_i = 5 \text{ V}$ .

Remplir un tableau faisant apparaître  $r_1$ ,  $r_2$  et le rapport  $\frac{r_1}{r_2}$  pour 4 points de cette équipotentielle. Respecter la définition de  $r_1$  et  $r_2$  du schéma ci-contre.

Vérifier que  $\frac{r_1}{r_2} = C^{te}$ .

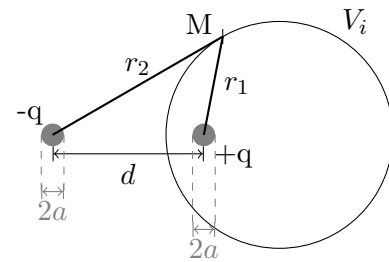


FIGURE 4 – Dipôle électrostatique et équipotentielle

4. ♠ A partir de la valeur de  $\left(\ln \frac{r_2}{r_1}\right)_{moy}$ , du  $V_i$  choisi et de la formule (??) déterminer la valeur de la charge par unité de longueur  $\frac{Q}{h}$  puis en déduire la valeur expérimentale de la capacité par unité de longueur  $\frac{C}{h}$ .

On rappelle que l'on a  $Q = C U_0$  et que  $U_0 = 10 \text{ V}$ .

5. ♠ Sachant que l'expression théorique de la capacité par unité de longueur est  $\frac{C}{h} = \frac{\pi\epsilon_0}{\ln \frac{d}{a}}$ , vérifier la cohérence entre théorie et expérience.

♠ Ne pas oublier de rendre la feuille de papier millimétrée.

### 2.2.3 Condensateur cylindrique

Attention, il faut réaliser le circuit de telle façon que le pôle + soit au centre du condensateur.

- ♠ Représenter deux équipotentielles intérieures au condensateur.
- ♠ Comme précédemment, représenter quelques champs électriques et quelques lignes de champ.
- Mesurer les valeurs de potentiels le long d'un rayon du condensateur, en fonction de  $r$ , la distance au centre des lectrices circulaires.
  - ♠ Consigner ces valeurs dans un tableau comportant  $r$ ,  $V$  et  $\ln r$ .
  - ♠ Représenter sous Régressi la fonction  $V = f(\ln r)$  et conclure.
- Sachant que  $V = -\frac{C U_0}{2\pi\epsilon_0 h} \ln r + C^{te}$  avec  $C$  la capacité du condensateur, faire une régression linéaire sous Régressi du type  $V = f(\ln r)$ .
  - ♠ Imprimer ce graphique avec la modélisation et son résultat.
  - ♠ Déduire de la pente le rapport  $\frac{C}{h}$  expérimental.
- ♠ Sachant que l'expression théorique de  $\frac{C}{h}$  est  $\frac{C}{h} = \frac{2\pi\epsilon_0}{\ln \frac{r_2}{r_1}}$ , où  $r_1$  est le rayon du petit cylindre et  $r_2$  celui de l'intérieur du grand cylindre, vérifier la cohérence entre théorie et expérience.

♠ Ne pas oublier de rendre la feuille de papier millimétrée.