

POTENTIEL ÉLECTROSTATIQUE ET CHAMP

1 But

Le but de cette expérience¹ est de mesurer les différences de potentiel électrique (ou *voltage*) dans une région entre deux conducteurs chargés. En général, un schéma formé de lignes qui représentent des régions de potentiel constant peut être utilisé pour tracer les lignes du champ électrique. En analysant le patron du potentiel électrique, vous aurez un aperçu de l'intensité du champ électrique entre les conducteurs, par la relation entre le champ électrique et le potentiel électrique. De plus, la distribution des charges sur les surfaces des conducteurs peut être déterminée.

2 Théorie

L'électrostatique étudie la relation entre le champ électrique, le potentiel électrique et la distribution de charges, dans des conditions où les charges ne bougent pas (conditions *statiques*). Le champ électrique est généré par les charges et il couvre la région qui entoure les charges.

Considérez le champ électrique entre deux charges $+Q$ et $-Q$, représenté à la Figure 1.

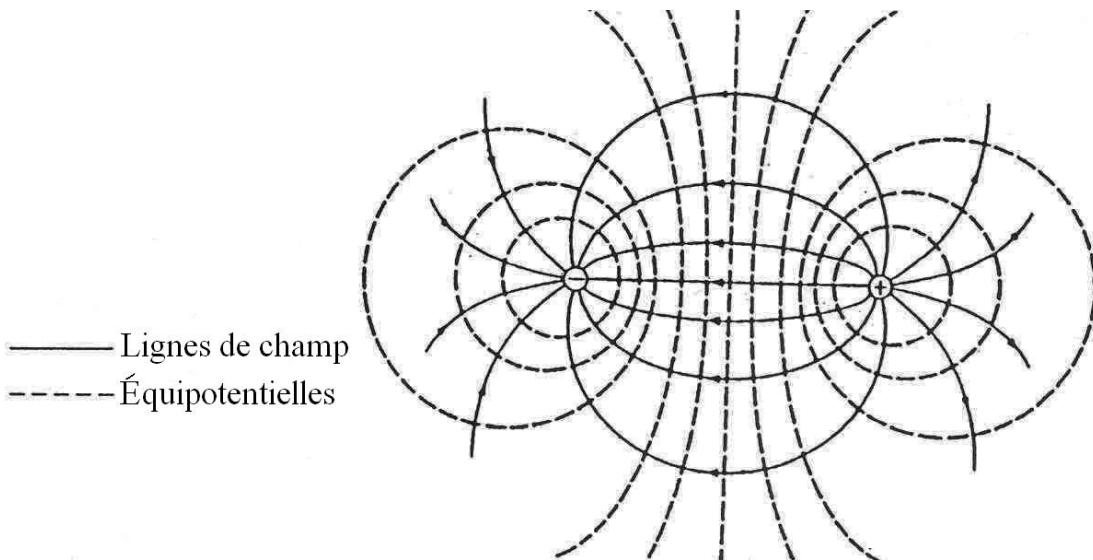


Figure 1: Champ électrique entre deux charges $+Q$ et $-Q$.

¹ Adaptation et traduction de: Experiment 14 - Electrostatic Potentials and Fields, *Physics Laboratory Manual- Phys 124/126*, Department of Physics, University of Alberta.

Le schéma montre deux types de lignes (solides et pointillées) qui sont *mutuellement perpendiculaires*. Les lignes solides avec des flèches représentent les *lignes de champ électrique*, alors que les lignes pointillées représentent les *lignes de potentiel électrique* (ou *équipotentielles*). Les lignes de champ électrique partent des charges positives et finissent aux charges négatives. Le patron décrit graphiquement la force relative du champ électrique selon la densité des lignes du champ électrique. Le champ le plus grand se trouve à l'endroit où les lignes de champ sont plus concentrées et, inversement, le champ le plus petit se trouve à l'endroit où la densité est plus petite.

Le champ électrique E est défini de sorte que si une charge test q est placée dans le champ électrique, elle subira une force électrostatique $F = qE$. Si la charge est déplacée d'une distance Δs parallèlement à la force électrostatique, une quantité de travail $W = F\Delta s = qE\Delta s$ doit être fournie. Puisque cette force est conservative, l'énergie potentielle doit diminuer de $\Delta U = -qE\Delta s$. Le potentiel électrique V est défini comme l'énergie potentielle par unité de charge $V = U/q$ et la série de points ayant le même potentiel électrique forme une surface appelée *équipotentielle*. De là, on voit que le champ électrique en un point dans l'espace est relié au potentiel électrique par

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta s} \quad (1)$$

où Δs est le petit déplacement perpendiculaire entre deux équipotentialles très proches l'une de l'autre. Le signe – dans l'équation (1) signifie que le champ \mathbf{E} pointe dans la direction où le potentiel V diminue. Comme le champ électrique pointe des charges positives vers les charges négatives, ceci implique que le potentiel diminue quand on approche les charges négatives. Remarquez finalement que tous les points à l'intérieur d'un conducteur sont au même potentiel.

3 Matériel

Appareil de champ électrique, une feuille noire de papier conducteur, papier quadrillé de même format que le papier conducteur, source de courant, voltmètre.

4 Manipulations

1. Montez l'appareil de la Figure 2.

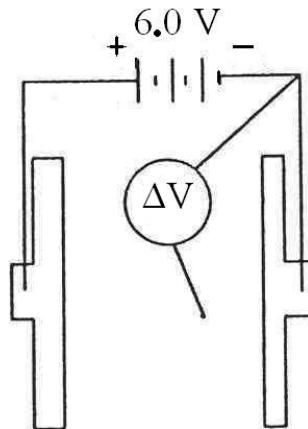


Figure 2: Montage pour le champ électrique

2. Reproduisez l'image des deux conducteurs (formes rectangulaires argentées) de l'appareil sur votre feuille blanche de papier quadrillée fournie lors de l'expérience.
3. Allumez la source de courant et ajustez le voltage à 6.0 V.
4. Une des sondes du voltmètre est fixe et l'autre est mobile. Déplacez la sonde mobile autour d'un des conducteurs, de façon à identifier les endroits où la différence de potentiel entre les deux sondes du voltmètre est égale à 0.5V. Notez ces endroits sur votre feuille blanche quadrillée à l'aide de petites croix . Identifiez assez d'endroits pour être capable de tracer l'équipotentielle de 0.5 V (à tous les deux centimètres environ).
5. Refaites l'étape 4 de façon à identifier et à tracer chacune des équipotentielles suivantes: 1.0 V, 1.5 V, 2.0 V, 2.5 V, 3.0 V, 3.5 V, 4.0 V, 4.5 V, 5.0 V et 5.5 V (celles de 0.0 V et 6.0 V sont situées à chacun des deux conducteurs).

5 Résultats et analyse

1. Sur la feuille où vous avez tracé les équipotentielles, ajoutez ensuite les lignes de champ électrique en utilisant la méthode décrite à l'Annexe. Dessinez aussi la distribution des charges (+ et -)
2. Ensuite, identifiez sur votre schéma les régions suivantes, en utilisant les abréviations:
 - champ électrique le plus fort (F),

- champ le plus faible (B),
- champ uniforme (U),
- concentration des charges positives plus grande (G_p),
- concentration des charges positives plus petite (P_p),
- concentration des charges négatives plus grande (G_n),
- concentration des charges négatives plus petite (P_n),

3. À l'endroit où le champ est le plus fort, calculez la grandeur $|E|_{\max}$ en utilisant l'équation (1) et les deux équipotentielles les plus rapprochées.

ANNEXE

Guide pour tracer les lignes de champ électrique.

Une fois que les équipotentielles ont été dessinées pour un patron de conducteurs, il reste à tracer les lignes de champ électrique. Considérez la liste des propriétés suivantes qui s'appliquent à la distribution des charges sur les conducteurs:

1. Les charges “libres” d'un conducteur reposent à la surface du conducteur.
2. Les lignes de champ électrique débutent aux charges positives et terminent aux charges négatives.
3. Les lignes de champ électrique sont perpendiculaires à chaque équipo-tentielle qu'elles interceptent, incluant la surface des conducteurs.
4. La densité (nombre de lignes de champ N par unité d'aire A) est proportionnelle à l'intensité du champ électrique: $E \propto N/A$.

En utilisant les propriétés de 1 à 3, une ligne de champ est commencée à un point de la surface du conducteur chargé positivement, et une courbe régulière est tracée de façon à être perpendiculaire à toutes les équipotentielles qu'elle intercepte, pour enfin se terminer à la surface du conducteur chargé négativement. Une fois que la première ligne de champ a été tracée sur le conducteur, la quatrième propriété est utilisée pour décider où commencer les lignes voisines de champ. Remarquez que $E = -\Delta V / \Delta s$ pour les équipotentielles voisines et que ΔV est constant entre deux lignes de contour ou équipotentielles. De plus, la séparation entre les lignes de champ Δd est proportionnelle à l'aire de la section: $A \propto \Delta d$. On en tire

$$E = -\frac{\Delta V}{\Delta s} \propto \frac{1}{\Delta s} \propto \frac{N}{A} \propto \frac{1}{\Delta d}.$$

Ainsi, la séparation Δs entre les équipotentielles est proportionnelle à l'espace entre les lignes de champ Δd et, par commodité, on peut choisir $\Delta s = \Delta d$ comme à la Figure 3.

Cette technique fonctionne le mieux pour des conducteurs relativement plats et, si possible, la première ligne devrait être tracée à partir du point symétrique du patron. Finalement, la loi de Gauss, $\epsilon_0 E = Q/A$, implique que le nombre de charges devrait être proportionnel à la densité de lignes de champ, avec plus de charges là où il y a plus de lignes de champ. Par commodité, nous pouvons choisir de débuter chaque ligne de champ à une charge positive (+) et de la finir à une charge négative (-).

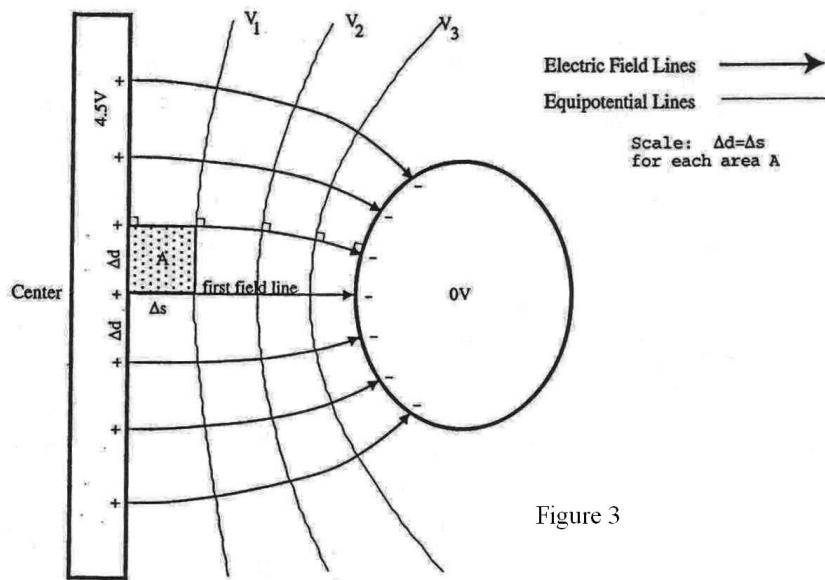


Figure 3

Remarque: Commencez à tracer votre première ligne de champ au “centre” du patron. Débutez les autres lignes de champ de manière à ce que la distance $\Delta d_n = \Delta s_n$ pour les aires respectives A_n le long du conducteur plat. Pour compléter le patron, les lignes de champ électrique sont tracées en commençant perpendiculairement au conducteur plat, ensuite en continuant perpendiculairement aux équipotentielles, et finalement en terminant au conducteur circulaire. De plus, chaque ligne de champ est associée à une charge individuelle (+) à son point de départ, et une charge individuelle négative (-) à son point d’arrivée.

Exercice: Le paratonnerre.

Complétez les étapes de la section *Résultats et analyse* pour le schéma de la Figure 4, ci-dessous. Commencez par tracer les lignes de champ électrique en suivant la méthode décrite dans l’annexe.

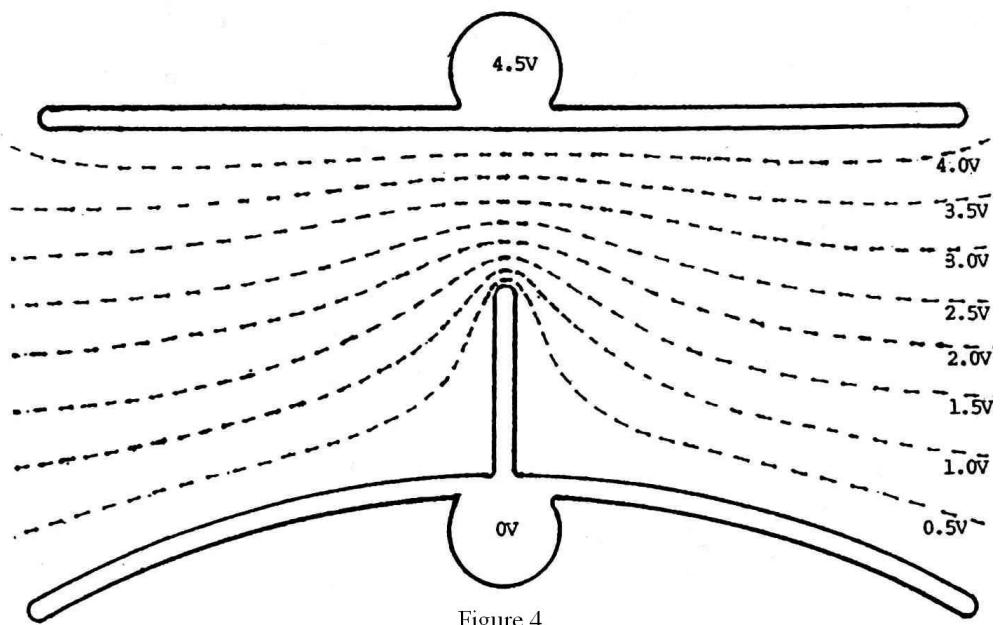


Figure 4