

1.1 GRANDEURS ÉLECTRIQUES

1.1.1 Introduction

L'électricité est une forme d'énergie produite par la circulation de charges électriques dans un corps conducteur ou semi-conducteur. Certains corps, en particulier les métaux (aluminium, cuivre...) sont de très bons conducteurs parce qu'ils possèdent des électrons qui peuvent se libérer de l'attraction du noyau de l'atome pour participer à la conduction électrique. Dans d'autres matériaux appelés isolants, les charges électriques ne peuvent pas circuler.

L'étude du mouvement de ces charges électriques et des phénomènes qui s'y rattachent est l'*électrocinétique*. En réalité, la mise en mouvement des charges dans un conducteur n'est pas instantanée. Le champ électromagnétique se propage le long du conducteur à une vitesse proche de la vitesse de la lumière qui est : $c = 3 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ (mètres par seconde).

Nous allons dans la suite de ce paragraphe rappeler les définitions de l'électrocinétique.

Prenons par exemple le cas d'une batterie de voiture de 12 volts : cette batterie qui est appelée *générateur de tension ou source de tension* a pour rôle de fournir l'énergie sous forme d'un courant électrique. Une ampoule branchée directement aux bornes de la batterie reçoit le courant c'est pourquoi l'ampoule est appelée un *récepteur*. Le

passage du courant électrique chauffe le filament de l'ampoule qui devient incandescent et produit une lumière. D'une façon générale, un récepteur est un appareil qui transforme l'énergie électrique en diverses énergies.

Le rôle du générateur consiste non pas à fabriquer des charges, mais à mettre en mouvement simultanément les charges mobiles situées dans les matériaux conducteurs du circuit électrique. C'est cette circulation des charges électriques dans les conducteurs que nous appelons le courant électrique.

1.1.2 Charge électrique et courant électrique

La charge élémentaire « $-q$ » est celle de l'électron. Il s'agit d'une charge négative exprimée en coulomb (C) et qui vaut : $-q = -1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$. Les charges en mouvement peuvent aussi être positives (ions positifs), mais pour les conducteurs, ce sont souvent les électrons qui contribuent majoritairement à la conduction électrique.

Supposons maintenant un conducteur de section dS : (par exemple $dS = 1 \text{ cm}^2$), qui contient des porteurs de charges mobiles. Les collisions que subissent ces porteurs de charges sur les imperfections du réseau cristallin du conducteur, leur communiquent un mouvement désordonné dont la résultante du point de vue de transport de l'électricité, est nulle.

La batterie de l'exemple précédent est à l'origine de l'établissement d'un champ électrique \vec{E} qui permet le déplacement des charges électriques avec une vitesse proportionnelle à \vec{E} . Cette vitesse notée \vec{v} est égale à :

$$\vec{v} = \mu \cdot \vec{E} \quad (\mu \text{ représente la mobilité des charges exprimée en } \text{m}^2 \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$$

En un intervalle de temps égal à 1 seconde, un certain nombre de charges « N » traversent la surface considérée « \vec{dS} ».

$$N = \vec{v} \cdot n \cdot \vec{dS} \cdot dt = \vec{v} \cdot n \cdot 1 \text{ cm}^2 \cdot 1 \text{ s}$$

n étant la densité des charges ; c'est-à-dire le nombre de porteurs par unité de volume. La charge électrique qui traverse la section en 1 seconde devient :

$$dQ = qN = q \cdot \vec{v} \cdot n \cdot \vec{dS} \cdot dt$$

Le flux d'électrons qui circule dans le conducteur est appelé courant électrique I . Son intensité s'exprime en ampère (A).

$$I = \frac{dQ}{dt} = \vec{J} \cdot \vec{dS}$$

Généralement, « dQ » représente la quantité de charges (en coulomb) traversant la section « \vec{dS} » pendant l'intervalle de temps « dt » (en seconde).

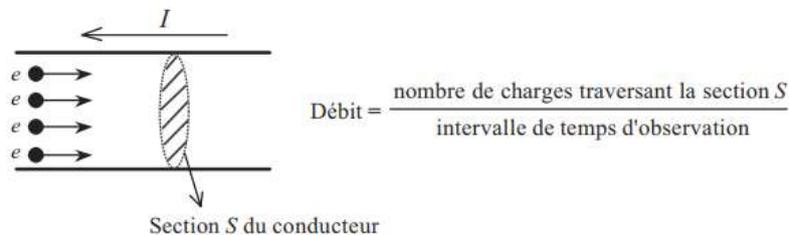


Figure 1.1 Déplacement des charges négatives et sens du courant dans un conducteur.

\vec{J} représente le vecteur densité de courant exprimé en $\text{A} \cdot \text{m}^{-2}$. La densité du courant est liée à la vitesse « \vec{v} » d'ensemble des porteurs de charges mobiles, et à leur densité volumique de charges locale « ρ_v ».

$$\vec{J} = \rho_v \cdot \vec{v} \text{ exprimé en } \text{A} \cdot \text{m}^{-2}$$

En remplaçant la vitesse par son expression, nous obtenons :

$$\vec{J} = \rho_v \cdot \mu \cdot \vec{E} = \sigma \cdot \vec{E}$$

σ représente la conductivité électrique du conducteur, exprimée en siemens par mètre ($S \cdot m^{-1}$). Cette expression représente la forme locale de la loi d'Ohm. Nous utilisons aussi couramment l'inverse de la conductivité qui est appelée la résistivité du conducteur.

$$\rho = \frac{1}{\sigma} \text{ exprimé en ohm.m } (\Omega \cdot m)$$

Dans le cas particulier d'un conducteur cylindrique à section constante « S », nous pouvons déterminer la résistance R ou la conductance G d'un tronçon du conducteur de longueur ℓ :

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S} \text{ exprimée en ohm et } G = \sigma \cdot \frac{S}{\ell} \text{ exprimée en siemens ou } \Omega^{-1}$$

Par convention, les physiciens du XIX^e siècle, ignorant alors l'existence des électrons, ont défini le courant électrique comme une circulation de charges positives se déplaçant dans le circuit de la borne positive « + » du générateur vers la borne négative « - » de ce dernier.

Cette convention a été maintenue bien que nous sachions aujourd'hui que, dans la plupart des cas, ce sont des électrons qui circulent en sens inverse. Nous retenons :

- le sens du courant est identique au sens du déplacement des ions positifs (trous),
- le sens du courant est opposé au sens du déplacement des électrons.

Comme nous allons le voir au troisième paragraphe, nous trouvons dans les réseaux linéaires l'élément résistance (résistor) dont la valeur exprime la résistance que le composant oppose à la circulation des charges électriques.

La résistance, notée souvent « R », transforme ainsi l'énergie électrique reçue en énergie thermique par dégagement de chaleur. Ce phénomène est connu sous le nom d'*effet Joule*.

1.1.3 Potentiel électrique

Comme dans tous les domaines de la physique, le déplacement d'un objet quelconque (une bille, des molécules d'eau, de l'air...) est dû à un apport d'énergie caractérisé par le travail. L'unité du travail (ou énergie) est le joule. Souvent, pour mieux expliquer les phénomènes électriques, nous avons recours à des analogies hydrauliques. Par exemple, l'intensité du courant est comparée à un débit d'eau, la section du conducteur correspondant à la section du tuyau.

En électricité, le générateur joue le rôle d'une pompe où l'eau est remplacée par des charges électriques. La différence d'état électrique (équivalent de la pression) est appelée *différence de potentiel* ou *tension électrique*. Nous pouvons aussi comparer le déplacement d'une charge électrique au déplacement d'une masse entre un niveau haut et un niveau plus bas, ce qui constitue la chute de la masse.

Dans tous les cas, nous avons affaire à un travail qui peut être exprimé par :

$$W = Q (U_A - U_B) = Q.U \quad \text{en joule (J)}$$

La quantité $U = U_A - U_B$ est appelée la différence entre le potentiel du point A et le potentiel du point B, nous parlons alors d'une différence de potentiel exprimée en « volt ». Cette différence de potentiel est définie comme étant le travail par unité de charge. Elle établit une comparaison entre deux points d'un circuit. La tension est symbolisée par la lettre U (ou V) et par une flèche sur le circuit tournée vers le point dont le potentiel est le plus élevé : c'est-à-dire la borne positive du générateur de l'exemple donné à la figure 1.2 qui représente une batterie (pile) du type 12 volts branchée aux bornes d'une ampoule ou d'une résistance.

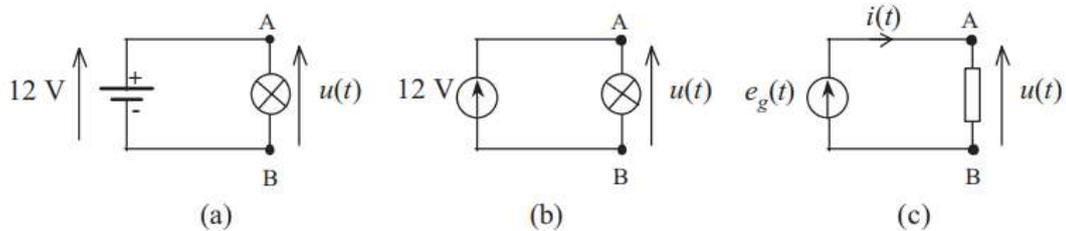


Figure 1.2 Représentation d'un générateur (12 V) et d'un récepteur constitué, soit d'une ampoule électrique (a) et (b), soit d'une résistance (c).