

# Réalisation d'une carte d'équipotentielles

## (Mesure par rhéographie)

### Objectifs :

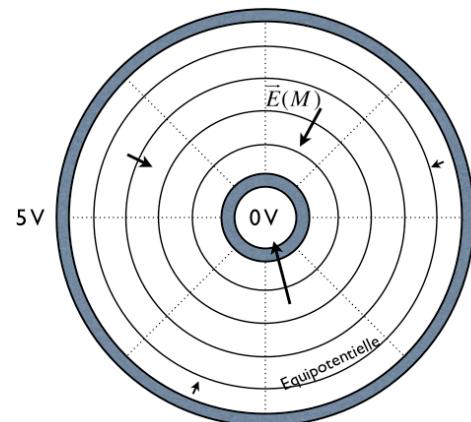
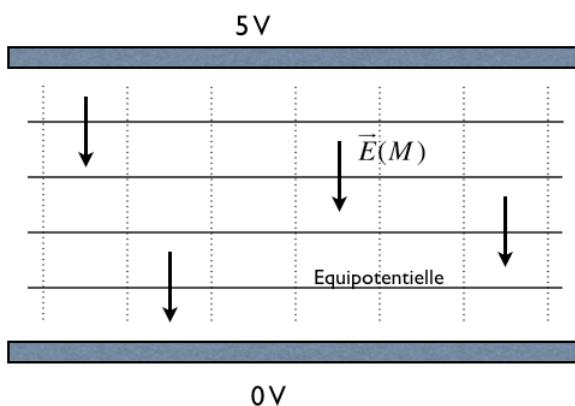
- Réaliser un dispositif de mesure par rhéographie : comprendre les problèmes techniques bien concrets se posant lors de la mesure d'un potentiel.
- Il s'agit de tracer les lignes équipotentielles du champ électrique dans différentes géométries simples et d'y mesurer l'intensité et la direction du champ électrique  $\vec{E}$ .
- Comprendre intuitivement la notion de gradient d'un champ scalaire analogue au gradient de pression, pour deux types de géométries simples.

**Pré-requis :** Notion de potentiel électrostatique.



### Présentation du TP

Nous allons réaliser un champ électrique grâce à deux électrodes auxquelles nous imposons une différence de potentiel et séparées d'une distance fixe. Le potentiel varie entre les deux électrodes et nous allons déterminer les lignes sur lesquelles sa valeur est fixée (équipotentielles). Ces variations de potentiel d'une ligne à l'autre est liée à la création d'un champ électrique en tout point que l'on veut également mesurer. Enfin la forme géométrique des électrodes détermine celle des lignes équipotentielles : nous allons ici nous intéresser à deux cas simples de géométrie, le condensateur plan (coordonnées cartésiennes) et le condensateur cylindrique (coordonnées cylindriques).



La mesure par rhéographie consiste à déduire le potentiel électrostatique par la mesure de la tension entre une électrode de référence à 0 volt et une sonde de mesure, reliées à l'oscilloscope. En collectant des points de mesure pour différentes positions de la sonde, on peut alors tracer les lignes équipotentielles, c'est à dire le lieu où le potentiel a une valeur constante.

Le passage du courant est permis grâce à un électrolyte en solution. Pour empêcher l'électrolyte de se déposer sur les électrodes, on utilisera un courant alternatif de basse fréquence (Rq : à ces fréquences les propriétés du champ électriques sont identiques à celles une situation rigoureusement statique.)

### Propriétés des lignes de champ électrique

On appelle ligne de champ, une ligne telle qu'en chacun des ses points le champ  $E$  est tangent à la ligne. On admet que ces lignes (tout comme le champ  $E$ ) croisent toujours perpendiculairement toute ligne équipotentielle.

Soit  $V$  le potentiel électrostatique. On veut vérifier la relation :  $\vec{E} = -\vec{\nabla}V$

Cette relation vectorielle est indépendante du système de coordonnées. Ainsi, on peut écrire la variation de potentiel entre deux points voisins par la relation :

$$dV = \vec{\nabla}V \cdot d\vec{l} = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

En écrivant cette relation pour des déplacements élémentaires exprimés tantôt en coordonnées cartésiennes, tantôt en coordonnées cylindriques, on établit la formule du gradient dans ces deux systèmes de coordonnées :

$$\vec{\nabla}V = \begin{vmatrix} \frac{\partial V}{\partial x} \\ \frac{\partial V}{\partial y} \\ \frac{\partial V}{\partial z} \end{vmatrix} \quad \text{En cartésien :}$$

$$\vec{\nabla}V = \begin{vmatrix} \frac{\partial V}{\partial r} \\ \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} \\ \frac{\partial V}{\partial z} \end{vmatrix} \quad \text{En cylindrique}$$

$$\vec{\nabla}V = \begin{vmatrix} \frac{\partial V}{\partial r} \\ \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial \theta} \\ \frac{1}{r \sin(\theta)} \frac{\partial V}{\partial \varphi} \end{vmatrix} \quad \text{En sphérique :}$$

ATTENTION : Le choix du système de coordonnées, fait par commodité, est arbitraire. En revanche le vecteur gradient est un objet physique qui ne saurait dépendre du choix du système de coordonnées que l'on a fait. Ces trois vecteurs sont donc trois écritures d'un même objet physique.

### Dispositif expérimental :

⌚ **Cuve rhéographique** : c'est une cuve transparente de forme carrée, remplie d'un électrolyte, 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 (condensateur plan), et une paire d'électrodes cylindriques pour avoir des lignes de champ radiales (condensateur cylindrique).

⌚ **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 équipotentielles
- Une sonde à 2 fils, pour trouver le gradient *grad V*.



## Etude du condensateur plan

### 1 - Proposer un montage pour réaliser une carte de potentiel dans l'entrefer du condensateur :

On placera dans la cuve des électrodes planes et parallèles en se calant sur le papier millimétré.  
On mesurera la distance entre les électrodes et on veillera bien à ce que cette distance ne change pas.  
=> Transcrire la position des électrodes sur une feuille de papier millimétré annexe, à la même échelle.

Faire un schéma qui rende compte, de manière détaillée, de votre montage et de votre protocole de mesure.  
Quels sont les problèmes électriques que vous avez rencontrés, quels aménagements avez-vous été conduit à faire sur le dispositif ?

Expliquer notamment votre stratégie de mesure pour faire un relevé efficace des potentiels.

### 2 - Etude d'une ligne de champ

#### Détermination de la direction du champ E :

- A l'aide de la sonde (paire d'électrode à 2 fils) mesurer la valeur de la différence de potentiel au voisinage d'un point en fonction de la direction. Pour cela on pourra tourner l'électrode et déterminer la direction de la ddp maximale.
- Montrer que le champ est toujours maximum dans la direction perpendiculaire aux équipotentielles.  
Qu'en est-t-il autour du bord des plaques ?

#### Mesure du champ E :

- Proposer un protocole de mesure du champ qui mette en jeu un tableau tel que le suivant :  
(a refaire sur votre copie en adaptant les distances à votre dispositif)

x	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
V											
E											

On utilisera pour cela la formule du gradient  $E = -\Delta V / \Delta x$ . Expliquer cette formule.

- Quelles hypothèses du modèle permettent de réduire le champ électrique à une quantité scalaire.
- Quels résultats expérimentaux attestent ou contredisent cette formule ?

- Expliquer comment remplir le tableau et le remplir

#### Analyse des résultats pour la géométrie plane :

- Comment qualifier le champ électrique dans l'entrefer ?
- Compléter votre carte de potentiel en traçant à la main l'allure des lignes de champ.



## Etude du condensateur cylindrique

### 1- Tracé des équipotentielles

On reprendra la procédure précédente en remplaçant les électrodes planes par celles circulaire. On se calera à nouveau sur le papier millimétré et on prendra une attention particulière au centrage des deux électrodes. Tracer à nouveau les équipotentielles sur la feuille de papier millimétré annexe. Prendre suffisamment de points pour chacune.

Faire un schéma qui rende compte, de manière détaillée, de votre montage et de votre protocole de mesure. Quels sont les problèmes électriques que vous avez rencontrés, quels aménagements avez-vous été conduit à faire sur le dispositif ?

Expliquer notamment votre stratégie de mesure pour faire un relevé efficace des potentiels.

### 2- Etude d'une ligne de champ

#### Détermination de la direction du champ E :

On reprendra de même la procédure précédente en remplaçant les électrodes planes par celles circulaire  
Quels changement surviennent en lien avec la nouvelle géométrie ? Faire un schéma pour l'illustrer.

#### Mesure du champ E :

- Proposer un protocole de mesure du champ qui mette en jeu un tableau tel que le suivant :  
(a refaire sur votre copie en adaptant les distances à votre dispositif)

x	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
V											
E											

On utilisera pour cela la formule du gradient  $E = -\Delta V / \Delta x$ . Expliquer cette formule. Que représente ici x ?

- Quelles hypothèses du modèle permettent de réduire le champ électrique à une quantité scalaire.

Utiliser pour cela les formules théoriques données en introduction pour le gradient en cylindrique.

En appliquant la formule du gradient  $E = -\Delta V / \Delta x$ , remplir la deuxième ligne du tableau.

#### Analyse des résultats pour la géométrie plane :

- Comment varie le champ avec la distance ? Tracer la fonction  $E(r)$  sur un graphique indépendant. Quelle est cette fonction ? Tracer la ligne de champ.
- Reprendre les mesures sur une autre ligne radiale et comparer avec les valeurs du tableau : Conclure sur l'évolution du champ électrique avec la position, tracer plusieurs lignes de champ.
- Compléter votre carte de potentiel en traçant à la main l'allure des lignes de champ.
- Comment qualifier le champ électrique dans l'entrefer cylindrique ?