Université Aboubekr BELKAID, Tlemcen
Faculté des sciences
Département d'informatique

Cours Physique (2) : Electricité Générale

Chapitre III : Electrocinétique

Pour les étudiants de 1ère année LMD Informatique

Par : Dr. BENHABIB Loubna

Année universitaire : 2023/2024

Contenu du chapitre 3

1. Introduction

Électrocinétique est un domaine de la physique pour étudier les éléments chargés qui circule dans un conducteur pour avoir un courant électrique.

Les charges étudiées en électrostatique sont des charges immobiles. Qu'elles soient liées à l'atome ou qu'elles soient « libres », l'équilibre électrostatique implique qu'elles restent fixes. Pour étudier les charges mobiles, on doit introduire un autre champ, le champ magnétique et aussi une densité de courant rendant compte du déplacement des charges.

Relier cette densité de courant en un point d'un conducteur, au champ électrique en ce point, constitue le but de l'électrocinétique.

2. Courant électrique

2.1. Définition

Un courant électrique est la grandeur algébrique correspondant à la circulation de porteurs de charges mobiles électriques dans un conducteur.

Par convention, le sens réel du courant est le sens de déplacement des charges + . Dans un conducteur métallique le courant électrique correspond à un déplacement d'électrons. Le déplacement des charges (électrons) est donc de sens opposé à celui du courant.

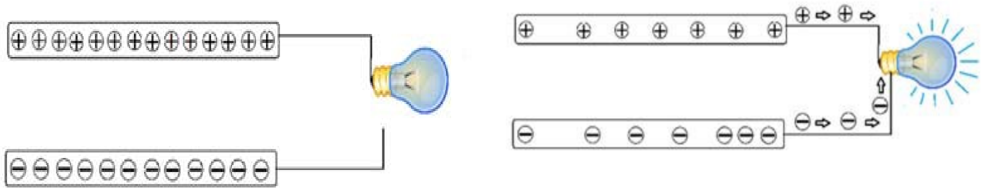

Figure 3.1 Déplacement des charges pour production d'un courant électrique

2.2. Intensité de courant

L'intensité *I* du courant électrique est, par définition, la quantité d'électricité *dQ* qui traverse la section *S* pendant un intervalle de temps *dt.*

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

L'intensité est exprimée en ampères (A) et mesurée avec un Ampère mètre branché en série dans le circuit.
Si l'intensité reste constante au cours du temps, le courant électrique est continu.

2.3. Vecteur densité de courant

Sous l'action d'un champ électrique $\vec{E}$, chaque électron acquiert une vitesse. En désignant par $\vec{v}$, la *vitesse moyenne* de l'ensemble des électrons, et ρ la densité volumique de charges. On définit le vecteur densité de courant qui est exprimé en (A/m²) par :

$$\vec{j} = \rho\vec{v}$$

Puisque $\rho = -n\,e$, avec n présente le nombre de charges mobiles (électrons) par unité de volume et e est la valeur absolue de la charge d'électron, le vecteur densité devient :

$$\vec{j} = -ne\vec{v}$$

Cependant, le courant qui traverse une surface quelconque est égal au flux de la densité de courant.

$$I = \iint \vec{j}.\overrightarrow{dS}$$

2.4. Conductivité et résistivité

Soit un conducteur ohmique qui est sous forme cylindrique de section S et de longueur l présentant des charges libres assurant la conduction. Par application de différence du potentiel entre les bornes du conducteur, il y aura un mouvement des porteurs des charges.

La densité de courant est reliée avec le champ électrique par l'expression suivante

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

Où : σ est appelée conductivité du matériau, exprimée en siemens par mètre (S/m) et peut être définit comme :

$$\sigma = \frac{n\,e^2\,\tau}{m}$$

Avec : n est le nombre de charges par unité de volume ; τ temps moyen séparant deux chocs successifs ; m est la masse de la charge

De façon usuelle, la résistivité est la plus utilisée et qui est définie comme étant l'inverse de la conductivité :

$$\rho = \frac{1}{\sigma}$$

Dans le S.I, la résistivité se mesure en ohm. mètre (Ω.m)

3. Loi d'Ohm

3.1. A l'échelle macroscopique

Considérons une portion AB d'un conducteur parcouru par un courant I. S'il existe un courant, cela signifie qu'il y a une chute de potentiel entre A et B.

$$U = V_A - V_B = \int_A^B \vec{E}.\overrightarrow{dl} = E.\,l$$

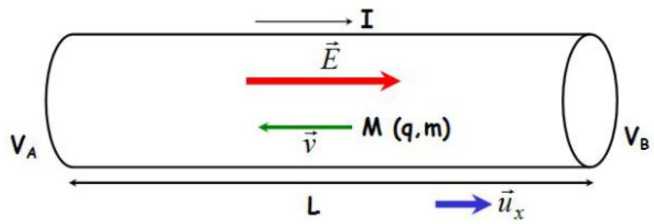

Figure 3.2 Calcul de la différence de potentiel dans un fil parcouru par un courant

En utilisant l'expression qui relie la densité de courant et le champ électrique par la résistivité, le module de la densité devient :

$$j = \frac{1}{\rho} E = \frac{1}{\rho}\frac{U}{l}$$

Sachant que la densité de courant présente l'intensité de courant par unité de surface , cette dernière expression devient :

$$j = \frac{1}{\rho}\frac{U}{l} = \frac{I}{S}$$

D'où :

$$\frac{U}{I} = \frac{\rho . l}{S} = R$$

Avec : R est la résistance mesurée en ohm (Ω.)

Cependant, la loi d'Ohm est le rapport entre la différence de potentiel entre deux point d'un conducteur et le courant qui le traverse.

$$R = \frac{U}{I}$$

Par ailleurs, la relation entre la résistance et la résistivité est :

$$R = \frac{\rho . l}{S}$$

Remarque

La forme locale de la loi d'Ohm est : $\vec{j} = \sigma\vec{E}$

3.2. Association des résistances

Résistances en série

Soient n résistances R_i mises bout à bout dans un circuit et parcourues par un courant *I*.

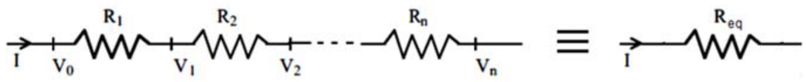

Figure 3.3 Résistances en série

La tension aux bornes de la chaîne est simplement :

$$U = (V_0 - V_1) + (V_1 - V_2) + \cdots + (V_{n-1} - V_n)$$

$$U = R_1 I + R_2 I + \cdots + R_2 I$$

Par analogie, la résistance équivalente est la somme des résistances.

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^{n} R_i$$

Résistances en parallèle

Soient n résistances R_i mises en parallèle sous une tension U et alimentées par un courant I.

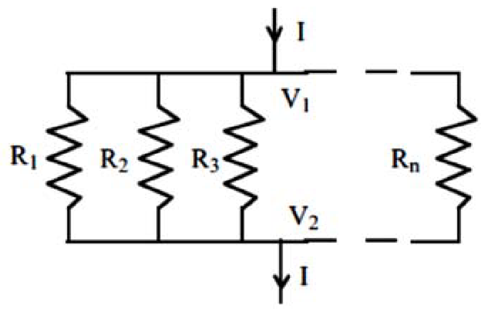

Figure 3.4 Résistances en parallèle

Le courant se sépare en n courants tel que :

$$I = \sum_{i=1}^{n} I_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{U}{R_i} = \frac{U}{R}$$

D'où la résistance équivalente

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i}$$

3.3. Effet Joule

La circulation d'un courant I à travers un conducteur électrique, entraîne une perte d'énergie qui se traduit par un échauffement appelée effet Joule.

La détermination de la puissance absorbée peut se calculer en fonction de l'intensité du courant et de la tension. Et qui se mesure en watts(W).

$$P = U.I$$

Sachant que $U = R.I$

La puissance devient :

$$P = R.I^2 = \frac{U^2}{R}$$

L'énergie dissipée pendant le passage du courant est déterminée au moyen de la relation :

$$W = P.t$$

Où : W est l'énergie perdue ou gagnée par un dispositif mesurée en watts-secondes (W.s) ou en Joule (J), et t présente le temps (s)

Hors, la loi de Joule peut se déterminée comme :

$$W = R.I^2.t$$

4. Loi de Kirchhoff

4.1. Analyse d'un réseau électrique

Le circuit électrique peut contenir un certain nombre d'appareils aux propriétés différentes :

Générateurs : batteries, générateurs de tension, piles.
Récepteurs : résistances, bobines, condensateurs. . .
Appareils de mesure : voltmètres, ampèremètres. . .
Appareils de sécurité : disjoncteurs, fusibles. . .
Appareils de manœuvre : inverseurs. . .

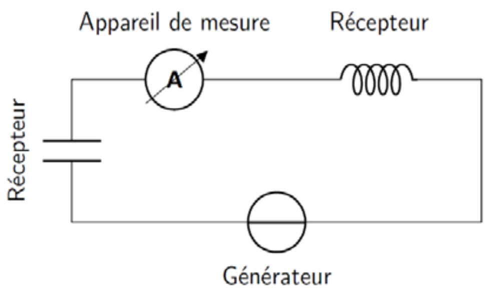

Figure 3.5 Circuit électrique

Un réseau électrique est constitué d'un ensemble de dipôles linéaires ; ceux-ci sont reliés par des fils de résistance négligeable. Le réseau est formé de branches, reliées entre elles par des nœuds, et formant des mailles. L'ensemble est appelé graphe du réseau.

Dipôle : Tout ensemble d'éléments électriques situés entre deux **nœuds**.
Branche : Ensemble de dipôles placés en série entre deux nœuds.
Maille : Ensemble de branches constituent une boucle fermée.

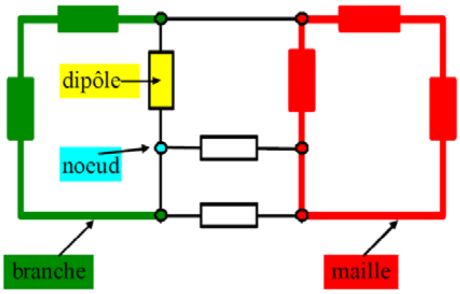

Figure 3.6 Réseau électrique

4.2. Lois de Kirchhoff

Lois de Kirchhoff expriment la conservation de l'énergie et de la charge dans un circuit électrique.

4.2.1. Loi des nœuds

C'est la première loi de Kirchhoff qui analyse la relation entre les courants dans un circuit. On obtient une égalité entre la somme algébrique des courants qui arrivent à un nœud et la somme algébrique des courants qui sortent du nœud.

De façon mathématique :

$$\sum i_{entrant} = \sum i_{sortant}$$

Exemple : $I_1 + I_2 + I_4 = I_3 + I_5$

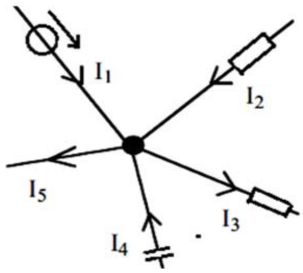

Figure 3.7 Loi des nœuds

4.2.2. Loi des mailles

La deuxième loi fait intervenir les différences de potentiel dans le circuit. La somme algébrique des différences de potentiel aux bornes des éléments formant une maille est nulle.

Mathématiquement :

$$\sum \Delta V_i = 0$$

Exemple : $V_1 - V_2 - V_3 - V_4 = 0$

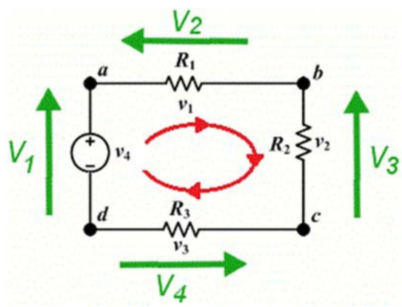

Figure 3.8 Loi des mailles

Remarque

Afin d'appliquer la loi de maille, on doit commencer par représenté les d.d.p (dans le sens inverse du courant) et représenter une boucle montrant le sens dans lequel seront listées les tensions (au choix –exemple la boucle rouge-). Enfin, les tensions qui sont dans le même sens que la boucle rouge sont indiquées avec le signe positif et les tensions de sens opposé sont notées avec le signe négatif.

5. Théorème de Thevenin

Le théorème de Thevenin indique que "tout circuit linéaire contenant plusieurs tensions et résistances peut être remplacé par une seule tension en série avec une seule résistance connectée sur la charge". En d'autres termes, il est possible de simplifier n'importe quel circuit électrique, aussi complexe soit-il, à un circuit équivalent à deux bornes avec une seule source de tension constante en série avec une résistance (ou impédance) connectée à une charge comme indiqué ci-dessous.

Le théorème de Thevenin est particulièrement utile dans l'analyse de circuits de systèmes de puissance ou de batteries et d'autres circuits résistifs interconnectés où il aura un effet sur la partie adjacente du circuit.

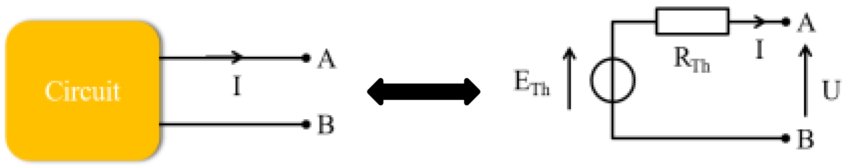

Figure 3.9 Principe du théorème de Thevenin

E_{th}est la différence de potentiel calculée entre les bornes A et B lorsque le circuit est ouvert

R_{th} est le résistance équivalente entre A et B en éliminant toute connexion entre A et B, ainsi les d.d.p et les courants