



**UNIVERSITE ABDELMALEK ESSAADI  
ECOLE NATIONALE DES SCIENCES APPLIQUÉES  
AL HOCEIMA**



## **Cours de l'Electrocinétique**

**Présenté par:  
HADDAD ABDERRAHIM**

[Haddad.a@ucd.ac.ma](mailto:Haddad.a@ucd.ac.ma)

# Programme du cours Electrocinétiq

## Introduction

### Chapitre 1: Généralités – Loi d'Ohm

- I- Courant électrique
- II- Vecteur densité de courant
- III- Intensité du courant électrique
- IV- Potentiel et tension
- V- Lois d'Ohm
  - VI- Loi d'Ohm microscopique
  - IV.2- Loi d'Ohm macroscopique

### Chapitre 2: Théorèmes généraux de l'électrocinétique- Régime continu

- I- Éléments d'un circuit électrique
  - I.1- Circuit électrique
  - I.2- Dipôle électrique
  - I.3- Générateur et récepteur
- II- Etude des circuits électriques
  - II.1- Définition
  - II.2- Lois de Kirchhoff

# Programme du cours Electrocinétique

## III- Méthodes d'analyse des circuits électriques

III.1-Diviseur de tension

III.2-Diviseur de courant

III.3- Loi de pouillet

III.4-Méthode de superposition

III.5-Théorème de Thévenin

III.6-Théorème de Norton

III.7-Conversion Thévenin-Norton

III.8-Théorème de Millman

III.9-Théorème de Kennelly

## Chapitre 3: Étude des régimes transitoires des circuits

### I. Condensateur

I.1-Relation tension-intensité

I.2-Comportement du condensateur sous différents régimes

I.3-Énergie emmagasinée par le condensateur

I.4-Association de condensateur

## II. Bobine

II.1-Constitution et symbole

II.2-Relation tension-intensité

II.3-Comportement de la bobine sous différents régimes

II.4- Énergie emmagasinée par la bobine

## Chapitre 4: Régimes sinusoïdaux forcés

I- Notation complexe en électrocinétique

II-Circuit R,L,C série en régime sinusoïdal forcé

III- Construction de Fresnel

IV-Aspect énergétique

# Introduction

L'électrocinétique est l'étude du mouvement d'ensemble des porteurs de charge dans un circuit que l'on appelle courant électrique. Les charges se déplacent sous l'effet d'un champ électrique extérieur.



**André-Marie Ampère** (1775– 1836): est un mathématicien et physicien français. Son nom a été donné à l'unité internationale de l'intensité du courant électrique : **l'ampère**.



**Georg Ohm** (1789 - 1854): physicien allemand. Il a découvert en 1827 les **lois fondamentales des courants électriques** et introduit les notions de **quantité d'électricité** et de **différence de potentiel**.



**James Prescott Joule** (1818 -1889): physicien britannique. Il a également énoncé une relation entre le courant électrique traversant une résistance et la chaleur dissipée par celle-ci, appelée au XXème siècle la **loi de Joule** (1860).



**Alessandro Volta** (1745-1827): physicien italien. Il a inventé la pile électrique en 1800. L'unité de tension ou potentiel électrique porte son nom: **volt**

# Introduction



*James Watt* (1736 - 1819): est un ingénieur écossais dont les améliorations sur la **machine à vapeur** furent une étape clé dans la révolution industrielle.



*Gustav Robert Kirchhoff* (1824 - 1887): Physicien allemand. Il a établi en 1845 deux lois qui fondent tous les calculs sur les **circuits électriques**.



Le **théorème de Thévenin** a été initialement découvert par le scientifique allemand *Hermann von Helmholtz* en 1853, puis publié en 1883 par l'ingénieur télégraphe français *Léon Charles Thévenin*.



Le **théorème de Norton** a été publié en 1926 par l'ingénieur américain en électricité des laboratoires Bell, *Edward Lawry Norton* (1898-1983).

## Généralités – Loi d'Ohm

# I. Courant électrique

## ➤ Définition:

Courant électrique  $I$  = déplacement de charges, dans un milieu quelconque, sous l'action d'un champ électrique

$I=f(t)$  : le courant est dit **temporaire**

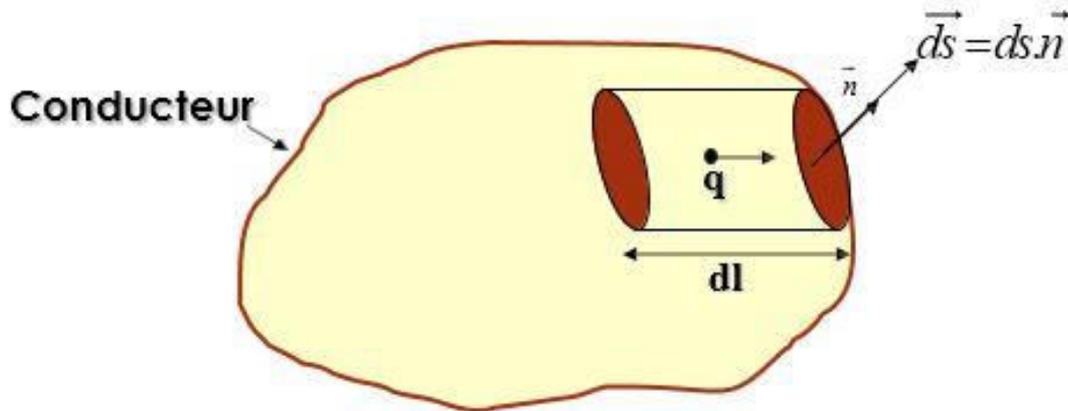
$I=cte$  : le courant est dit **permanant**

## ➤ Sens du courant:

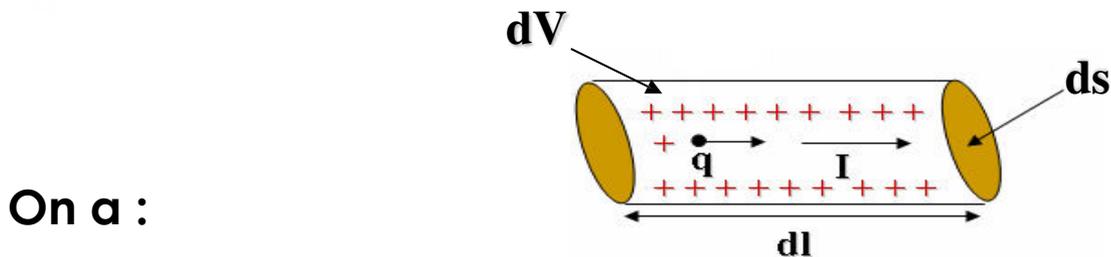
Par convention , le sens du courant électrique est celui de déplacement des charges positives.

# II. Vecteur densité de courant

Soit : un volume (V) d'un conducteur de surface (S) traversé par un courant électrique I



La quantité de charge dQ qui traverse dS , pendant dt, est contenue dans le cylindre de base dS de longueur dl



On a :

Le volume dV du cylindre est :

$$dV = \vec{dS} \cdot \vec{dl}$$

## II. Vecteur densité de courant

La charge mobile à l'intérieur du volume  $dV$  est :

$$dQ = \rho_m \cdot dV = \rho_m \cdot \vec{dl} \cdot \vec{ds} = \rho_m \cdot (\vec{v} \cdot dt) \cdot \vec{ds} = (\rho_m \cdot \vec{v}) \cdot dt \cdot \vec{ds}$$

$\rho_m$  : densité volumique des charges mobiles

On pose :

$$\vec{j} = \rho_m \cdot \vec{v}$$



$$dQ = \vec{j} \cdot \vec{ds} \cdot dt$$

# II. Vecteur densité de courant

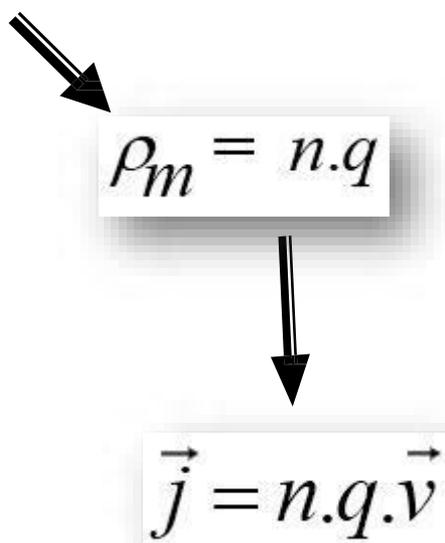
$$\vec{j} = \rho_m \cdot \vec{v}$$

→ Vecteur densité de courant

Soient :

$q$ : charge élémentaire

$n$ : nombre de charge élémentaire par unité de volume


$$\rho_m = n \cdot q$$

$$\vec{j} = n \cdot q \cdot \vec{v}$$

Unité (S.I) : (A/m<sup>2</sup>)

# III. Intensité du courant électrique

On a :

$$dQ = \vec{j} \cdot \vec{ds} \cdot dt$$



$$dI = \frac{dQ}{dt} = \vec{j} \cdot \vec{ds}$$



$$I = \iint_S \vec{j} \cdot \vec{ds}$$

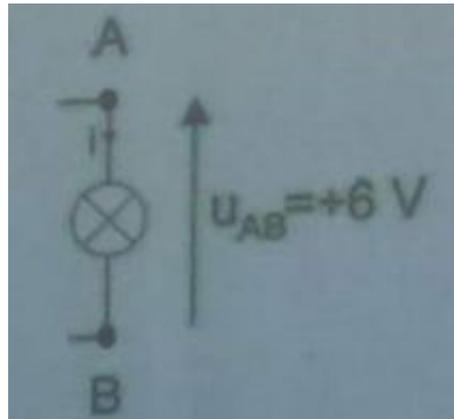
L'intensité du courant à travers une surface  $S$  = flux de  $j$  à travers cette surface

L'unité dans le S.I., elle s'exprime en ampère (A) :

$$1A = 1c / 1s.$$

# IV. Différence de potentiel-tension électrique

- le passage du courant électrique, entre deux points d'un circuit électrique n'est possible que si on applique une tension électrique



- on note  $V_A$  et  $V_B$  les potentiels des points A et B par rapport à la masse (0V)
- $U_{AB} = V_A - V_B$  correspond à la différence de potentiel ou la tension électrique qui apparait entre les points A et B

# V. Loi d'Ohm

**V.1. Loi d'Ohm microscopique**

**V.2. Loi d'Ohm macroscopique**

# V.1. Loi d'Ohm microscopique

## ➤ Conductivité électrique

variation de  $E$  (t)



Faible ou nulle

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}$$

coefficient de proportionnalité



*conductivité du milieu*

La conductivité est une grandeur locale positive, dépendant uniquement des propriétés du matériau.

# V.1. Loi d'Ohm microscopique

## ➤ Conductivité électrique:

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}$$

- Une telle loi implique que les lignes de champ électrostatique sont également des lignes de courant, indiquant donc le chemin pris par les charges électriques.

- comme  $\gamma$  est positif



le courant s'écoule dans la direction des potentiels décroissants.

$$\vec{j} = \gamma \vec{E} ??$$

# V.1. Loi d'Ohm microscopique

Prenons le cas simple d'une charge électrique  $q$  soumise à la force de Coulomb mais aussi à des collisions.

Collisions peuvent se décrire  Force de frottement

La loi fondamentale de la dynamique s'écrit:

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = q \vec{E} - \frac{m}{\tau} \vec{v}$$

dont la solution en régime permanent :

$$\vec{v} = \frac{q\tau}{m} \vec{E}$$

# V.1. Loi d'Ohm microscopique

$$\vec{v} = \frac{q\tau}{m} \cdot \vec{E}$$

$\tau$  : appelé temps de relaxation.

On définit le libre parcours moyen de la charge  $q$  comme étant la distance parcourue entre deux collisions, telle que :

$$l = v\tau = \frac{q\tau^2}{m} \cdot E$$

# V.1. Loi d'Ohm microscopique

On en déduit :

$$\vec{j} = \rho \vec{v} = \frac{nq^2\tau}{m} \vec{E}$$

Avec:

$$\vec{v} = \frac{q\tau}{m} \vec{E}$$

$$\rho = nq$$

où  $n$  est le nombre de charges par unité de volume.

La relation cherchée s'écrit :

$$\vec{j} = \gamma \vec{E}$$

Avec:

$$\gamma = \frac{nq^2\tau}{m}$$

$\gamma$ : conductivité du conducteur

$\gamma$

# V.1. Loi d'Ohm microscopique

➤ La mobilité des porteurs :

$$\vec{v} = \frac{q\tau}{m} \cdot \vec{E}$$

La mobilité  $\mu$  est définie par la relation :

$$\vec{v} = \mu \vec{E}$$

et comme :

$$\gamma = \frac{nq^2\tau}{m}$$

On a :

$$\mu = \frac{q\tau}{m} = \frac{\gamma}{nq} \quad \Rightarrow \quad \gamma = nq\mu$$

La mobilité est une grandeur algébrique, qui a le même signe que la charge  $q$ . Elle s'exprime en  $\text{m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ .

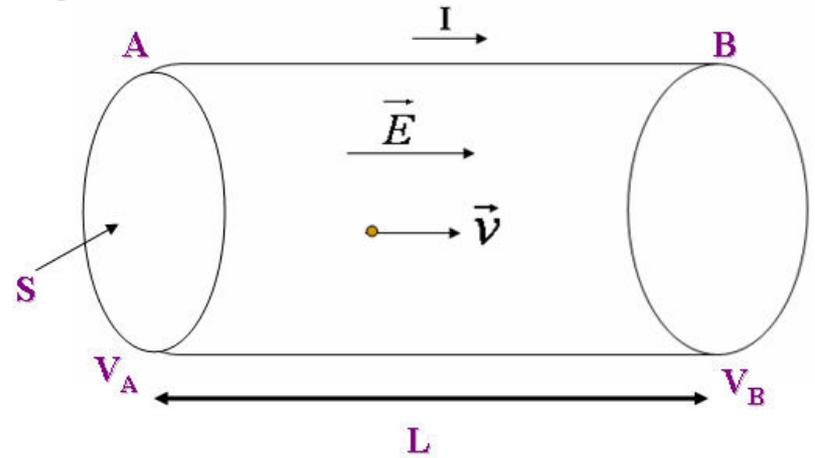
# V.1. Loi d'Ohm macroscopique

## ➤ Résistance électrique:

Soit un conducteur AB, de section  $S$ , de longueur  $L$

AB est parcouru par le courant  $I = \text{cte}$

Le champ  $E$  est constant sur AB



$$C = V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l} = E \cdot L$$

Or :

$$I = \iint_S \vec{j} \cdot d\vec{s} = j \cdot S = j \cdot S \quad \rightarrow \quad j = \frac{I}{S}$$

$$j = \gamma E \quad \rightarrow \quad E = \frac{j}{\gamma} = \frac{I}{\gamma \cdot S}$$

# V.1. Loi d'Ohm macroscopique

Ce qui entraîne :

$$V_A - V_B = E.L = \frac{I.L}{\gamma.S}$$

En introduisant la résistance R du conducteur donnée par :

$$R = \frac{L}{\gamma.S} = \rho \cdot \frac{L}{S}$$

Résistivité du matériau

$$V_A - V_B = I.R$$

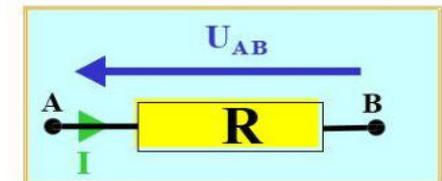
Loi d'ohm

Résistance de l'élément de longueur **L** et de section **S**

Représentation dans un circuit



Ou

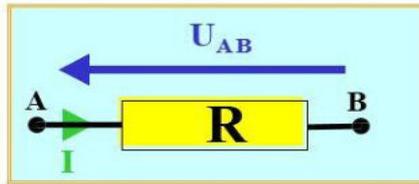


# V.2. Loi d'Ohm macroscopique

## ➤ Conventions de signes:

Si l'on adopte la **convention récepteur**, les flèches représentant la **tension** et le **courant** sont de **sens opposés**.

La loi d'Ohm s'écrit :



$$U_{AB} = R I$$

$$U_{AB} \text{ en V}$$
$$I \text{ en A}$$
$$R \text{ en } \Omega \text{ (ohms)}$$

$R$  est une grandeur positive, caractérisant le résistor linéaire ;  
c'est la **résistance** électrique du dipôle,

# V.2- Loi d'Ohm macroscopique

**Rq** : La loi d'Ohm peut s'écrire aussi :

$$I = G U_{A B}$$

En posant

$$G = \frac{1}{R}$$

**G** est la **conductance** du résistor

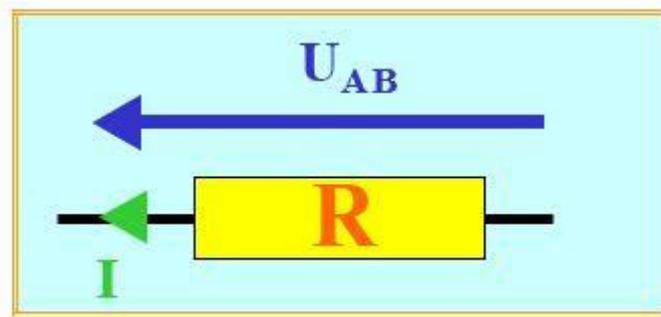
**G** s'exprime en siemens ( **S** )

**R** s'exprime en ohms ( **Ω** )

# V.2-Loi d'Ohm macroscopique

Attention !

Si les flèches représentant le courant et la tension électrique sont dans le même sens (**convention générateur**), on a :



$$U_{AB} = -R I$$

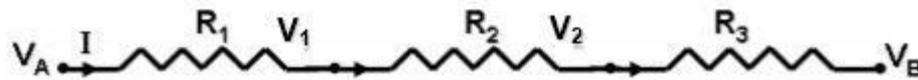


$$I = -G U_{AB}$$

# V.2-Loi d'Ohm macroscopique

## ➤ Association de résistances:

### ➤ Résistances en série:



$$V = V_A - V_B = (V_A - V_1) + (V_1 - V_2) + (V_2 - V_B)$$



$$V = R_1 I + R_2 I + R_3 I = (R_1 + R_2 + R_3) I = R_{eq} \cdot I$$



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

# V.2- Loi d'Ohm macroscopique

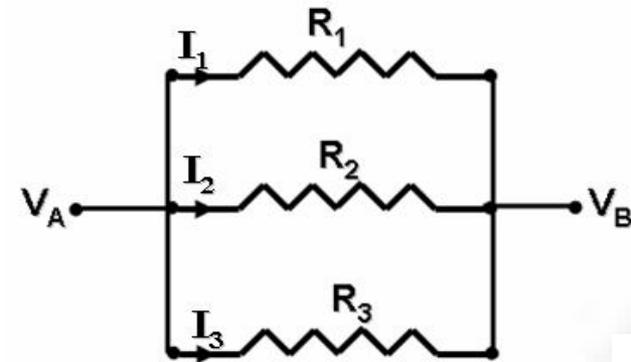
En général:

$$\left\{ \begin{array}{l} V = \sum_{i=1}^{i=n} V_i \\ R_{eq} = \sum_{i=1}^{i=n} R_i \end{array} \right.$$

**I est le même pour toutes les résistances**

# V.2-Loi d'Ohm macroscopique

## ➤ Résistance en parallèle:



$$\begin{cases} V = V_A - V_B \\ I = I_1 + I_2 + I_3 \end{cases}$$



$$I = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} = V \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = V \cdot \frac{1}{R_{eq}}$$



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

En général:



$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{R_k}$$