# PHENOMENES ELECTRIQUES

Dr A. BOUTEFNOUCHET

Département de Médecine • Faculté de Médecine • Université Badji Mokhtar • Annaba

## 1. ELECTROSTATIQUE

### 1.1. Introduction

Les phénomènes d'électrisation ont été observés depuis longtemps (électrisation par frottement). Pour les interpréter on a supposé l'existance d'une grandeur physique appelée "charge élctrique" donr la valeur est algébrique (positive ou négative).

Par l'introduction de la notion de charge élémentaire ($e^- = -1,6.10^{-19}$ C), qui représente la charge d'un électron, on a compris que toute charge électrique n'est au fait q'un nombre entier $N$ de charges élémentaires

$$\begin{aligned} Q &= \begin{cases} N.e^- \\ \text{ou} \\ N.e^+ \end{cases} \quad \text{avec : } e^+ = -e^- = 1,6.10^{-19}\,\mathrm{C} \\ \mathrm{C} &= \text{symbole du Coulomb} \\ &= \text{unité de la charge éléctrique (S.I)} \end{aligned}$$

L'életrostatique est l'étude des propriétés électriques des charges électriques en équilibre

### 1.2. Champ et potentiel électrostatiques

Toute charge $Q$ placée dans un milieu (m) crée en sa proximité un champ et un potentiel électrostatiques

#### 1.2.1. Champ électrostatique $\vec{E}$

Toute charge électrique $Q$ placée dans un milieu (m) crée autour d'elle un champ électrostatique $\vec{E}$. Ce champ est une grandeur physique verctorielle qui depend de la charge, du milieu et de la distance où l'on détermine le champ. La relation donnant le champ $\vec{E}$ crée par une charge $Q$ en un point $M$ distant de $r$ de la charge est :

$$\vec{E} = \frac{k.Q}{r^2}.\vec{u}$$

- $Q$ étant la charge en valeur algébrique
- $k$ est la constante électrique dépendant du milieu et donné par la relation

$$\begin{aligned} k &= \frac{1}{4\pi.\epsilon} \\ \epsilon &= \text{Permittivité électrique du milieu} \end{aligned}$$

Dans le cas du vide

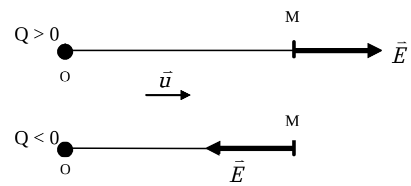
$$\begin{aligned} \epsilon &= \epsilon_0 = 8,854.10^{-12} C^2/N \\ k &= k_0 = 9.10^9 N.m^2/C^2 \end{aligned}$$

- $r$ = distance entre la charge et le point $M$
- $\vec{u}$ est le vecteur unitaire du vecteur position$\overrightarrow{OM}$

$$\overrightarrow{u} = \frac{\overrightarrow{OM}}{\left\|\overrightarrow{OM}\right\|}$$

D'aprés ce quui précède:

- si la charge $Q$ est positive le champ sera dans le même sens que $\overrightarrow{u}$. On dit alors qu'il est sortant.
- si la charge $Q$ est négative le champ sera dans le sens contraire de $\overrightarrow{u}$. On dit alors qu'il est rentrant.




#### 1.2.2. Potentiel électrostatique $V$

Toute charge électrique $Q$ placée dans un milieu (m) crée autour d'elle un potentiel électrostatique $V$. Ce potentiel est une grandeur physique scalaire algébrique qui depend de la charge, du milieu et de la distance où le potentiel est mesuré. La relation donnant le potentiel $V$ crée par une charge $Q$ en un point $M$ distant de $r$ de la charge est :

$$V = \frac{k.Q}{r}. \implies \begin{cases} Q > 0 \Rightarrow V > O \\ Q < 0 \Rightarrow V < 0 \end{cases}$$

#### 1.2.3. Principe de superposition

Le champ et le potentiel électrostatiques résultants d'un ensemble de $n$ charges en un point $M$ peuvent être déterminer d'aprés le principe de superposition de sorte que :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{E}_M &= \sum_{i=1}^{n} \overrightarrow{E}_{i_M} = \overrightarrow{E}_{1_M} + \overrightarrow{E}_{2_M} + ... + \overrightarrow{E}_{n_M} \\ V_M &= \sum_{i=1}^{n} V_{i_M} = V_{1_M} + V_{2_M} + ... + V_{n_M} \end{aligned}$$

#### 1.2.4. Relation entre champ et potentiel électriques

On démontre que le champ électique dérive d'un potentiel électrique. Mathématiquement on ecrit:

$$\overrightarrow{E} = -\overrightarrow{\mathrm{grad}\,V}$$

Ce qui se traduit en coordonnées cartésiennes par :

$V = V(x, y, z)$ et,

$$\overrightarrow{E}\left|\begin{array}{l} E_x = -\dfrac{dV}{dx} \\ E_y = -\dfrac{dV}{dy} \\ E_z = -\dfrac{dV}{dz} \end{array}\right.$$

En coordonnées polaires $V = V(r, \theta)$ et,

$$\overrightarrow{E}\left|\begin{array}{l} E_r = -\dfrac{dV}{dr} \\ E_\theta = -\dfrac{1}{r}\dfrac{dV}{d\theta} \end{array}\right.$$

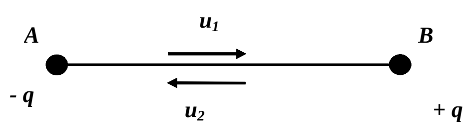
## 1.3. Force électrostatique et énergie électrique

### 1.3.1. Force électrostatique : Force coulombienne

En 1785 Coulomb a établit une loi ( Loi de Coulomb) qui met en évidence la force d'interaction entre deux charges électriques. En effet, toute charge éléctrique $Q$ placée dans un champ électrique extérieur $\overrightarrow{E}_{ext}$ ( qui n'est pas le sien) subit l'effet de ce champ. Cet effet se concrétise par une force appelée force électrostatique donnée par la relation suivante :

$$\overrightarrow{F} = Q.\overrightarrow{E}_{ext}$$

Examinant le cas deux deux charges $Q_1$ et $Q_2$ placées dans le même milieu et respectivement aux points $A$ et $B$.




En $B$: la charge $Q_1$ crée un champ élctrostatique $\overrightarrow{E}_1$

En $A$: la charge $Q_2$ crée un champ élctrostatique $\overrightarrow{E}_2$

Ces champs sont donnés par :

$$\begin{aligned} \vec{E}_1 &= \frac{k.Q_1}{r^2}.\vec{u}_1 \\ \text{et } \vec{E}_2 &= \frac{k.Q_2}{r^2}.\vec{u}_2 \end{aligned}$$

En $B$: la charge $Q_2$ subit l'effet de $\overrightarrow{E}_1$ : elle sera soumise à une force

$$\overrightarrow{F}_{1/2} = Q_2.\overrightarrow{E}_1 = \frac{k.Q_1.Q_2}{r^2}.\vec{u}_1$$

En $A$: la charge $Q_1$ subit l'effet de $\overrightarrow{E}_2$ : elle sera soumise à une force

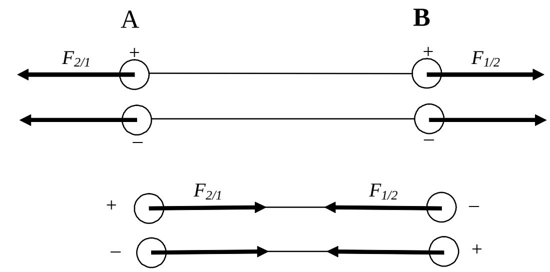
$$\overrightarrow{F}_{2/1} = Q_1.\overrightarrow{E}_2 = \frac{k.Q_2.Q_1}{r^2}.\vec{u}_2$$

En remarquant que $\vec{u}_2 = -\vec{u}_1$, on peut conclure que :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{F}_{2/1} &= -\overrightarrow{F}_{1/2} \text{ : est} \\ \left\|\overrightarrow{F}_{2/1}\right\| &= \left\|\overrightarrow{F}_{1/2}\right\| = \frac{k.\|Q_2.Q_1\|}{r^2} \text{ : Loi de Coulomb} \end{aligned}$$

De là découle le fait que :

- Deux charges de même signe se repoussent
- Deux charges de signes opposés s'attirent




### 1.3.2. Energie Potentielle électrique

En présence d'un potentiel électrique extérieur $V_{ext}$ toute charge éléctrique $Q$ acquit une énergie potentielle électrique $E_p$ donnée par :

$$E_p = Q.V_{ext}$$

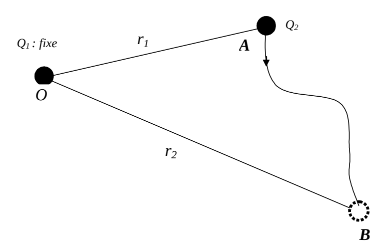
Examinant le cas de deux charges $Q_1$ et $Q_2$ séparées d'une distances $r$.

$$\left.\begin{array}{l} E_{p1} = Q_1.V_2 = \dfrac{k.Q_1.Q_2}{r} \\ E_{p2} = Q_2.V_1 = \dfrac{k.Q_2.Q_1}{r} \end{array}\right\} \Longrightarrow E_{p1} = E_{p2} = \frac{k.Q_1.Q_2}{r}$$

### 1.3.3. Travail dans un champ électrostatique

Considérant deux charges ponctuelles la première $Q_1$fixe et la seconde $Q_2$ pouvant se deplacer. Le deplacement de $Q_2$ du pont $A$ au point $B$ en présence du champ électrostatique crée par $Q_1$ nécessite un travail appelé travail des forces électrostatiques. Ce travail n'est au fait que la différence des énergies potentielles en $A$ et $B$ de la charge $Q_2$. Il est donné par la relation suivante :

$$\begin{aligned} W_{A\longrightarrow B} &= (E_p)_A - (E_p)_B = \frac{k.Q_1.Q_2}{r_1} - \frac{k.Q_1.Q_2}{r_2} \\ W_{A\longrightarrow B} &= k.Q_1.Q_2\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \end{aligned}$$




$W$ est un travail conservatif de ce fait :

$$W_{A\longrightarrow A} = W_{\circlearrowleft} = 0$$

### 1.3.4. Energie potentielle d'une configuration électrostatique.

Considérant un ensemble de $n$ charges ponctuelles placées sous forme d'une configuration. L'énergie potentielle de cette disposition de charges est donnée par la relation suivante :

$$\begin{aligned} E_p &= \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} q_i.V_i \\ q_i &= \text{la charge d'ordre } i \\ V_i &= \text{Potentiel où se trouve } q_i \end{aligned}$$

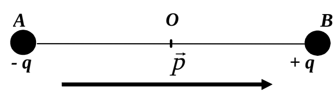
## 1.4. Dipôle électrique

### 1.4.1. définition

Le dipôle est un ensemble de deux (02) charges $+q$ et $-q$ séparées d'une distance $r$ ($r \neq 0$). Physiquement le dipôle électrique est une représentation électrique de ceratines molécules dites dipôlaires.

Le dipôle électrique est caractérisé par son moment dipolaire qui est une grandeur physique vectorielle donnée par la relation suivante :

$$\overrightarrow{p} = q.\overrightarrow{AB}$$




$A$ : position de la charge négative ($-q$)

$B$ : position de la charge positive ($+q$)

$O$ : milieu de $[AB]$ est le centre du dipôle

De ce fait le moment dipolaire $\overrightarrow{p}$ se dirige toujours de la charge négative vers la charge positive. Son module s'ecrit souvent sous la forme

$$\begin{aligned} p &= 2a.q \\ \text{avec } 2a &= \left\|\overrightarrow{AB}\right\| \end{aligned}$$

L'unité du moment dipolaire $\overrightarrow{p}$ est le $\mathrm{C\,m}$ (système international).

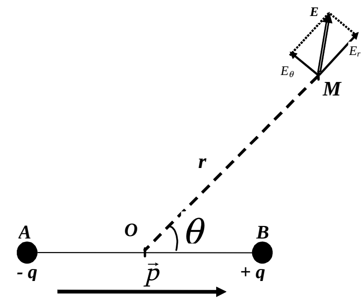
Pour les molécukes le moment dipolaire est de l'ordre de $10^{-29}\,\mathrm{C\,m}$ pour cette raison on utilise souvent le Debye de symbole $D$

$$1D = \frac{1}{3}.10^{-29}\,\mathrm{C\,m}$$

### 1.4.2. Champ et potentiel au voisinage d'un dipôle

On a constaté qu'une molécule dipolaire crée en sa proximité un potentiel et un champ électrostatiques bien que sa charge globale soit nulle. La séparation du centre de gravité des charges positives de celui des charges négatives dans la molécules est la cause de ce résultat.

Dans le cas d'un dipôme, de centre $O$ et de moment dipolaire $p = 2a.q$, on démontre que le potentiel $V(r,\theta)$ crée par ce dernier en un point $M$, en supposant que $OM = r >> a$, est :




$$V_M = \frac{k.p}{r^2}.\cos\theta$$

On déduit alors le champ électrostatique crée par ce dipôle par dérivation de $V(r,\theta)$

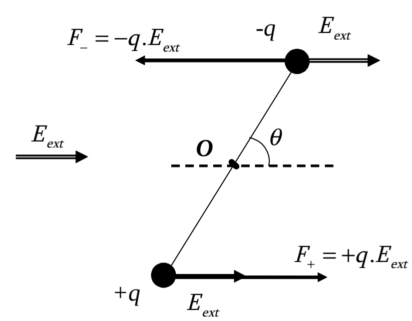
$$\overrightarrow{E} = \left| \begin{array}{l} E_r = -\dfrac{dV}{dr} = \dfrac{2kp}{r^3}\cos\theta \\ E_\theta = -\dfrac{1}{r}.\dfrac{dV}{d\theta} = \dfrac{kp}{r^3}\sin\theta \end{array} \right.$$

Le module de ce champ est alors :

$$\begin{aligned} E &= \frac{kp}{r^3}\sqrt{4\cos^2\theta + \sin^2\theta} \\ &= \frac{kp}{r^3}\sqrt{1 + 3\cos^2\theta} \end{aligned}$$

### 1.4.3. Action d'un champ électrique sur un dipôle

Supposant qu'un dipôle $p = 2a.q$ se trouve dans un milieu où règne un champ électrique extérieur $\overrightarrow{E_{ext}}$. En admettant que ce champ est constant $\overrightarrow{E_{ext}} = \overrightarrow{C^{te}}$, le dipôle sera soumis à un couple de force ($\overrightarrow{F_+}$, $\overrightarrow{F_-}$ ) d'axe $\Delta$ passant par le milieu $O$ du dipôle.




On démontre que le momemt de ce couple pour une déviation $\theta$ entre le dipôle et le champ extérieur est :

$$\begin{aligned} \overrightarrow{M}_{/\Delta} &= \overrightarrow{p} \wedge \overrightarrow{E_{ext}} \\ &= p.E_{ext}\sin(\overrightarrow{p}, \overrightarrow{E_{ext}}).\overrightarrow{c} \end{aligned}$$

$\overrightarrow{c}$ étant un vecteur unitaire perpendiculaire au plan formé par $\overrightarrow{p}$ et $\overrightarrow{E_{ext}}$.

On démontre aussi que dans ces condition l'énergie potentielle du dipôle est

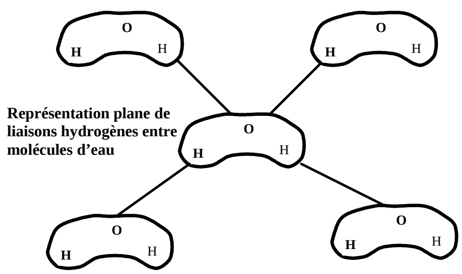
$$\begin{aligned} E_p &= \overrightarrow{-p}.\overrightarrow{E_{ext}} \\ &= -p.E_{ext}\cos(\overrightarrow{p}, \overrightarrow{E_{ext}}) \end{aligned}$$

### 1.4.4. Molécule d'eau et la liaison hydrogène

Dans une molécule d'eau la position des atomes fait en sorte que le centre de gravité des charges positives $P$ est différente de celle des charges négatives $N$. De ce fait cette molécule est dipolaire. Sont moment dipolaire est égal à : $p = 6,2.10^{-20}\,\mathrm{C.m}$. Sachant que dans une molécule d'eau il y a 10 charges élémentaires positives ($q = 10.e$) on peut estimer la distance $[NP]$ séparant les deux centres de gravité.

$$\begin{aligned} p &= [NP]\,.q \implies PN = \frac{p}{q} \\ [NP] &= \frac{6,2.10^{-20}}{10.1,6.10^{-19}} = 0,038\,\text{Å} \end{aligned}$$

Cette faible distance a en fait des effets considérables qui caractérisent la molécule d'eau. Elle est, entre autre, responsable des liaisons, d'origine électrique, qui s'établissent entre les molécules d'eau. Ces liaisons sont appelées liaisons hydrogènes




## 2. ELECTROCINÉTIQUE

## 2.1. Introduction.

L'électrocinétique étudié le mouvement des charges électriques, et le courant qui en résulte, dans un circuit électrique en régine stationnaire.

## 2.2. Courant électrique

Le courant électrique est le mouvement massive de charges électriques "à l'échelle macroscopique". Son intensité correspond à la quantité de charges électriques qui traverse une section droite d'un conduteur par unité de temps.

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

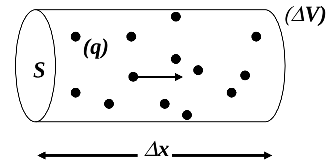
En régime permanet

$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{Q}{t}$$

L'unité de $I$ est l'Ampere de symbole $\mathrm{A}$

$$1\,\mathrm{A} = 1\,\mathrm{C/s}$$

A partir de cette définition essayons de déterminer microscopiquement ce courant électrique. Pour cela considérant une portion cylindrique conducrtrice dans laquelle circule des charges $q$.




La charge $\Delta Q$ qui traverse la section droite ($S$) pendant le temps $\Delta t$ est :

$$\begin{aligned} \Delta Q &= n.\Delta V.q \\ n &= \text{nombre de charge par unité de volume} \\ \Delta V &= \text{volume de la portion cylindrique} \end{aligned}$$

comme $\Delta V = \Delta x.S$ on peut ecrire

$$\Delta Q = n.\Delta x.S.q$$

Le courant électrique s'ecrit alors :

$$\begin{aligned} I &= \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{n.\Delta x.S.q}{\Delta t} \\ I &= n.S.q.v_d \\ \text{avec } v_d &= \frac{\Delta x.}{\Delta t} \end{aligned}$$

$v_d$ représente la vitesse des charges $q$ dans le conducteur on l'appelle vitesse de dérive

Dans le cas d'un conducteur métallique :

- $q$ représente la charge d'un électron$\left(-1,6.10^{-19}\,\mathrm{C}\right)$
- $n$ : nombre des électrons libres par unité de volume

## 2.3. Résistance électrique et loi d'Ohm

### 2.3.1. Densité de courant électrique

La densité de courant électrique représente l'intensité du courant électrique pare unité de surface

$$\begin{aligned} j &= \frac{I}{S} \\ &= n.q.v_d \end{aligned}$$

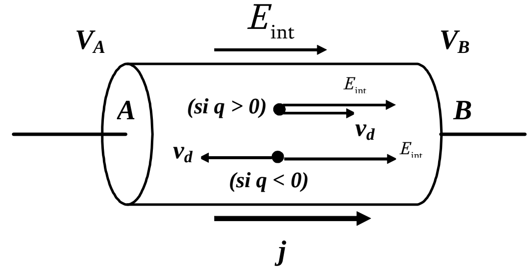
Sous sa forme vectorielle la densité de courant s'ecrit

$$\overrightarrow{j} = n.q.\overrightarrow{v_d}$$

Dans le système international elle s'exprime en $\mathrm{A/m^2}$

### 2.3.2. Loi d'Ohm microscopique

Considerons une potrion cylindrique conductrique de longueur $AB$ soumise à une différence de potentiel constante $V_A - V_B = Cte > 0$ . Cette différence de potentiel va créer un champ électrique constant à l'intérieur de ce cylindre $\overrightarrow{E}_{int}$ qui se dirige du potentiel le plus élevé $V_A$ vers le potentiel le moins élevé $V_B$.



On constate alors que la vitesse de dérive des charges à l'intérieur de ce conducteur est proportionnelle au champ électrique $\overrightarrow{E}_{int}$

$$\overrightarrow{v_d} = \mu.\overrightarrow{E}_{int}$$

Le facteur de proportionalité $\mu$ représente la mobilité des charges à l'intérieur du conducteur. Sa valeur est algébrique négative pour les charge négatives et inversement.

$$\begin{array}{lc} \text{charges négatives :} & q < 0 \iff \mu_- < 0 \\ \text{charges positives :} & q > 0 \iff \mu_+ > 0 \end{array}$$

La densité de courant $\overrightarrow{j}$ peut donc s'écrire en fonction de $\overrightarrow{E}_{int}$ selon la relation :

$$\overrightarrow{j} = n.q.\overrightarrow{v_d} = n.q.\mu.\overrightarrow{E}_{int}$$

On remarque alors que le produit $n.q.\mu$ est toujours positif quelque soit le signe de la charge q et de ce fait $\overrightarrow{j}$ à le même sens que $\overrightarrow{E}_{int}$ .

Ce produit représente la conductivité $\sigma$ de ce conducteur

$$\sigma = n.q.\mu > 0$$

La relation entre $\overrightarrow{j}$ et $\overrightarrow{E}_{int}$ s'écrit alors :

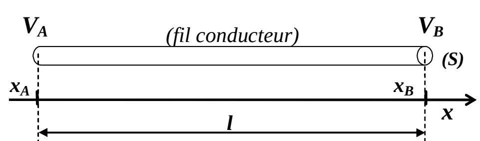
$$\overrightarrow{j} = \sigma.\overrightarrow{E}_{int}$$

Cette relation s'appelle: loi d'Ohm microscopique.

Dans le cas des conducteurs métalliques où les charges sont des électrons, il en résulte que le sens de déplacement de ces derniers et inverse à celui du courant qu'ils produisent.

#### 2.3.3. Loi d'Ohm macroscopique

Considérons le cas d'un fil métallique de section $S$ et de longueur $l$ soumis à une différence de potentiel constante positive $\Delta V = V_A - V_B$ .




Le champ à l'intérieur du fil métallique est:

$$\begin{aligned} E_{int} &= -\frac{dV}{dx} \implies \\ dV &= -E_{int}.dx \end{aligned}$$

Par integration entre les point $A$ et $B$ nous obtenons :

$$\begin{aligned} \int_{V_A}^{V_B} dV &= -\int_A^B E_{int}.dx \implies \\ V_B - V_A &= -E_{int}(x_B - x_A) \implies \\ V_A - V_B &= E_{int}(x_B - x_A) \implies \\ \Delta V &= E_{int}.l \end{aligned}$$

finalement on obtient : $$E_{int} = \frac{\Delta V}{l}$$

Comme la densité de courant $j$ peut s'écrire sous deux formes :

$$\begin{aligned} \begin{cases} j = \sigma.E \\ j = \dfrac{I}{S} \end{cases} &\implies \sigma.\frac{\Delta V}{l} = \frac{I}{S} \implies \\ \Delta V &= \left(\frac{1}{\sigma}.\frac{l}{S}\right).I \end{aligned}$$

L'inverse de la conductivité représente la résistivité électrique du conducteur

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \text{ Résistivité électrique du conducteur}$$

Il vient :

$$\Delta V = \left(\rho.\frac{l}{S}\right).I$$

Le produit $\left(\rho.\frac{l}{S}\right)$ représente la résistance électrique $R$ du conducteur d'où la relation :

$$\Delta V = R.I$$

qui s'appelle : Loi d'Ohm macroscopique.

L'unité de la résistance électrique est l'Ohm de symbole $\Omega$

$$1\Omega = \frac{1V}{1A}$$

#### 2.3.4. Effet Joule

Lorsqu'un conducteur est parcouru par un courant éléctrique il chauffe automatiquement : C'est l'effet Joule. Cet effet est une conversion d'une partie de l'énergie élctrique transportée par ce conducteur en chaleur. Du point de vue électrique cette énergie $\Delta W$ est dissipée (depensée) par effet Joule.

La puisance dissipée par effet Joule est :

$$\begin{aligned} P &= \frac{dW}{dt} = \Delta V.\frac{dq}{dt} \implies \\ P &= \Delta V.I = \frac{\Delta V^2}{R} = R.I^2 \end{aligned}$$

C'est la loi de Joule.

L'énergie dissipée par effet Joule est :

$$\Delta W = \Delta V.I.t = \frac{\Delta V^2}{R}.t = R.I^2.t$$

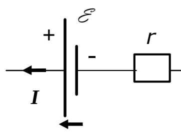
### 2.4. Les circuits à courant continu : Lois de Kirchoff

#### 2.4.1. définitions

- Le générateur électrique est un système électrique qui permet de maintenir une d.d.p constante aux bornes d'un conducteur. Il joue de ce fait le rôle d'une pompe électrique.

  Chaque générateur est caractérisé par sa force électromotrice (f.e.m) et sa résistance interne r. La f.e.m d'un générateur s'exprime en volt et elle correpond à l'énergie potentielle que va attribuer ce dernier aux charges libres du conducteur pour permettre leur déplacement.

A l'extérieur du générateur le courant sort du pôle (+) et rentre par le pôle (−). $A$ l'intérieur du générateur le courant passe du pôle (−) au pôle (+).

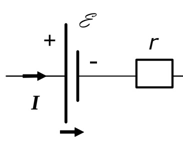



On démontre que la d.d.p aux bornes d'un générateur est:

$$\Delta V = \xi - rI$$

- Un recepteur électrique est un système électrique qui permet de convertir de l'énergie électrique en une énergie autre que l'énergie calorifique. Il est caractérisé par sa force contre électromotrice (f.c.e.m) et sa résistance interne r. Sa f.c.e.m s'exprime en volt et représente l'énergie électrique convertie en une énergie non calorifique.

A l'extérieur du récepteur le courant rentre du pôle (+) et sort par le pôle (−).




La d.d.p aux bornes d'un récepteur est:

$$\Delta V = \xi + rI$$

- Une branche est un ensemble linéaire d'éléments électriques dans un circuit électrique.
- Un noeud de courants est un point du circuit électrique où il y a aboutissement d'au moins trois (03) branches
- Une maille représente une boucle fermée contenant des éléments électriques dans un circuit élecrique.

### 2.4.2. Association de résistances électriques

Dans un circuit le comportement de l'ensemble des résistances peut être équivalent à celui d'une seule et unique résistance. Cette dernière représente la résistance équivalente du circuit électrique. Deux cas de figures peuvent dans ce sens être envisagés :

- Résistances placées en série :

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^{n} R_i = R_1 + R_2 + .... + R_n$$

On remarque alors que lorsque des résistances sont placées en série elles augmentent la résistance équivalente du circuit.

- Résistances placées en parallèles

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ...\frac{1}{R_n}$$

On remarque que dans ce cas la résistance équivalente du circuit diminue.

### 2.4.3. Association de générateurs électriques.

Considérant $n$ générateurs électriques identiques $(\xi, r)$.Leur comportement peut dans certain cas être équivalent à un seul générateur. Envisageant les deux cas suivant :

- Générateurs placés en série :

$$\begin{aligned} \xi_{eq} &= \sum_{i=1}^{n} \xi_i = \xi_1 + \xi_2 + .... + \xi_n = n.\xi \\ r_{eq} &= \sum_{i=1}^{n} r_i = r_1 + r_2 + .... + r_n = n.r \end{aligned}$$

Cette association de générateur à l'avantage d'aumenter $\xi_{eq}$ et l'inconvéneant d'augmenter aussi le résistances $r_{eq}$

Générateurs placés en parallèles

$$\begin{aligned} \xi_{eq} &= \xi_i = \xi_1 = \xi_2 = .... = \xi \\ \frac{1}{r_{eq}} &= \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{r_i} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + ...\frac{1}{r_n} = \frac{n}{r} \implies \\ r_{eq} &= \frac{r}{n} \end{aligned}$$

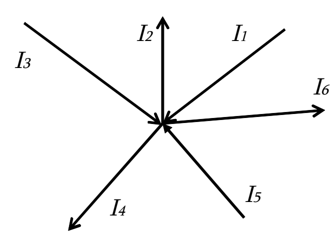
Avec cette disposition on a l'avantage de réduire la $r_{eq}$ et l'inconvéneant de maintenir constant la f.e.m.

### 2.4.4. Lois de Kirchoff

**Première loi de Kirchoff. Loi des noeuds:** Loi somme des courant qui arrivent au niveau d'un noeud est égale à la somme des courant qui en sorte

$$\sum I_{rentrant} = \sum I_{sor\tan t}$$

Considérant cet exemple :



Il vient alors : $I_1 + I_3 + I_5 = I_2 + I_4 + I_6$

**Deuxième loi de Kirchoff . Loi des mailles:** La somme algébrique des d.d.p aux bornes des composants électriques le long d'un circuit électrique fermé (maille) est nulle.

$$\sum_{maille} \Delta V_i = 0$$

Il en découle de cette loi que le long d'une maille :

$$\sum_{maille} \xi_i = \sum_{maille} R_j I_k$$

Cette relation représente la formulation mathématique de la loi des mailles. Les valeurs des $\xi_i$ et des $I_k$ doivent être affectées d'un signe $(+)$ ou $(-)$ selon certaines considérations.

Afin de déterminer ce signe il faut en premier lieu donner un sens positif à chaque maille considérée. Ce sens est arbitrairement choisi.

- Il en résulte pour les $\xi_i$ :

  Si dans une maille donnée le générateur $(i)$ à tendence à débiter un courant dans le même sens que celui de la maille alors sa f.e.m $\xi_i$ sera affectée d'un signe $(+)$

  Dans le cas où le générateur à tendance à débiter un courant dans le sens contraire de celui de la maille alors $\xi_i$ est affectée d'un signe $(-)$

- Pour les $I_k$:

  Si le courant $I_k$ d'une branche $(k)$ d'une maille est dans le sens de cette dernière alors $I_k$ sera affecté d'un signe $(+)$

  Dans le cas contraire il sera affecté d'un signe $(-)$.

**Remarque:** A ne pas confondre entre le courant propre au générateur dans une branche avec celui du courant dans cette branche. Ce dernier est obtenu aprés un équilible électrocinétique de tout le circuit électrique.