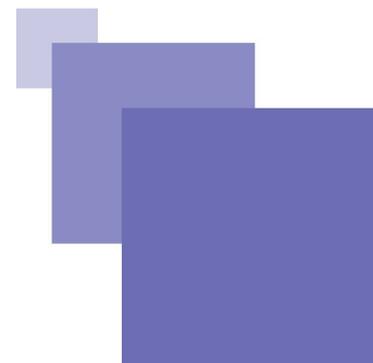


# surface équipotentielle et lignes de champ



EMAIL :

# Table des matières



<b>Objectifs</b>	<b>5</b>
<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>I - Exercice</b>	<b>9</b>
<b>II - Exercice</b>	<b>11</b>
<b>III - Exercice</b>	<b>13</b>
<b>IV - chapitre 1 : Surfaces équipotentiels et lignes de champs</b>	<b>15</b>
A. Le champ et le potentiel électrostatique.....	<b>17</b>
1. 1) Expression mathématique du champ électrique :.....	<b>17</b>
2. 2) Relation entre le champ électrique $E$ et la force électrique $F$ .....	<b>17</b>
3. 3) Expression mathématique du potentiel électrique $V$ .....	<b>19</b>
4. 4) Les lignes de champ et les surfaces équipotentiels.....	<b>19</b>
5. 5) Relation entre le champ et le potentiel électrique.....	<b>21</b>
B. Manipulation.....	<b>21</b>
1. Principe et description.....	<b>21</b>
2. manipulation.....	<b>23</b>
<b>Solution des exercices</b>	<b>25</b>
<b>Références</b>	<b>26</b>

# Objectifs

\* **Compréhension des concepts théoriques** : Les TP permettent aux étudiants de mettre en pratique les concepts abordés en cours théorique. Ils offrent une occasion de voir comment ces concepts se manifestent dans des expériences réelles.

\* **Développement des compétences expérimentales** : Les étudiants apprennent à concevoir et à réaliser des expériences, à manipuler différents types d'équipements de laboratoire, à prendre des mesures précises et à analyser les résultats obtenus.

\* **Application des méthodes scientifiques** : Les TP encouragent les étudiants à appliquer la méthode scientifique en formulant des hypothèses, en planifiant des expériences, en collectant des données, en les analysant et en tirant des conclusions basées sur des preuves expérimentales.

\* **Développement des compétences en résolution de problèmes** : Les étudiants sont confrontés à des situations où ils doivent résoudre des problèmes concrets, que ce soit en interprétant des résultats expérimentaux, en identifiant des sources d'erreur ou en corrigeant des problèmes techniques.

\* **Familiarisation avec l'équipement de laboratoire** : Les TP permettent aux étudiants de se familiariser avec divers instruments et techniques de laboratoire utilisés en physique, ce qui est essentiel pour poursuivre des études dans ce domaine ou pour travailler dans des domaines connexes.

\* **Renforcement de la pensée critique et de la capacité d'analyse** : Les TP encouragent les étudiants à réfléchir de manière critique sur les résultats obtenus, à évaluer la validité des conclusions tirées et à discuter des implications de leurs expériences.

## prérequis

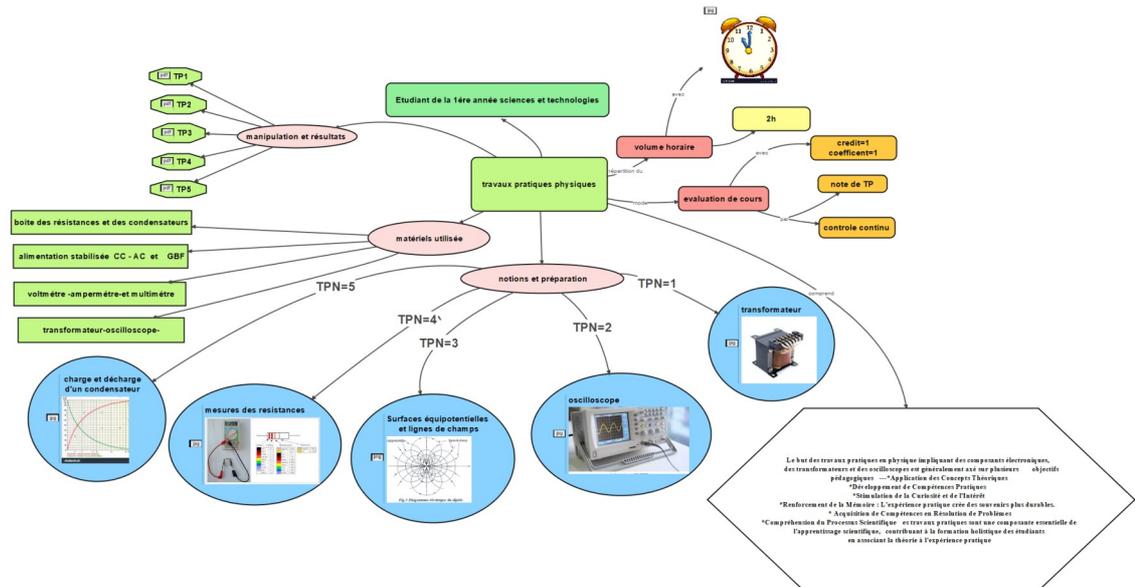
L'étudiant acquiert plusieurs compétences et concepts fondamentaux qui l'aident à comprendre le monde naturel qui l'entoure et à appliquer les théories physiques aux problèmes pratiques.

- **Concepts fondamentaux en physique** : Cela inclut les lois physiques telles que les lois du mouvement et de la dynamique, de l'électromagnétisme, de la chaleur, de l'énergie, de la lumière et du son, ainsi que la compréhension de l'application de ces lois à divers phénomènes naturels.
- **Compétences expérimentales** : Les étudiants apprennent à planifier, exécuter et analyser différentes expériences physiques, ainsi qu'à manipuler divers outils et équipements de laboratoire.
- **Pensée critique** : Les étudiants apprennent à penser de manière critique et à analyser les données expérimentales et

les résultats, ainsi qu'à évaluer la précision des mesures et à tirer des conclusions.

- **Compétences mathématiques** : Cela comprend l'utilisation des mathématiques pour résoudre des problèmes physiques, y compris l'algèbre, la géométrie analytique, le calcul différentiel et intégral.
- **Collaboration et travail d'équipe** : Les étudiants apprennent à travailler en équipe pour résoudre des problèmes physiques complexes, ce qui contribue au développement des compétences en communication et en collaboration.
- **Créativité et innovation** : L'étude de la physique appliquée encourage les étudiants à faire preuve de créativité et d'innovation pour trouver de nouvelles solutions aux problèmes physiques.

# Introduction



**Notions d'électricité** – Notions d'électricité à avoir en tête afin d'aborder sereinement le domaine de l'électromagnétisme et ses champs électriques et magnétiques.

**Concept de champs** – Les champs électrique et magnétique sont des concepts distincts qui ont été inventés pour expliquer les phénomènes d'interaction à distance de l'électricité. (...)

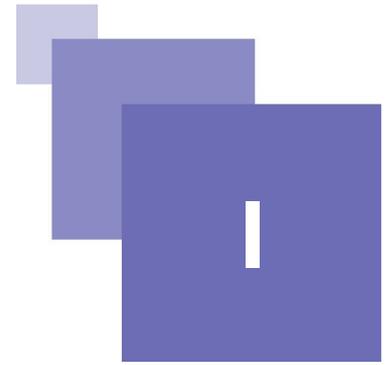
**Électromagnétisme** – L'électromagnétisme étudie les interactions à distance des charges, des courants et des champs électrique et magnétique. (...)

Utilisation des propriétés électromagnétiques – Comment fonctionnent nos appareils électriques? A partir des exemples décrits, nous aurons un aperçu général du fonctionnement d'appareils qui transforment l'énergie électrique en énergie thermique et/ou mécanique ou qui utilisent les propriétés de l'électrostatique et de l'électromagnétisme.

**Un transformateur** électrique permet de modifier l'amplitude d'un courant ou d'une tension alternative entre la source d'électricité et la « charge », c'est-à-dire l'appareil qui lui est branché et qui consomme de l'énergie électrique. Il est en général composé de deux bobines de fil de cuivre qui entourent un noyau de métal magnétique en forme de cadre ou de tore (voir l'encadré page ci-contre). Son fonctionnement exploite l'induction électrique, qui combine deux phénomènes physiques : d'une part, tout courant électrique crée un champ magnétique ; d'autre part, tout champ magnétique variable induit **un champ électrique**.

**Les lignes de champ et les équipotentielles** sont des courbes et des surfaces qui permettent de représenter la topographie du champ et du potentiel électriques d'une distribution de charges donnée. Une ligne de champ est une courbe orientée tel qu'en chaque point, le champ électrique lui est tangent.

# Exercice

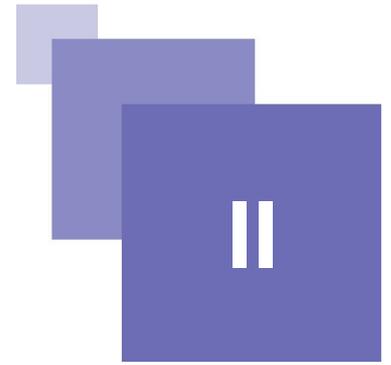


[Solution n°1 p 25]

1-Quelle est la définition d'une surface équipotentielle dans un champ électrique ?

- Une surface où le potentiel électrique est nul
- Une surface où le champ électrique est nul
- Une surface où le potentiel électrique est constant
- Une surface où le champ électrique est constant

# Exercice



[Solution n°2 p 25]

2-Comment les lignes de champ électrique sont-elles orientées par rapport aux surfaces équipotentielles ?

- Elles sont perpendiculaires

---

- Elles sont parallèles

---

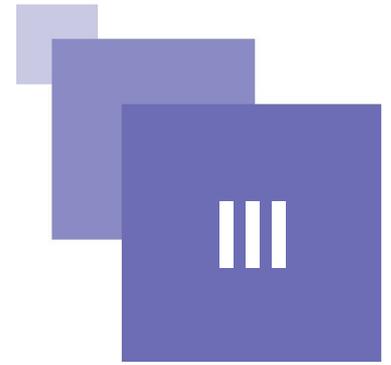
- Elles sont tangentes

---

- Elles sont orientées aléatoirement

---

# Exercice



[Solution n°3 p 25]

3-Dans un champ électrique uniforme, comment sont disposées les surfaces équipotentielles ?

- Elles sont parallèles et équidistantes
- Elles sont concentriques autour de la source de champ
- Elles sont irrégulières et aléatoires
- Elles ne sont pas présentes dans un champ électrique uniforme

# chapitre 1 : Surfaces équipotentielles et lignes de champs

IV

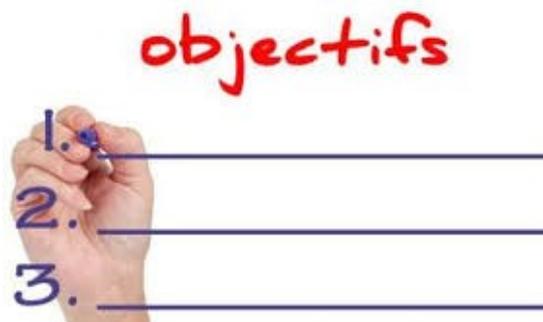
Le champ et le potentiel électrostatique

17

Manipulation

21

- Nous allons définir dans ce chapitre une grandeur scalaire intimement lié au champ électrostatique : le potentiel électrostatique. Cette grandeur permet de caractériser le champ électrostatique et est parfois plus simple à exploiter. De plus, ce potentiel sera relié, par l'intermédiaire du travail de la force de Coulomb, à l'énergie potentielle électrostatique ce qui lui donnera toute sa signification physique.
- Une surface équipotentielle est définie par l'ensemble des points où la valeur du potentiel électrique est la même. Deux surfaces équipotentielles, définies par  $V(M) = V_0$  et  $V(M) = V_0$ , ne peuvent donc pas se rencontrer. Grâce à celles-ci, on visualise encore mieux (en plus des lignes de champ) les propriétés électriques d'un système de charge



- **Comprendre les concepts de base** : L'objectif principal serait de permettre aux élèves de comprendre les concepts fondamentaux des lignes de champ électrique et des surfaces équipotentielles, y compris leur définition, leur signification physique et leur utilité dans l'analyse des

champs électriques.

- **Tracer les lignes de champ électrique** : Les élèves devraient être en mesure de tracer les lignes de champ électrique autour de différentes distributions de charges électriques, y compris les charges ponctuelles, les dipôles électriques, et les configurations plus complexes.
- **Identifier les caractéristiques des lignes de champ** : Les élèves devraient être capables d'identifier les caractéristiques des lignes de champ électrique, telles que leur direction, leur densité, et leur relation avec les charges électriques.
- **Tracer les surfaces équipotentielles** : Les élèves devraient être en mesure de tracer les surfaces équipotentielles correspondant aux mêmes configurations de charges électriques et de comprendre comment ces surfaces sont liées au potentiel électrique.
- **Analyser les relations entre lignes de champ et surfaces équipotentielles** : Les élèves devraient être capables d'analyser la relation entre les lignes de champ électrique et les surfaces équipotentielles, en comprenant comment elles se croisent ou se rejoignent dans différents contextes.
- **Appliquer les concepts à des situations pratiques** : Les élèves devraient être en mesure d'appliquer leurs connaissances des lignes de champ électrique et des surfaces équipotentielles à des situations pratiques, telles que l'analyse de circuits électriques simples ou la visualisation du champ électrique autour d'objets réels.
- **Renforcer les compétences expérimentales** : Si possible, l'objectif pourrait également inclure la réalisation d'expériences pratiques pour tracer les lignes de champ électrique et les surfaces équipotentielles, renforçant ainsi la compréhension théorique par une expérience pratique.

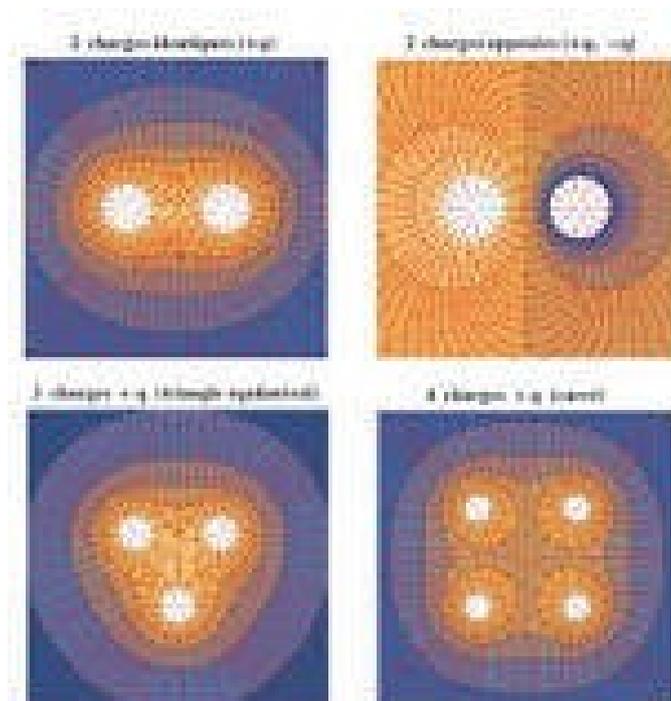


figure 1 : lignes de champ pour diffèrent distribution de charges

## A. Le champ et le potentiel électrostatique

Une charge ponctuelle  $Q$  crée en toute point dans son espace un champ  $E$  ( $M$ ) et un potentiel électrique  $V(M)$ .

### 1. 1) Expression mathématique du champ électrique :

Le champ électrique est une grandeur vectoriel définit par :

$$E(M) = \frac{K \cdot q}{r^2} \cdot \vec{u}$$

$$\|\vec{E}(M)\| = \frac{K \cdot |q|}{r^2}$$

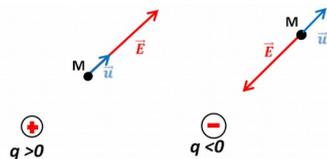


Image 1 figure 2 : Champ électrique créée par une charge ponctuelle.

Où :

$r$  : est la distance entre la charge  $q$  et le point où on veut calculer le champ électrique.

$u$  : est un vecteur unitaire sortant de la charge  $q$  qui crée le champ électrique vers

le point  $M$ . Son unité dans le système

international est (Newton. coulomb) N.C ou bien V/m (Volt/mètre).

Comme le montre la figure :

- Le champ crée par une charge positive est sortant (dans le sens de  $u$ ).
- Le champ crée par une charge négative est entrant (sens opposé à  $u$ ).

### 2. 2) Relation entre le champ électrique $E$ et la force électrique $F$

Si on place une charge électrique  $q$  au point  $M$  où le champ électrique est  $E$  ( $M$ )

Il va apparaître sur cette charge une force électrique  $F$  (voir la figure 2),

donnée par la relation suivante :

$$\vec{F} = q \cdot (\vec{E}(M))$$

$$si \begin{cases} q > 0 \Rightarrow \vec{F} \text{ et } \vec{E} \text{ ont le même sens} \\ q < 0 \Rightarrow \vec{F} \text{ et } \vec{E} \text{ de sens opposé} \end{cases}$$

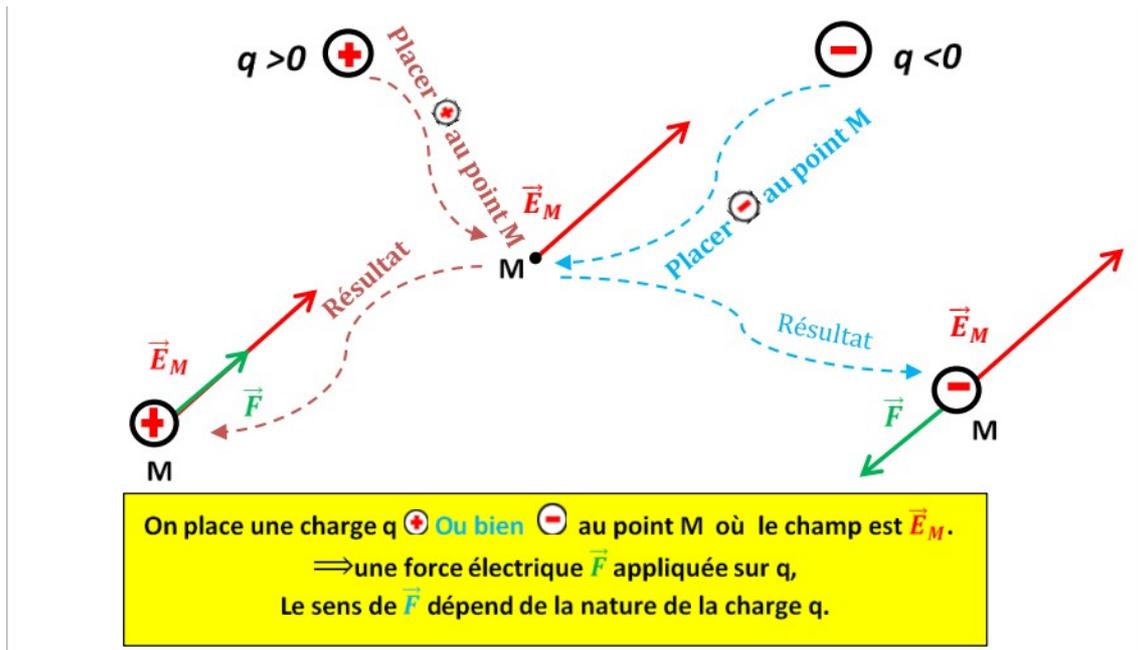


Figure 3 : Effet du champ électrique sur une charge électrique



### Remarque

Dans le cas de deux charge ponctuelle  $q_1$  et  $q_2$ , la force qui s'exerce sur la charge  $q_1$  sur  $q_2$  est donnée par la loi de Coulomb :

$$\vec{F}_{1,2} = \frac{K \cdot Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \cdot \vec{U}$$

$$\vec{F}_{1,2} = Q_2 \cdot (\vec{E}_1(\vec{r}))$$

$E_1(\vec{r})$  : Le champ électrique créé par la charge  $q_1$

## 3. 3) Expression mathématique du potentiel électrique $V$

Le potentiel électrique est une grandeur scalaire, définit par l'expression suivante :

$$V(r) = \frac{K \cdot |q|}{r}$$

$r$  : est la distance entre la charge  $q$  et le point où on veut calculer le potentiel électrique. Son unité dans le système international est le volt (V).

## 4. 4) Les lignes de champ et les surfaces équipotentielles

**Les lignes de champ** sont des lignes tangentes au vecteur de champ électrique en chacun de ses points. Sur la figure 4, on représente les lignes de champ pour différent cas. La mise en présence de deux charges, d'égale valeur, entraîne une

déformation des lignes de champ et on obtient une nouvelle topographie (figures 4). En chaque point, la ligne de champ est tangente au champ résultant.

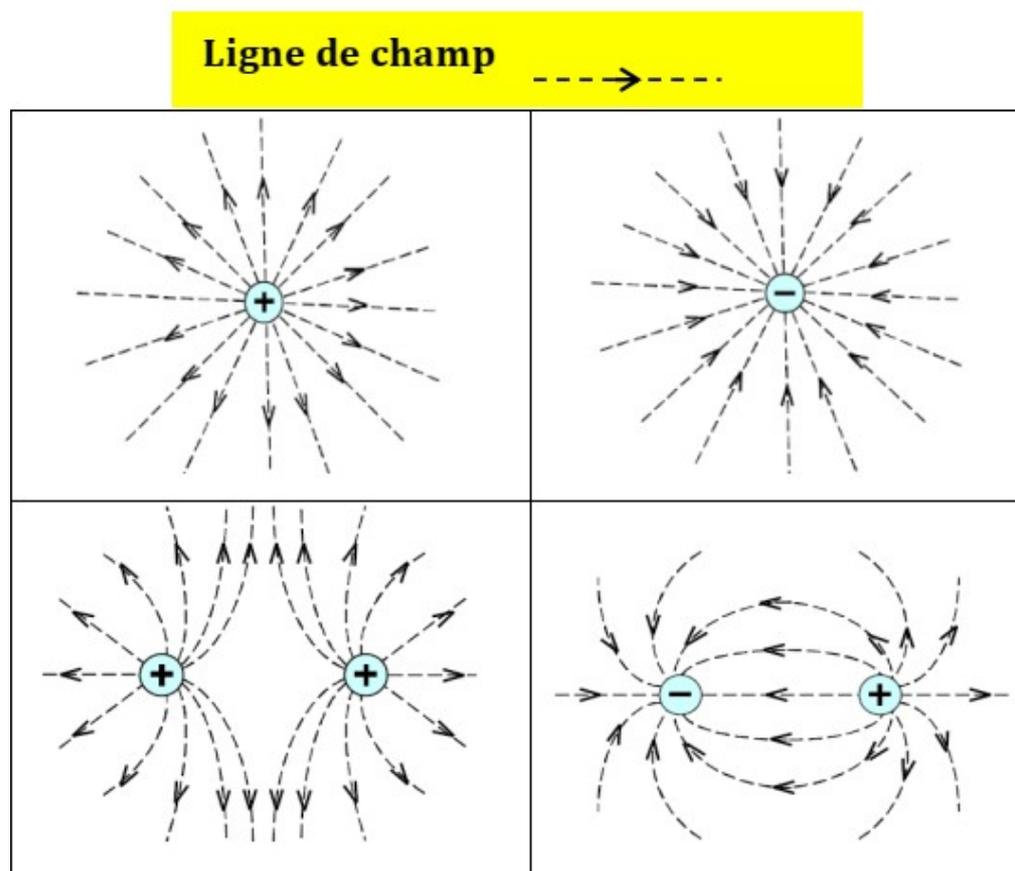


Figure 4 : lignes de champs pour diffèrent distribution de charges

**Les Surfaces équipotentiels** sont des surfaces où en tout point le potentiel est le même,  $V$  sur cette surface est constant ( $dV=0$ ).

Dans le cas d'une charge ponctuelle, les surfaces équipotentiels sont des sphères concentriques de centre  $O$  et les lignes de champ sont radiales.

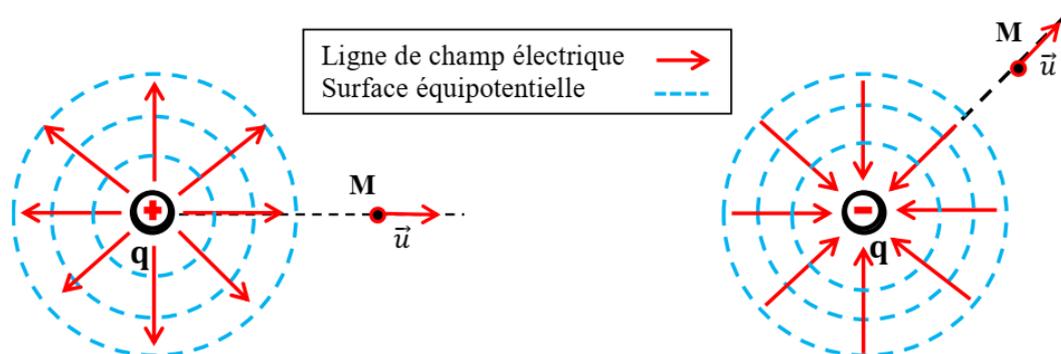


figure 5 : Les lignes du champ et les surfaces équipotentiels



### Remarque

- La ligne de champ est orientée du potentiel le plus élevé au potentiel le moins élevé, c'est-à-dire le potentiel décroît le long d'une ligne de champ.
- Le champ électrique est plus intense là où les équipotentiels sont les plus resserrés.

- Le champ électrique (ou bien ligne de champ) est perpendiculaire à l'équipotentielle  $V$

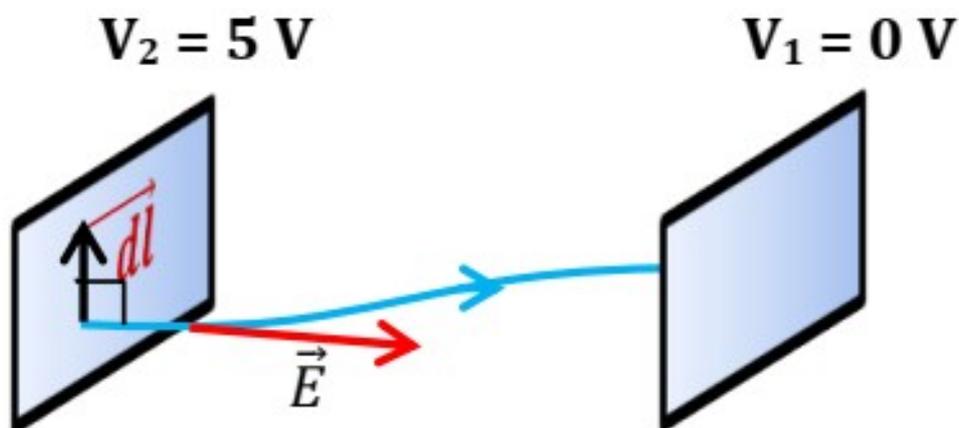


figure 6 : Les lignes du champ et les surfaces équipotentielles.

## 5. 5) Relation entre le champ et le potentiel électrique

La relation mathématique qui relie le champ électrique  $E$  et le potentiel électrique  $V$  est défini par :

$$\vec{E}(r) = -\text{grad}(V(r))$$

De cette relation :

- Si on connaît l'expression du potentiel  $V$  en tout point de l'espace, on peut déterminer le champ électrique  $E$  est ceci par dérivation de l'expression de  $V$ .
- Et inversement, si l'expression de champ électrique  $E$  est connue on peut alors calculer le potentiel électrique  $V$  par intégration de l'expression de  $E$ .

## B. Manipulation

### *But de l'expérience*

Le but de l'expérience est de pouvoir déterminer les lignes de champs et les équipotentielles.

### 1. Principe et description

Si une charge électrique  $q$  positive ou négative est au repos, elle crée autour d'elle un champ électrique défini par la loi de coulomb.

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 r^2} \vec{u}_r$$

$\epsilon_0$  est la permittivité du vide.

$r$  : est la distance entre la charge et le lieu où on évalue le champ.



Potentiel $V$										
$P_1(x_1,y_1)$										
$P_2(x_2,y_2)$										
$P_3(x_3,y_3)$										
$P_4(x_4,y_4)$										
$P_5(x_5,y_5)$										

1. Compléter le tableau ci-dessus.
2. Joignez les points de même potentiel .
3. Que représentent ces courbes ? Quelle allure elles ont ?  
.....
4. Prendre les points du milieu pour lesquels la composante  $y$  est nulle. Tracer la courbe  $V=F(x)$  .
5. À partir du graphe, calculer le champ électrique qui règne à l'intérieur.  $E=....V/Cm$

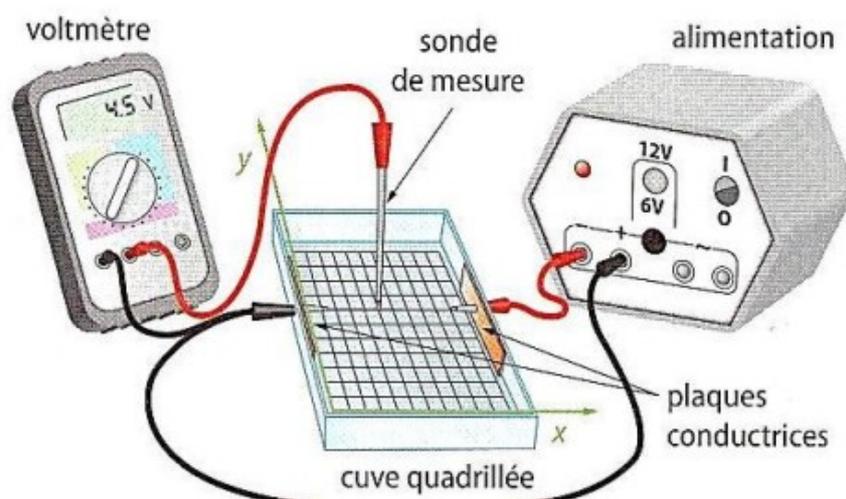


figure 7 : figure de montage

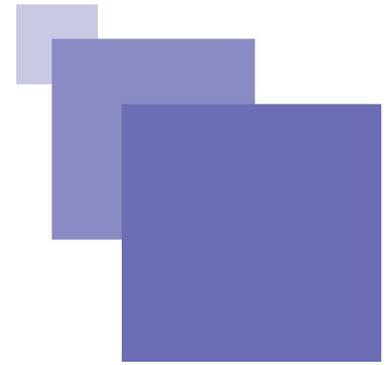
Cf. "video 1 lignes de champ et surfaces equipotentielles (web)"  
video 1 lignes de champ et surfaces equipotentielles

\* \*  
\*

Pour conclure, l'étude des surfaces équipotentielles en physique est cruciale pour comprendre la distribution des champs électriques ou gravitationnels. En résumé, les principales conclusions que l'on peut tirer de ce travail pratique sont : 1. Les surfaces équipotentielles sont des surfaces où le potentiel électrique ou gravitationnel est constant en tout point. 2. Le champ électrique ou gravitationnel est perpendiculaire aux surfaces équipotentielles en tout point. 3. Les lignes de

champs électrique ou gravitationnel sont perpendiculaires aux surfaces équipotentiels. 4. La densité de lignes de champ est proportionnelle à la pente des surfaces équipotentiels : plus la pente est raide, plus la densité de lignes de champ est élevée. 5. Les surfaces équipotentiels peuvent être représentées graphiquement pour visualiser la distribution spatiale du champ étudié. En comprenant ces concepts, on peut mieux interpréter les phénomènes électriques et gravitationnels dans diverses situations et applications pratiques.

# Solution des exercices



## > Solution n°1 (exercice p. 9)

- Une surface où le potentiel électrique est nul
- Une surface où le champ électrique est nul
- Une surface où le potentiel électrique est constant
- Une surface où le champ électrique est constant

## > Solution n°2 (exercice p. 11)

- Elles sont perpendiculaires
- Elles sont parallèles
- Elles sont tangentes
- Elles sont orientées aléatoirement

## > Solution n°3 (exercice p. 13)

- Elles sont parallèles et équidistantes
- Elles sont concentriques autour de la source de champ
- Elles sont irrégulières et aléatoires
- Elles ne sont pas présentes dans un champ électrique uniforme



# Références

- [1] • "Électromagnétisme PCSI" - P.Krempf - Editions Bréal 2003 ;
- [10] • P. Christophe « Etude des huiles et des mélanges à base d'huile minérale pour transformateurs de puissance recherche d'un mélange optimal » thèse doctorat 2005
- [11] • Formation en matière d'interprétation des essais de diagnostic des transformateurs, RED ELECTRA Internacional, Octobre 2007.
- [2] • "Physique Cours compagne PCSI" - T.Cousin / H.Perodeau - Editions Dunod 2009 ;
- [3] • "Électromagnétisme 1ère année MPSI-PCSI-PTSI" - JM.Brébec - Editions Hachette ;
- [4] • "Cours de physique, électromagnétisme, 1.Électrostatique et magnétostatique" - D.Cordier Éditions Dunod ;
- [5] • [http://perso.ensc-rennes.fr/jimmy.roussel/index.php?page=accueil\\_apprendre](http://perso.ensc-rennes.fr/jimmy.roussel/index.php?page=accueil_apprendre)<sup>1</sup>
- [6] • Politique de maintenance des transformateurs de puissance SONELGAZ GRTE
- [7] • IEEE STD C57.104-1991: Guide for the Interpretation of Gases Generated in Oil Immersed Transformers
- [8] • CEI 60076-3 Transformateurs de puissance – niveau d'isolement, essais diélectriques Et distances d'isolement dans l'air

1 - [http://perso.ensc-rennes.fr/jimmy.roussel/index.php?page=accueil\\_apprendre](http://perso.ensc-rennes.fr/jimmy.roussel/index.php?page=accueil_apprendre)

[9]

- CEI 60296 Fluides pour applications électrotechniques – Huiles minérales isolantes neuves pour transformateurs et appareillages de connexion

