LA CONDUCTION ELECTRIQUE

1- Conducteur hors équilibre électrostatique (électrocinétique) :

Nous avons vu que dans un conducteur en équilibre électrostatique, les charges électriques se mettent en position d'équilibre, c'est à dire **ne bougent pas** (état statique). Le champ à l'intérieur du conducteur est nul et le conducteur constitue un volume équipotentiel. Lorsqu'on crée une différence de potentiel à l'intérieur du conducteur, celui-ci bascule vers un état hors équilibre (il n'est plus en équilibre électrostatique), ce qui engendre une circulation de charges électriques qu'on appel **courant électrique**. Nous allons illustrer ceci dans l'exemple suivant.

On considère un conducteur A sphérique qui porte une charge positive et qui possède un potentiel positif V_A. Le conducteur est en équilibre électrostatique, ce qui fait que le potentiel est le même en tout point du conducteur et les charges sont en état statique (ne bougent pas) à la surface du conducteur.

On considère un deuxième conducteur B, neutre, loin du premier. Son potentiel V_b serait zéro volt.

On relie par un fil conducteur C, les conducteurs A et B. Le nouveau système va constituer un seul conducteur D ($D=A\cup B\cup C$). Mais à l'instant où on a fait la liaison, le potentiel n'est plus le même sur ce nouveau conducteur D, puisque le potentiel en A est positif, celui en B est nul. Donc, le nouveau conducteur D n'est plus en équilibre électrostatique. Que va-t-il se passer alors ? Il va y avoir une différence de potentiel à l'intérieur du conducteur D, donc un champ électrique à l'intérieur de D qu'on appelle **« champ moteur »,** ce champ va faire bouger les charges de A vers B jusqu'à ce qu'un nouveau équilibre électrostatique s'installe (instant t_0), où on aura le potentiel le même partout sur D.

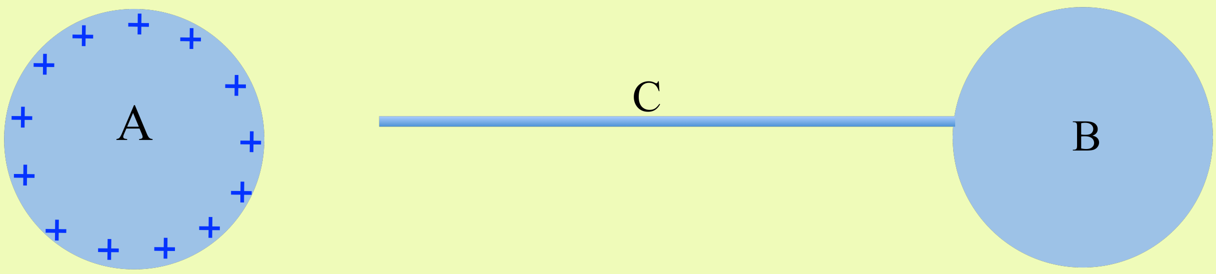

Figure 1-a- Avant le contact. Conducteurs A, B, C en équilibre électrostatique, les charges ne bougent pas

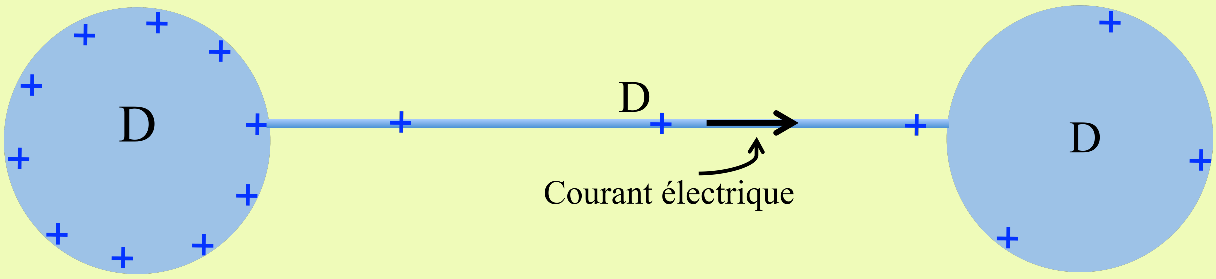

Figure 1-b- Entre t = 0 et t = t_0 après le contact. Le conducteur D est hors équilibre électrostatique, les charges se déplacent, il y a un courant électrique. Le potentiel n'est pas le même partout sur D.

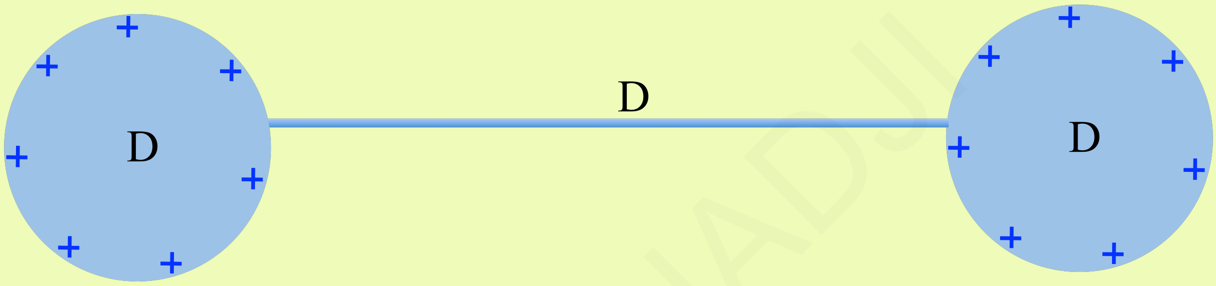

Figure 1-c- t > t_0. Le conducteur D est en équilibre électrostatique. Le potentiel est le même partout sur D.

Entre les instants 0 et t_0 , des charges se déplacent de A vers B créant « **un courant électrique ».** On est dans le domaine de l'électrocinétique. Le temps t_0 de transition des charges de A vers B est très courts, de l'ordre du nanoseconde. On appelle cet état, « régime transitoire ». On peut créer un « régime permanant » à l'aide de générateurs. (Le régime permanant est le contraire de transitoire, c'est à dire un régime qui ne finit jamais).

2- Générateur de tension continue:

Définition : Un générateur de tension continue est un appareillage qui possède deux branches qu'on appelle « bornes », la borne + et la borne -, le générateur assure entre ses bornes une différence de potentielle constante.

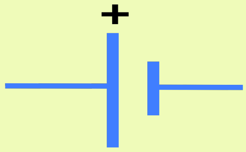

Figure 2- Symbole du générateur de tension continue, idéal.

On réalise une conduction électrique à l'aide d'un générateur. Le générateur assure une différence de potentiel constante entre les extrémités A et B du conducteur (figure 3) créant ainsi un champ électrique moteur à l'intérieur du conducteur. Ce champ fait bouger des électrons de B vers A, ce qui revient à un courant électrique circulant de A vers B. Si le conducteur possède une section homogène (une coupe la même partout), le champ moteur est uniforme (constant). Sa valeur est donnée par la différence de potentiel divisée par la longueur.

$$E = \frac{V_A - V_B}{AB}$$

V_A - V_B est la différence de potentiel assurée par le générateur.

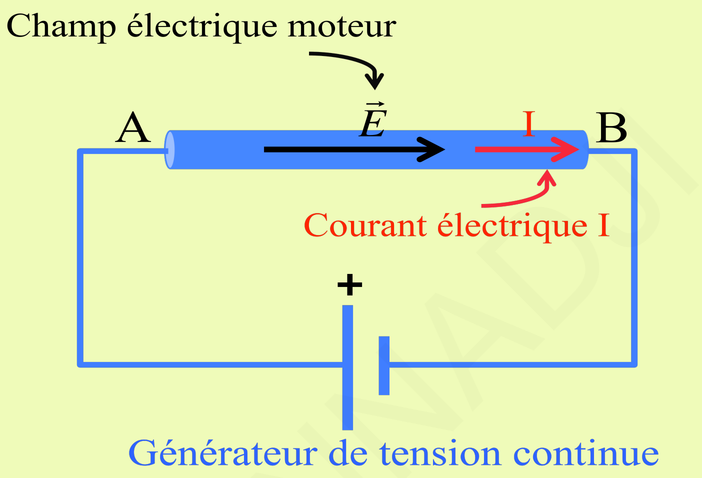

Figure 3- Régime permanent assuré par un générateur de tension continue.

3- La loi d'Ohm :

Sur la figure 3, les trois grandeurs *E* (champ), *I* (courant électrique), $V_A - V_B$ (différence de potentiel), sont proportionnels. La relation de proportionnalité entre la différence de potentiel et le courant électrique s'appelle « **loi d'Ohm** ». Elle s'écrit :

$$\boxed{V_A - V_B = R\, I}$$

R est la résistance électrique du conducteur situé entre A et B. Son unité est le Ohm, ou Ω. L'unité du courant est l'Ampère.

Exemple :

On applique à un fil conducteur de résistance 12 Ω, une différence de potentiel de 3 Volt. Quelle est la valeur du courant qui traverse ce conducteur ?

Solution :

On applique la loi d'Ohm :

$$V_A - V_B = R\,I \quad \Rightarrow \quad I = \frac{V_A - V_B}{R}$$
$$= \frac{3 \text{ Volt}}{12\ \Omega} = 0{,}25 \text{ Ampère.}$$

4- Description microscopique du phénomène de conduction :

On considère un fil conducteur cylindrique sur lequel on applique une différence de potentiel $V_A - V_B$. Il en résulte à l'intérieur du conducteur un champ électrique moteur E dirigé de A vers B. Ce champ quand il s'applique à un électron libre du conducteur, il le déplace vers A. Il aura une vitesse moyenne v.

Considérons une section S du conducteur (une coupe de surface S sur le conducteur) et calculons la charge totale dq des électrons qui la traversent pendant un instant court dt.

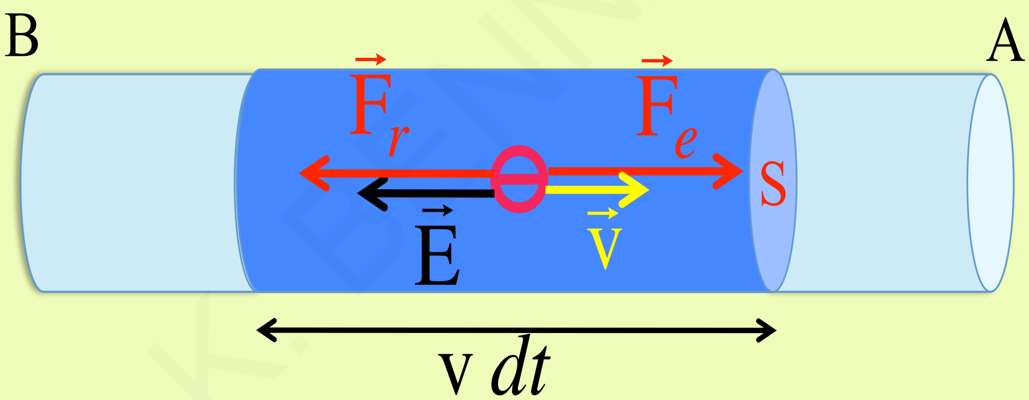

Figure 4- Dynamique de la conduction électrique dans un fil conducteur.

Pendant l'instant dt, c'est tous les électrons contenus dans le cylindre de longueur v dt (en bleu sur la figure) qui traverseront la section S. La charge de ces électrons dq est donnée par :

$$dq = n\,e\,Volume$$
$$= n\,e\,S\,\mathrm{v}\,dt$$

n est la densité des électrons, c'est le nombre d'électrons qu'il y a dans 1 mètre cube. On divise par dt et on obtient le courant électrique qui traverse le fil :

$$\begin{aligned} I &= \frac{dq}{dt} \\ &= n e \mathrm{v} S \end{aligned}$$

On définit la densité de courant par le courant I divisé par la surface S :

$$\boxed{J = \frac{I}{S}}$$

ou : $\boxed{J = n e \mathrm{v}}$

D'autre part, du point de vu dynamique, l'électron se déplace à vitesse constante car il est soumis à deux forces qui se compensent. La force électrique $\vec{F}_e$ et une force de friction $\vec{F}_r$ qui ressemble à la résistance de l'air (voir figure 4). On a :

$$\begin{aligned} F_e &= e E \\ F_r &= k \mathrm{v} \end{aligned}$$

k est une constante de friction. En faisant égaliser Fe et Fr, on obtient la relation de la mobilité des électrons :

$$\boxed{\begin{aligned} \mathrm{v} &= \frac{e}{k} E \\ &= \mu E \end{aligned}}$$

$\mu = \dfrac{e}{k}$ est la mobilité des électrons. En combinant avec l'équation de J on obtient :

$$\boxed{J = \frac{n e^2}{k} E}$$

On appelle cette relation « loi d'Ohm locale ou microscopique ». La constante devant E est la conductivité σ électrique du matériau :

$$\boxed{\sigma = \frac{n e^2}{k}}$$

L'unité de σ est Ω^{-1} m^{-1}. On définit la résistivité électrique ρ qui est l'inverse de la conductivité :

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

son unité est le Ω m.

5- Résistance électrique d'un fil conducteur de section homogène :

On considère un fil conducteur de longueur AB = L, de section S homogène comme celui de la figure 4. Connaissant la résistivité ou la conductivité du matériau, on veut déduire sa résistance électrique. On applique entre A et B une différence de potentiel ΔV. On cherche une relation entre ΔV et le courant I. On a :

$$J = \sigma E$$

On remplace J par $\frac{I}{S}$ et E par $\frac{\Delta V}{L}$ et on obtient :

$$\frac{I}{S} = \sigma \frac{\Delta V}{L}$$

Soit :

$$\begin{aligned} \Delta V &= \frac{1}{\sigma} \frac{L}{S} I \\ &= \rho \frac{L}{S} I \end{aligned}$$

En comparant avec la loi d'Ohm, on déduit la résistance électrique :

$$\boxed{\begin{aligned} R &= \frac{1}{\sigma} \frac{L}{S} \\ &= \rho \frac{L}{S} \end{aligned}}$$