

# Chapitre II: Electrocinétique

## Régime continu

1- Courant électrique

1-1- Définitions

1-2- Loi des nœuds (1<sup>ère</sup> loi de Kirchhoff)

2- Tension électrique

2-1- Définitions

2-2- Loi des branches et des mailles (2<sup>nd</sup> loi de Kirchhoff)

3- Dipôle électique

3-1- Résistance électrique

3-2- Les générateurs

3-3- Les récepteurs

4- Théorèmes sur les circuits linéaires en régimes continu

## **Electrocinétique ?**

L'électrocinétique, est l'étude de circuits électriques et, est surtout celle du déplacement de l'électricité dans les milieux matériels, par opposition à l'électrostatique qui étudie les phénomènes et les lois relatives à l'électricité immobile.

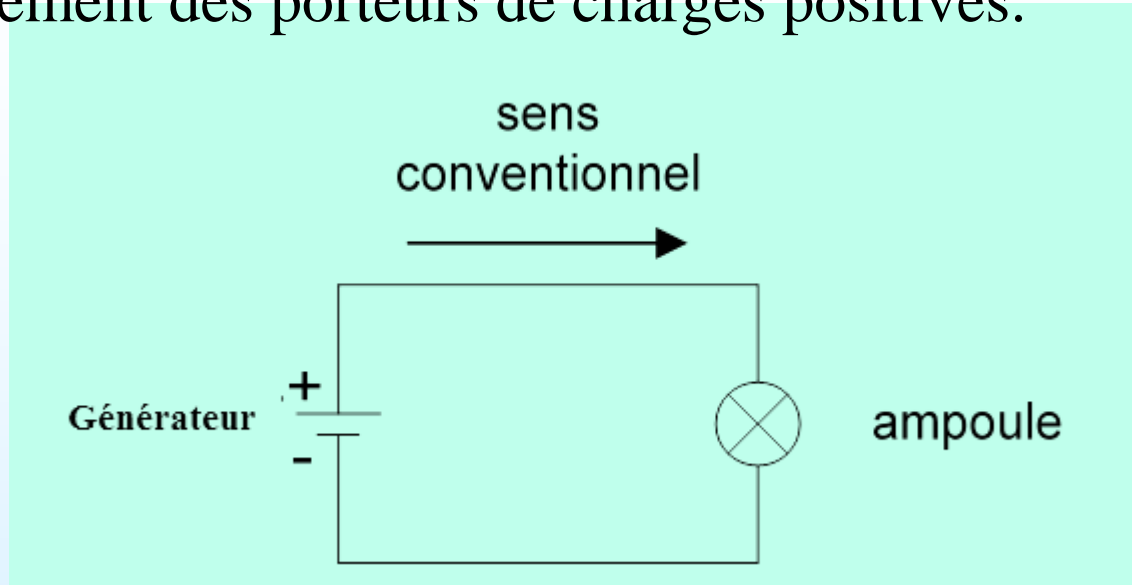
# 1. Courant électrique

## 1.1. Définitions

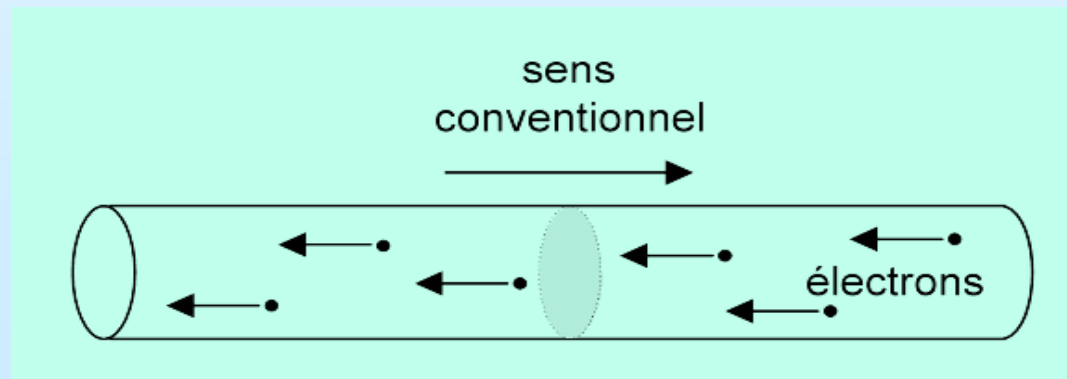
- un courant électrique est un mouvement d'ensemble de porteurs de charges électriques.
  - Dans les métaux, ces porteurs sont des électrons (charge négative).
  - Dans les liquides et les gaz, les porteurs sont des électrons et des ions positifs ou négatifs.

La charge élémentaire est celle de l'électron :  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Coulomb (C).

- Le sens conventionnel du courant électrique est le sens du mouvement des porteurs de charges positives.



- Le sens conventionnel du courant est donc le sens inverse du mouvement des électrons ( $q < 0$ ) :

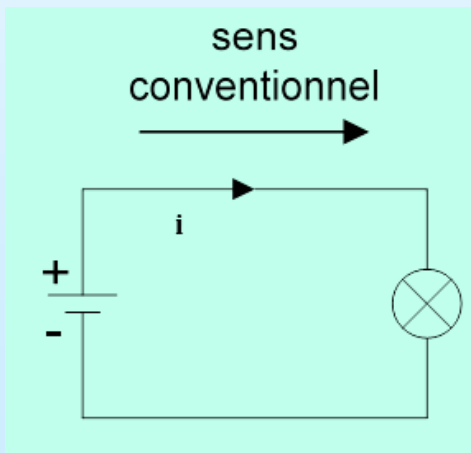


- L'intensité du courant électrique  $i$  est la quantité d'électricité transportée par unité de temps.

$$i = \frac{dq}{dt}$$

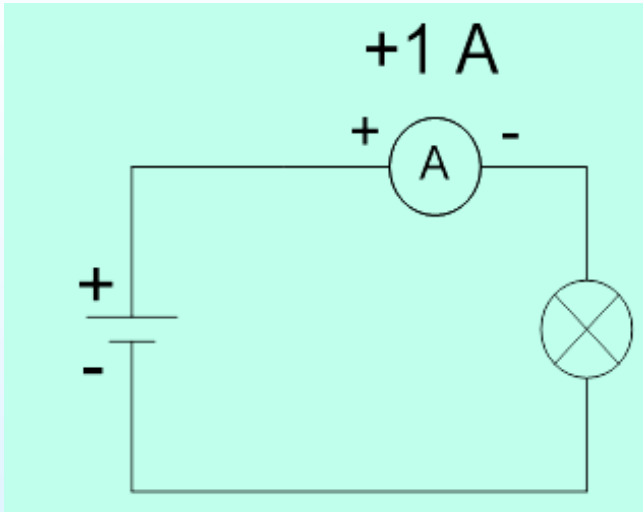
- $dq$  est la quantité d'électricité qui traverse la section du conducteur pendant la durée  $dt$ .

Le courant électrique est symbolisé par une flèche :

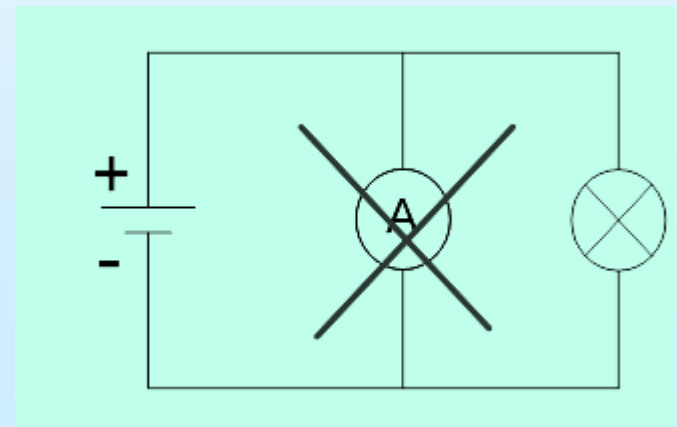


- Le courant est positif quand on oriente la flèche du courant dans le sens conventionnel.
- Le signe du courant change quand on inverse l'orientation .

- Le courant est mesuré par un ampèremètre placé en série dans le circuit.



**Rmq.** : un ampèremètre se comporte comme un fil.  
Attention au court-circuit !



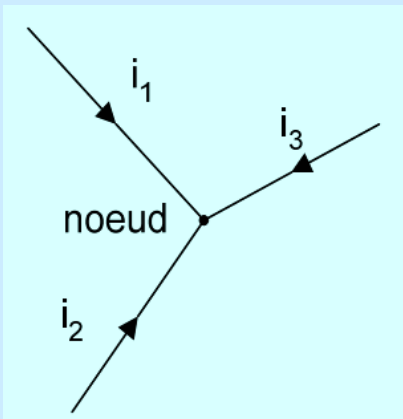
## 1-2- Loi des nœuds (1<sup>ère</sup> loi de Kirchhoff)

Un nœud est un point de jonction de plusieurs conducteurs électriques :

La somme des intensités des courants arrivant à un nœud est égale à la somme des intensités des courants sortant du nœud :

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4$$

A.N:



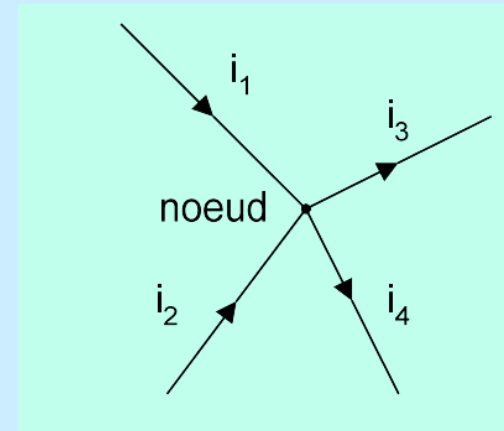
$$i_1 = +1 \text{ A}$$

$$i_2 = +2 \text{ A}$$

Calculer  $i_3$

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0$$

$$i_3 = -3 \text{ A}$$



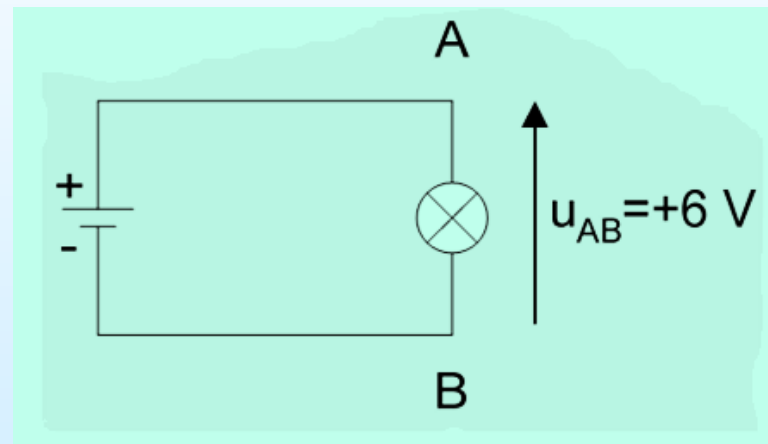
## 2- Tension électrique

### 2-1- Définitions

Le passage du courant électrique, entre deux points d'un circuit n'est possible que si on applique une tension électrique (volts : V).

Cette tension résulte d'une différence de potentiel (ou d.d.p.) entre les deux points du circuit.

$$u_{AB} = v_A - v_B$$



$u_{AB}$  (en V) : tension électrique entre les points A et B

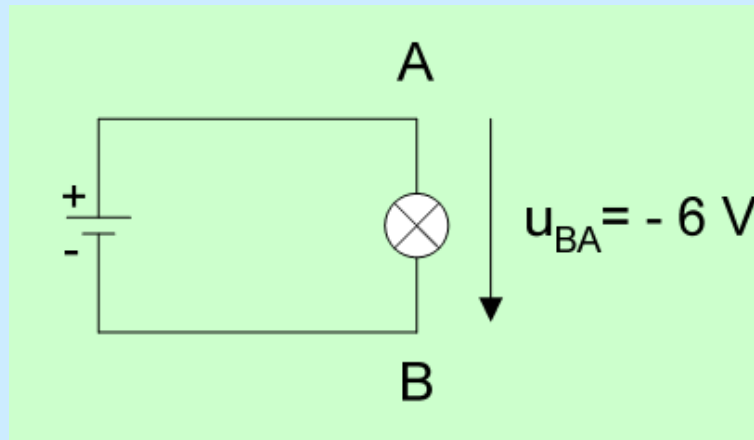
$v_A$  (en V) : potentiel électrique du point A

$v_B$  : potentiel électrique du point B

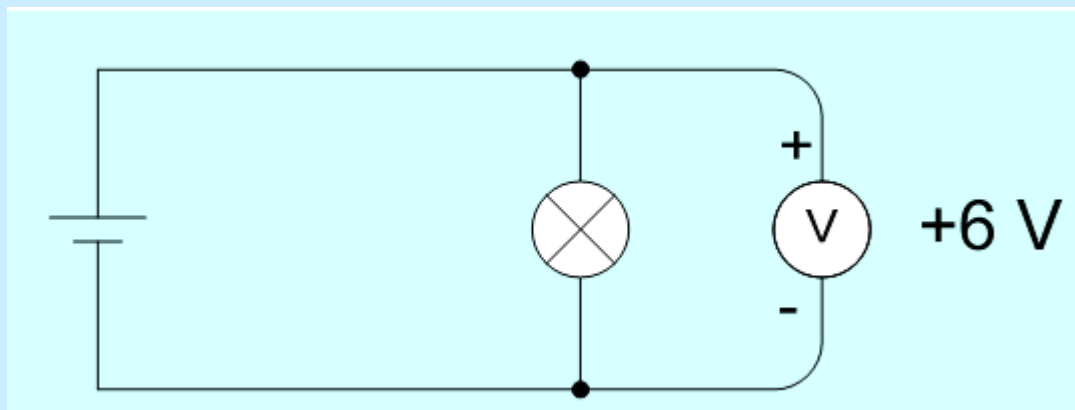


- La tension est une grandeur algébrique :

$$u_{AB} = -u_{BA}$$

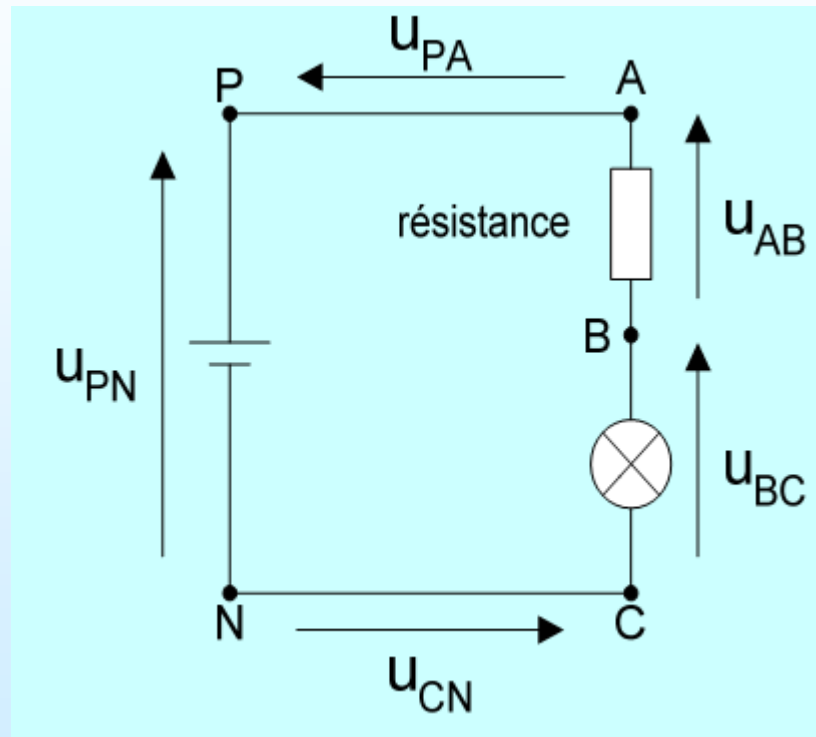


- Un voltmètre mesure la tension présente à ses bornes. Il est donc branché en dérivation :



## 2-2- Loi des branches (2<sup>ème</sup> loi de Kirchhoff)

- La tension totale entre deux points d'un circuit électrique est égale à la somme des tensions intermédiaires.



$$u_{PN} = u_{PA} + u_{AB} + u_{BC} + u_{CN}$$

Exemple :

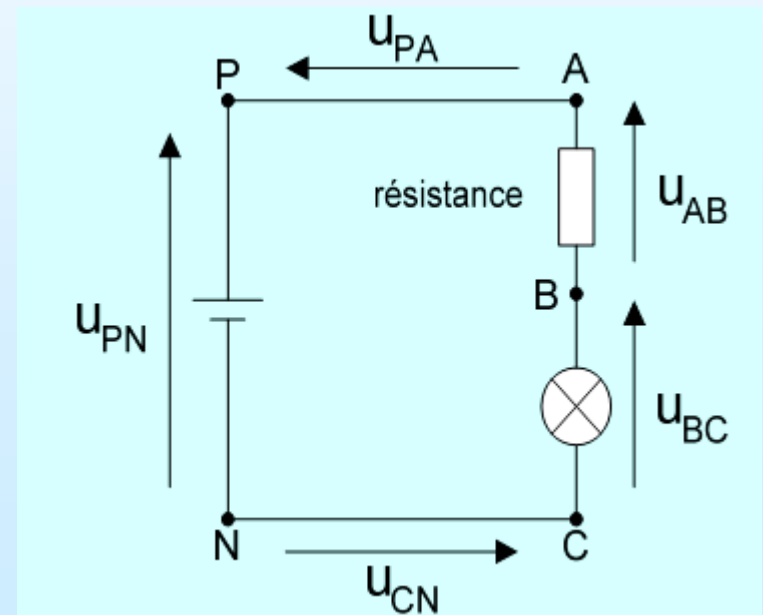
Une pile de f.e.m 9 V alimente une ampoule de 6 V à travers une résistance :

Calculer la tension aux bornes de la résistance.

$$u_{AB} = 9 - 6 = +3 \text{ V}$$

A noter que la tension aux bornes d'un fil électrique est pratiquement nulle :

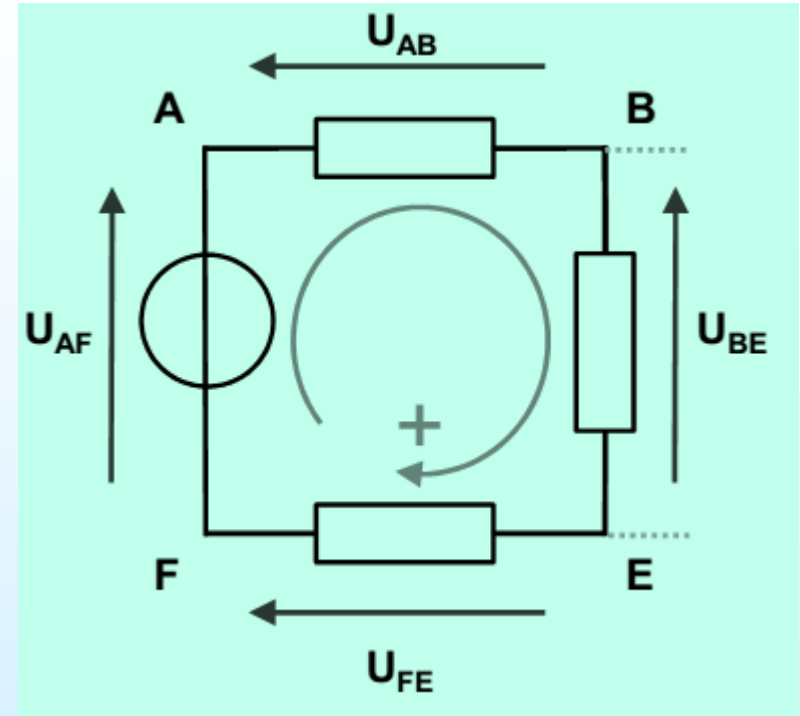
$$u_{PA} \approx u_{CN} \approx 0 \text{ V}$$



## 2<sup>ème</sup> loi de Kirchhoff $\Leftrightarrow$ Loi des mailles

On choisit un sens de parcours arbitraire de la maille et un point de départ.

On parcourt la maille dans le sens choisi en comptant positivement les tensions dont la flèche est rencontrée par le talon et négativement celles rencontrées par la pointe.



Exemple : Maille F, A, B, E, F  $\Leftrightarrow U_{AF} - U_{AB} - U_{BE} + U_{FE} = 0$

La somme algébrique des tensions rencontrées dans une maille est égale à 0

### 3- Dipôle électrique

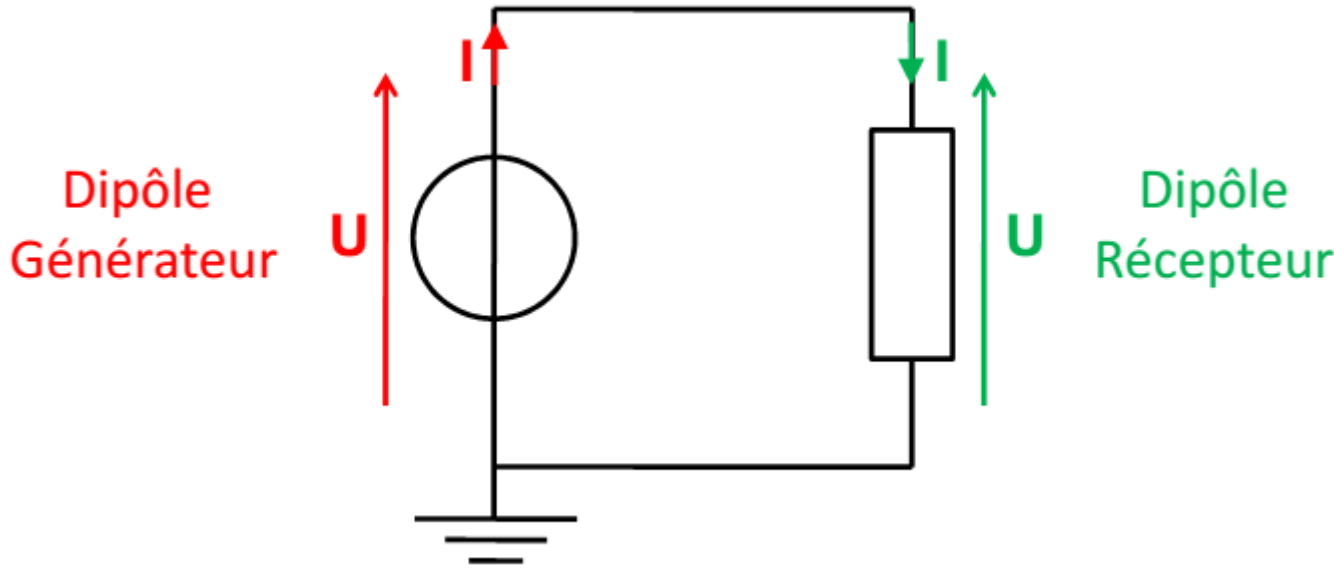
On appelle dipôle électrique un dispositif électrique quelconque qui présente deux bornes A et B permettant de le relier à un circuit extérieur.



2 types de dipôles :

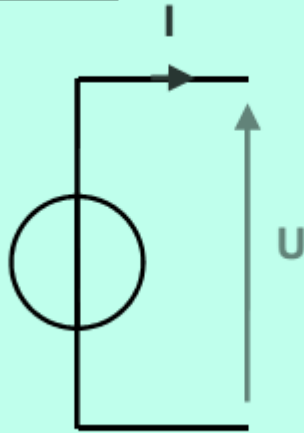
- actif (ou générateur) : le dipôle fournit de l'énergie au circuit sur lequel il est connecté.
- passif (ou récepteur) : le dipôle reçoit de l'énergie fournie par le circuit sur lequel il est connecté.

- Fléchage de la tension et du courant ?



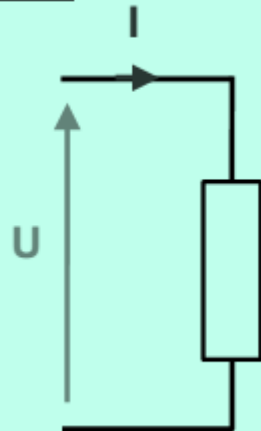
- Conventions générateur et récepteur

## Générateur :



Pour un dipôle **générateur** : la tension et le courant sont fléchés dans **le même sens**  
⇒ convention générateur.

## Récepteur :



Pour un dipôle **récepteur** : la tension et le courant sont fléchés en **sens contraire**  
⇒ convention récepteur.

## 3-1- Résistance électrique

Elle est due au passage des électrons dans le conducteur. Ceux-ci se heurtent aux électrons du conducteur qui les freinent. On a alors un **dégagement de chaleur et une limitation de l'intensité.**

Si une portion de circuit ne consomme de l'énergie électrique que par sa résistance, alors la d.d.p.  $U$  (en Volt) et  $I$  (en Ampère) sont directement proportionnelles et liés par une constance de proportionnalité appelée résistance, notée  $R$  et exprimée en Ohm ( $\Omega$ ):

$$\text{loi d 'Ohm: } U=RI$$

**Remarque:** *Dans un circuit idéalement conducteur, c'est-à-dire sans résistance, il n'y a pas de d.d.p.*



## Origine de la résistance d'un fil conducteur:

Soit un fil conducteur cylindrique et homogène, de longueur  $L$  et de surface de section  $S$ , sa résistance vaut alors :

$$R = \rho \cdot L/S$$

- $\rho$  est un coefficient de proportionnalité qui dépend de la nature du conducteur, et que l'on appelle **résistivité**.
- La résistivité dépend de la nature du conducteur et de sa température :

$$\rho(T) = \rho_{T_0} (1 + \alpha (T - T_0))$$

$\rho(T)$  : la résistivité à la température  $T^\circ\text{C}$ ,

$\rho(T_0)$ : la résistivité à la température  $T_0^\circ\text{C}$ ,

$\alpha$ : coefficient de température, est voisin de  $4 \cdot 10^{-3}$

## Conséquence de la loi d'Ohm:

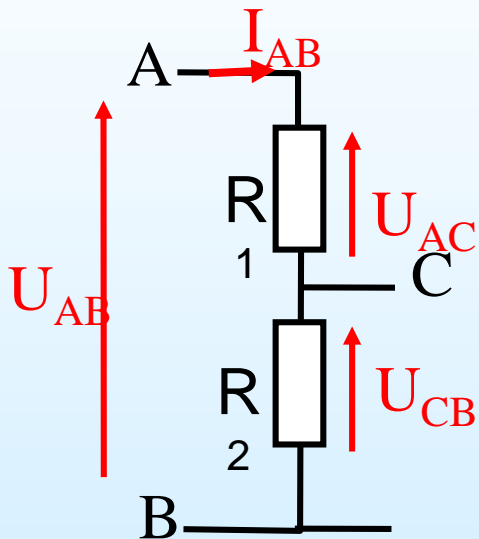
### **L'effet Joule**

Les chocs entre électrons libèrent de la chaleur (perte énergie électrique) selon la loi suivante :

$$\Delta Q \text{ (en Joule)} = RI^2\Delta T = W$$

## Groupement des résistances

- Résistances en série et circuit diviseur de tension:



$$U_{AC} = R_1 \cdot I_{AB}$$

$$U_{CB} = R_2 \cdot I_{AB}$$

$$U_{AB} = U_{AC} + U_{CB}$$

Les tensions s'ajoutent algébriquement

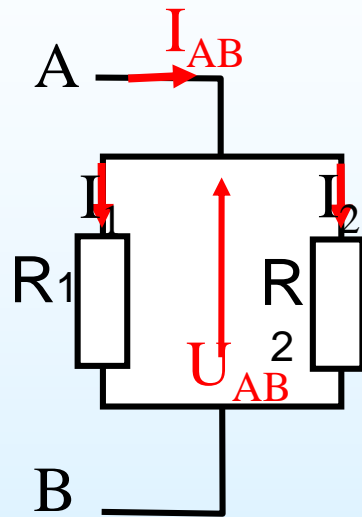
$$U_{AB} = (R_1 + R_2) \cdot I_{AB} \text{ donc } R_{\text{éq}} = R_1 + R_2$$

Les résistances en série s'ajoutent

et aussi : circuit "diviseur de tension"

$$U_{CB} = U_{AB} \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

- Résistances en parallèle et circuit diviseur d'intensité:



$$U_{AB} = R_1 \cdot I_1 \quad U_{AB} = R_2 \cdot I_2$$

Les courants s'ajoutent algébriquement

$$I_{AB} = I_1 + I_2 \text{ ,et } U_{AB} = R_{\text{éq}} \cdot I_{AB}$$

Pour les résistances en parallèles ce sont les inverses des résistances qui s'ajoutent:

$$I_{AB} = I_1 + I_2 = \frac{U_{AB}}{R_{\text{éq}}} = \frac{U_{AB}}{R_1} + \frac{U_{AB}}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Diviseur d'intensité:  $U_{AB} = I_{AB} \cdot R_{\text{éq}} = I_1 \cdot R_1$

$$I_1 = I_{AB} \cdot \frac{R_{\text{éq}}}{R_1}$$

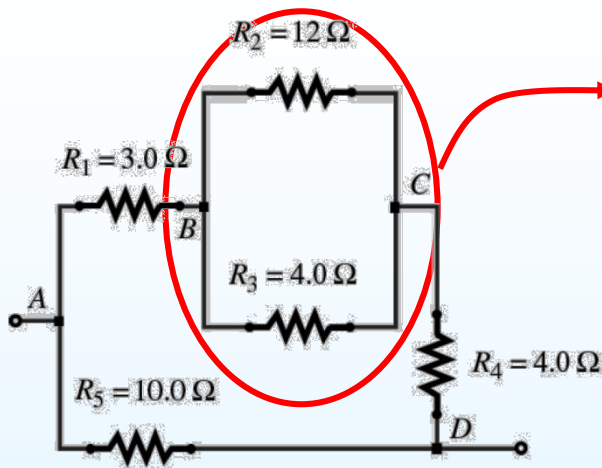
$$I_2 = I_{AB} \cdot \frac{R_{\text{éq}}}{R_2}$$

- Groupement parallèle de plusieurs résistances identiques:

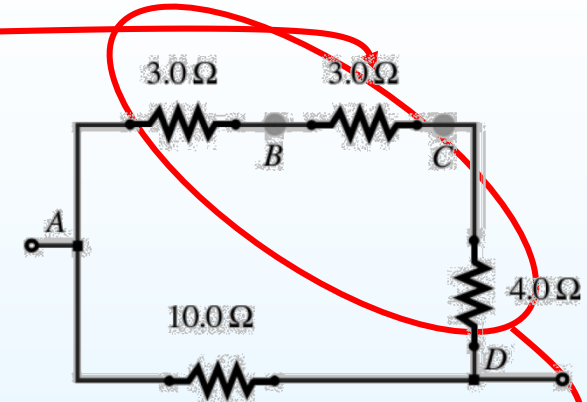
$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{r} + \frac{1}{r} + \dots + \frac{1}{r} = \frac{n}{r}$$

$$\Rightarrow R_{eq} = \frac{r}{n}$$

# Simplification dans réseau de résistances

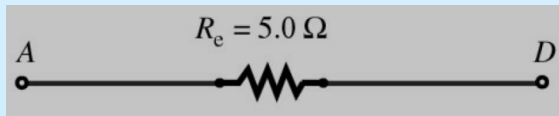


$$\frac{(12,0\ \Omega)(4,0\ \Omega)}{(12,0\ \Omega) + (4,0\ \Omega)} = 3,0\ \Omega$$

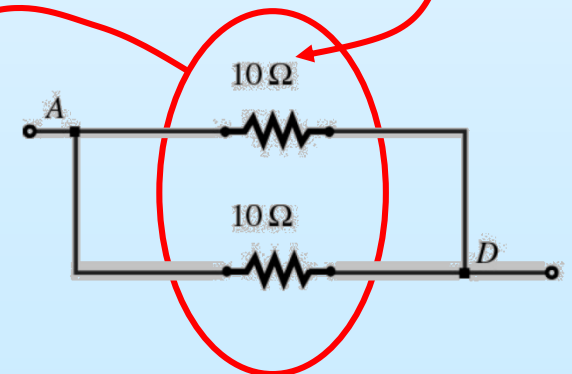


$$(3,0\ \Omega) + (3,0\ \Omega) + (4,0\ \Omega) = 10,0\ \Omega$$

résistance équivalente entre A et D ?



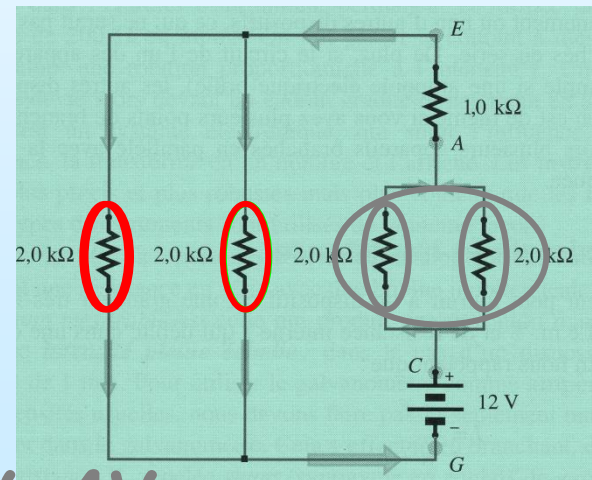
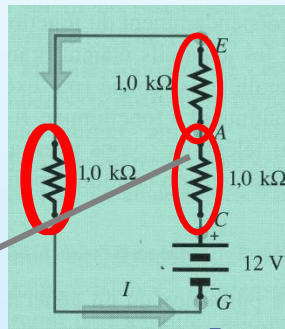
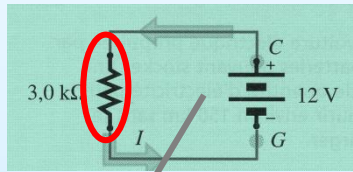
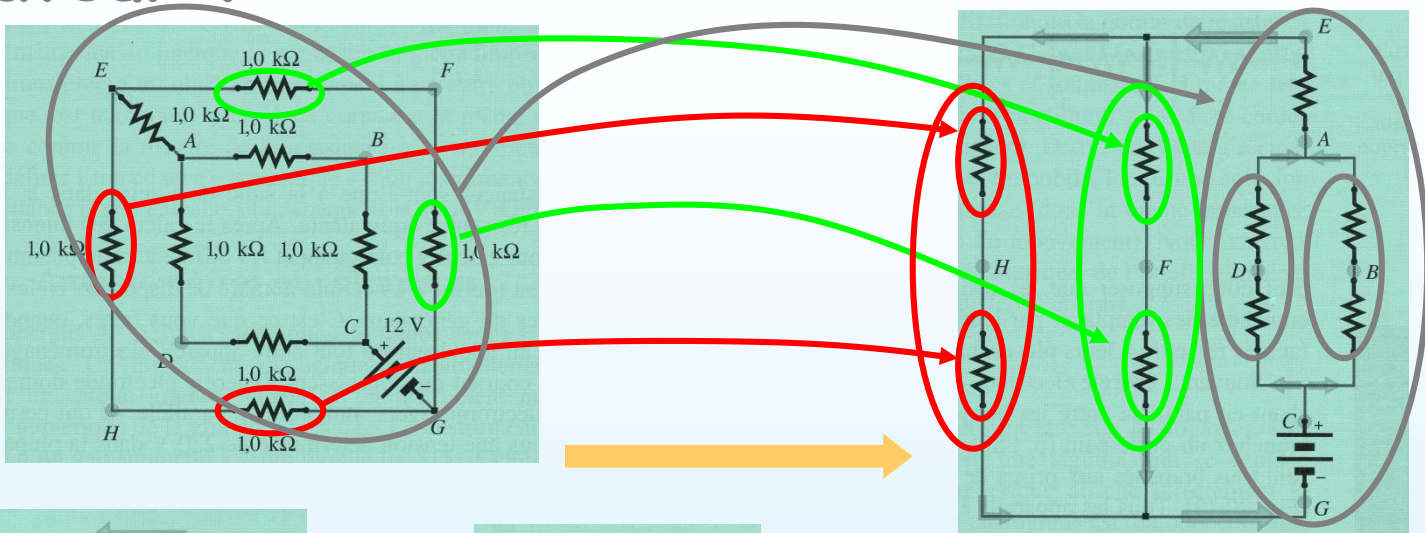
$$\frac{(10,0\ \Omega)(10,0\ \Omega)}{(10,0\ \Omega) + (10,0\ \Omega)} = 5,0\ \Omega$$



# Simplification dans réseau de résistances avec générateur

$I$  générateur ?

$\Delta V_{EG}$  ?



$$I = \frac{V}{R_e} = \frac{12V}{3000 \Omega} = 0,004 A$$

$$V_C - V_E = 0,004 A \times 2000 \Omega = 8 V$$

$$V_E - V_G = (V_E - V_C) + (V_C - V_G) = -8V + 12V = 4V$$

- **Loi de Joule**

Energie  $w=R I^2 t$  (Joule)

- Pour les dipôles soumis à la loi d'Ohm, le passage du courant électrique qui les parcourt provoque leur échauffement ou dégagement de chaleur : ce phénomène est aussi appelé effet Joule.

- **Puissance électrique:**

La puissance est définie comme la quantité d'énergie délivrée par unité De temps:

$$P= W/\Delta t = UI$$

L'unité de puissance est le Watt.

- Puissance par effet joule:  $P=R I^2=V I= V^2/R$  (Watt)

La puissance mesure la « rapidité » avec laquelle le travail est fait.



## 3-2- Les générateurs

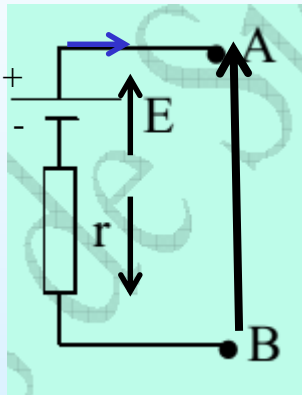
Le générateur est un dispositif capable de délivrer un courant dans le circuit extérieur sous une tension généralement continue.

Le générateur présente à ses bornes une f.e.m ou d.d.p qui s'exprime en volt. C'est la tension aux bornes du générateur mesurée « à vide » c'est à dire quand  $I = 0$

$$I=0 = \text{"à vide"} \Rightarrow \text{f.e.m. } E \quad ; \quad I \neq 0 = \text{"en charge"} \Rightarrow \text{tension } U$$

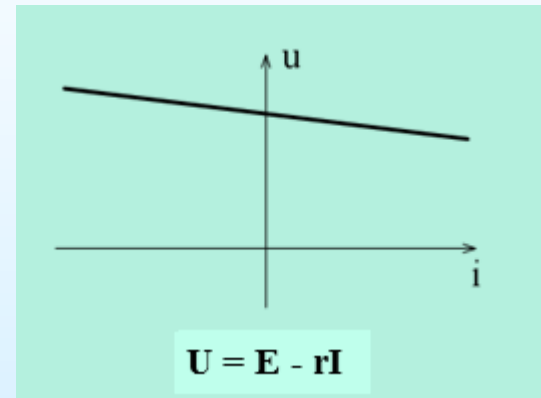
- **Schéma équivalent d'un générateur réel**

On peut représenter un générateur par un circuit équivalent constitué d'une force électromotrice (f.e.m) en série avec une résistance  $r$ , appelée résistance interne du générateur.



$E$  : f.e.m

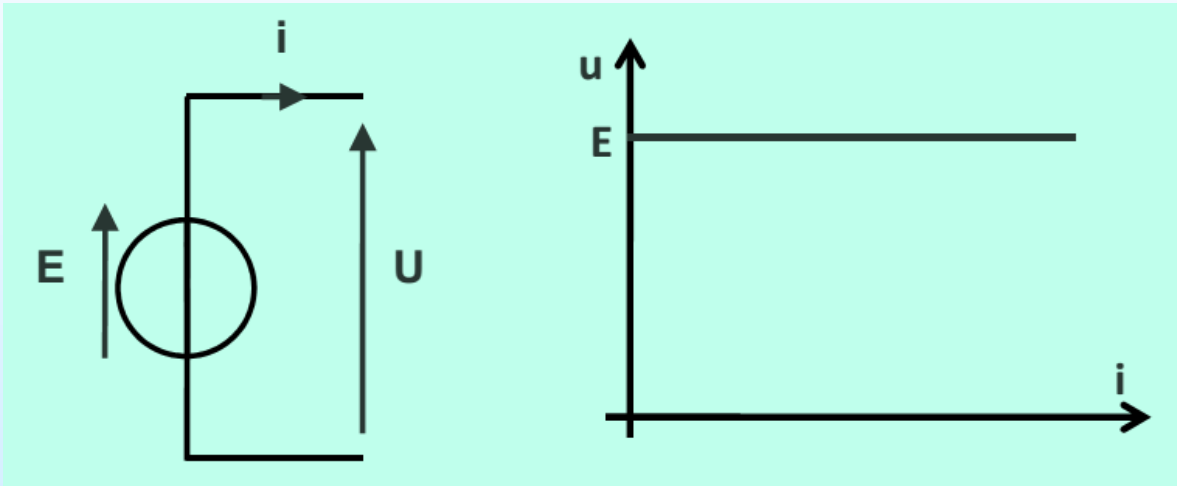
$r$  : résistance interne



- La loi d'Ohm pour un générateur réel est:  $(V_A - V_B) = E - rI$
- La résistance interne induit une chute de tension.

- **Générateur idéal:**

Un générateur de tension idéal délivre une tension constante  $E$  quel que soit le courant  $i$  délivré par celui-ci. Cette tension est la force électromotrice (f.e.m) du générateur.



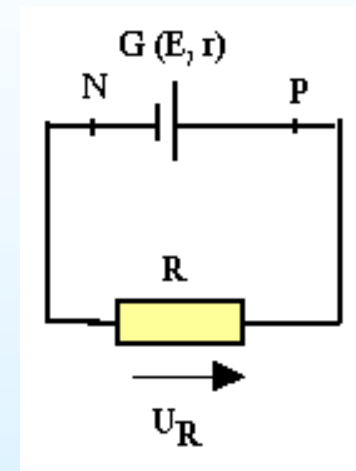
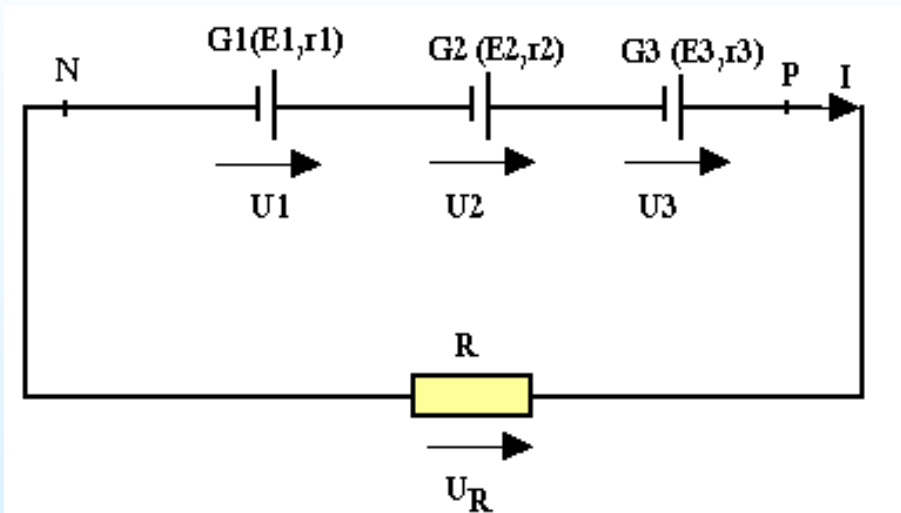
$$U = E$$

- La résistance interne d'un générateur de tension idéal est nulle

- **Groupements de générateurs:**

- **Groupement en série**

Deux générateurs sont en série si la borne positive de l'un est reliée à la borne négative de l'autre.



$$\begin{aligned}
 V_p - V_N &= U_1 + U_2 + U_3 = U_R \\
 &= E_1 - r_1 \cdot I + E_2 - r_2 \cdot I + E_3 - r_3 \cdot I \\
 &= E_1 + E_2 + E_3 - I(r_1 + r_2 + r_3)
 \end{aligned}$$

$$V_p - V_N = E - I \cdot r$$

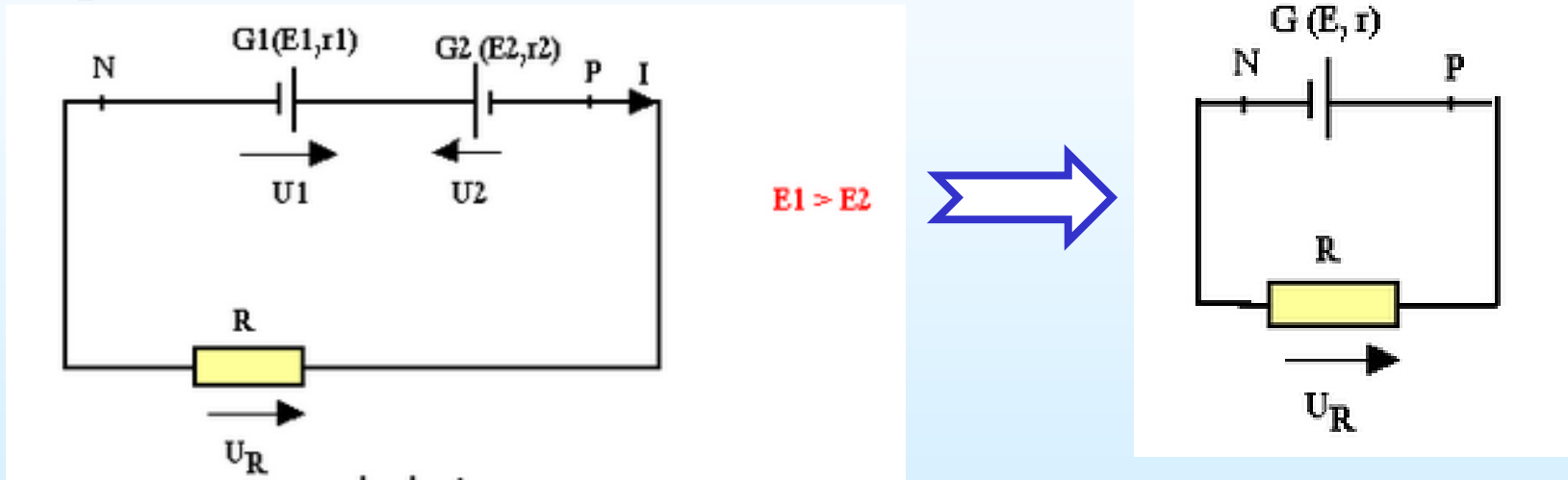
$$\begin{cases}
 E = E_1 + E_2 + E_3 \\
 r = r_1 + r_2 + r_3
 \end{cases}$$

- **Emploi:**  
Obtention d'une FEM supérieure à celle d'un élément

## ➤ Groupement en opposition

Deux générateurs sont reliés en opposition lorsque la borne négative de l'un est reliée à la borne négative de l'autre, ou l'inverse (+,+).

C'est le générateur qui a la plus grande force électromotrice qui impose le sens du courant, l'autre générateur se comporte comme un récepteur.



$$\begin{aligned}
 V_p - V_N &= U_1 - U_2 = U_R \\
 &= E_1 - r_1 \cdot I - (E_2 + r_2 \cdot I) \\
 &= E_1 - r_1 \cdot I - E_2 - r_2 \cdot I \\
 &= E_1 - E_2 - I(r_1 + r_2)
 \end{aligned}$$

$$V_p - V_N = E - r \cdot I$$

$$\begin{cases}
 E = E_1 - E_2 \\
 r = r_1 + r_2
 \end{cases}$$

## ➤ Groupement en //

Les bornes de même signes sont reliées entre elles.

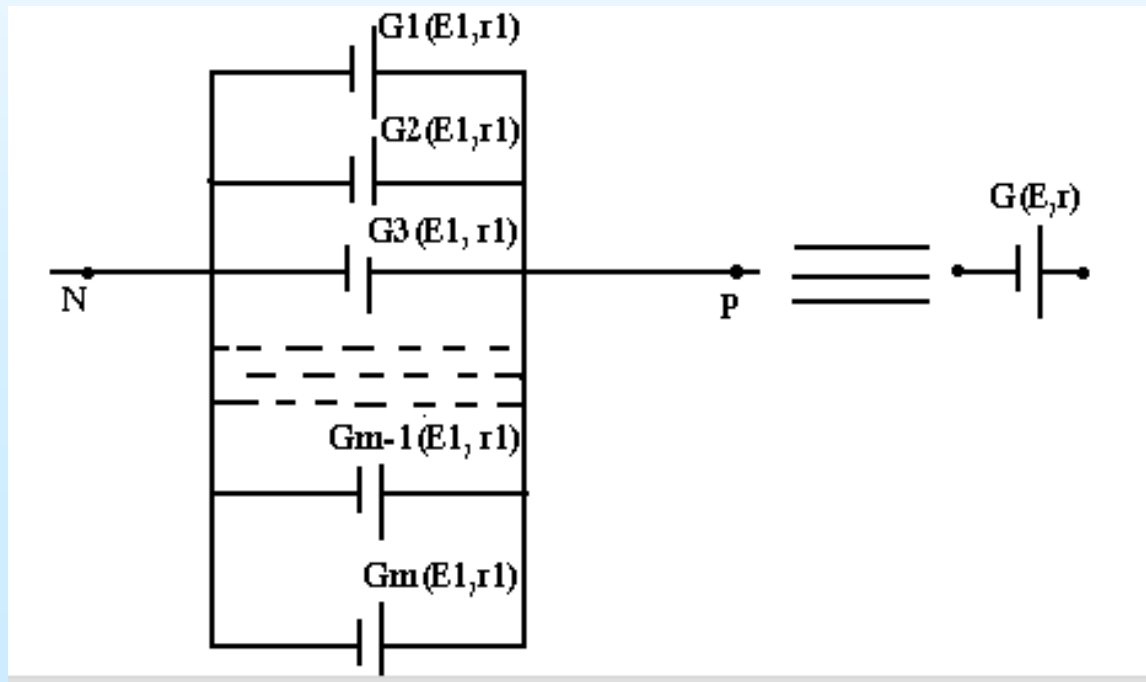
### Propriétés

- La f.e.m de l'ensemble est égale à celle d'un élément  $E = e$

La résistance interne de l'ensemble  $R_i = r/n$  (n résistances en // )

- Courant débité  $I = E / R_i + R$

**Emploi:** obtention de courant n fois celui débité par chaque GN



➤ **Puissance dans un générateur**

- **Puissance par effet Joule:** Due à la résistance interne du générateur  $P_J = R.I^2$
- **Puissance Utile:** C'est la puissance que fournit le générateur au circuit extérieur:  $P_u = U.I$   
U: la d.d.p aux bornes du générateur  
I: le courant qu'il débite.
- **Puissance électrique totale:** C'est la puissance totale fournie  
 $P_{el} = P_J + P_u = U.I + R.I^2$

- Energie  $W$  fournie par le générateur sera:  $W = E.I.t = E.Q$ ,  
avec:

$W$  en J,  $E$  en V,  $I$  en A,  $t$  en s,  $Q$  en C

- On définit le rendement  $\eta$  du générateur comme le rapport de l'énergie fournie par le générateur sur l'énergie reçue :

$$\eta = \frac{\text{énergie reçue}}{\text{énergie fournie}} \quad \longrightarrow \quad \eta = \frac{P_U}{P_{et}} = \frac{U.I}{E.I} = \frac{U}{E} \quad \longrightarrow \quad \eta = \frac{E - ri}{E} = 1 - \frac{ri}{E}$$

Pour avoir un bon rendement il faut que la résistance interne soit le plus faible possible.



### 3-3- Les récepteurs:

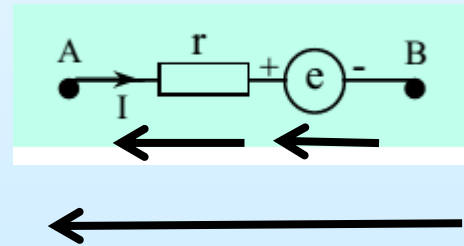
#### Définition:

On appelle **récepteur** tout dispositif capable de transformer de l'énergie électrique en une autre forme d'énergie (mécanique - moteurs, chimique - cuve à électrolyse, ..).

Le récepteur est caractérisé par sa force contre électromotrice (f.c.e.m)  $e$  et sa résistance interne  $r$ .

#### Loi d'Ohm pour un récepteur:

$$U = e + rI$$



➤ **Puissances dans un récepteur:**

- **Puissance absorbée (Pa):** C'est la puissance fournie au récepteur par le générateur qui l'alimente:  $P_a = U.I$   
U: la d.d.p aux bornes du récepteur.
- **Puissance perdue:** Energie dissipée par effet Joule.  $P_j = r I^2$
- **Puissance électrique utile:** C'est l'énergie transformée en une autre forme d'énergie, autre qu'électrique,

$$P_{\text{éu}} = P_a - P_j = U.I - r.I^2$$

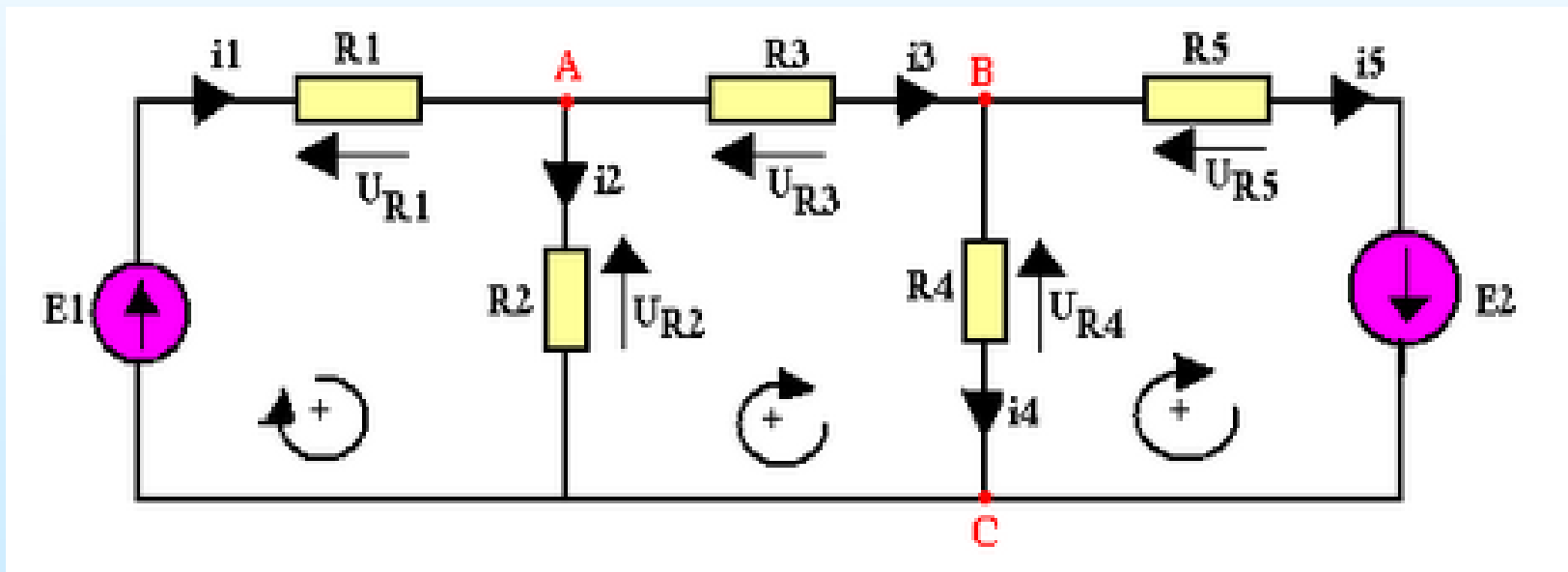
➤ **Rendement électrique d'un récepteur:**

$$\eta = \frac{P_{eu}}{P_a} = \frac{E.I}{U.I} = \frac{E}{U}$$

## 4- Théorèmes sur les circuits linéaires en régime continu: Loi de KIRCHOFF

L'objectif est d'analyser des circuits et de calculer les tensions/courants de ces circuits.

Soit le circuit suivant :



## Définitions :

On définit ainsi les termes suivants :

- **un circuit/réseau:** est un ensemble de composants ou dipôles reliés par des fils de connexion qui peut être analysé en terme de nœuds, de branches et de mailles;
- On appelle **Nœud** tout point où aboutissent plus de deux conducteurs reliant les éléments entre eux;
- On appelle **Branche**, l'ensemble des éléments situés entre deux nœuds consécutifs ;
- On appelle **Maille**, tout contour fermé, formé d'une suite de branches.

## Lois de Kirchoff

1. Loi des Nœuds :

$$\sum I = 0$$

2. Loi des Mailles :

$$\sum E + \sum RI = 0$$

Dans notre exemple on compte 3 nœuds, 5 branches et 3 mailles.

## Règles

- On définit un sens arbitraire des courants
- Flécher les tensions  $E$  et  $RI$
- On définit un sens arbitraire des parcours
- Lois utilisées: loi des nœuds (1ere loi de Kirchoff) et loi des mailles( 2eme loi de Kirchoff).

### ➤ **Système d'équations obtenu avec les lois de Kirchoff:**

- ❑ Les intensités des courants de chaque branche sont les inconnues du problème.
- ❑ Le nombre d'équations à écrire = nombre de courant = nombre de branche

Soit **B** le nombre de branche

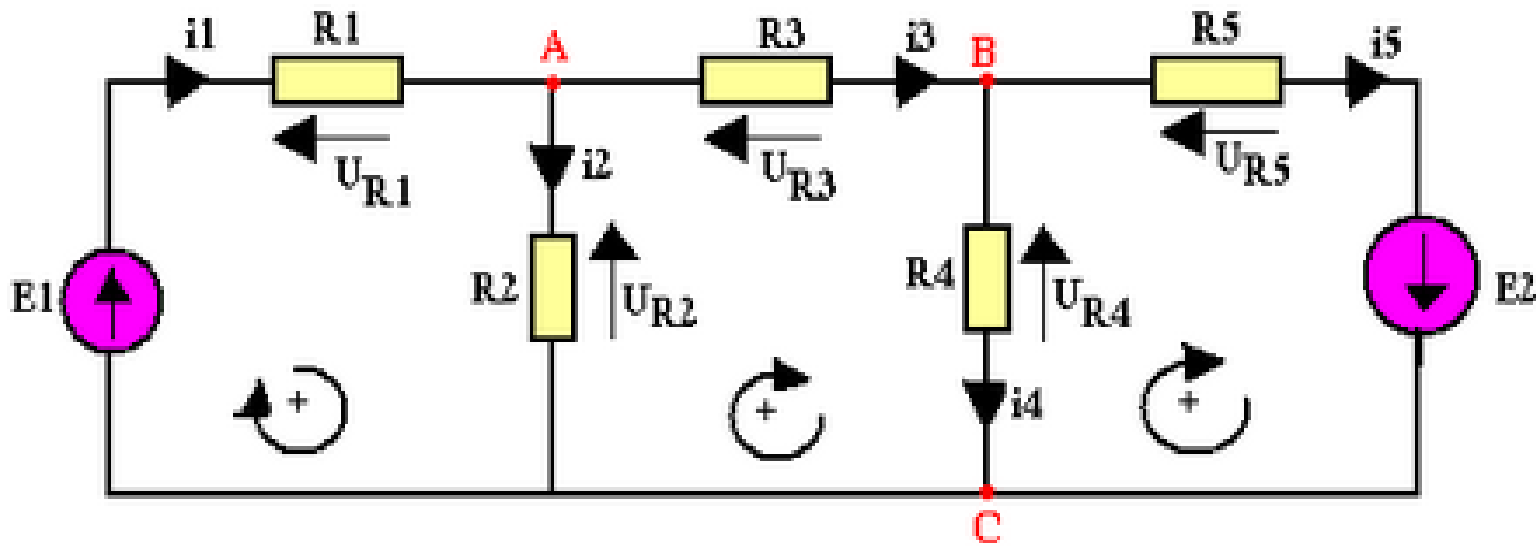
- ❑ Il faut avoir nombre d'équation indépendantes = nombre d'inconues
- ❑ S'il y'a **n** nœud on obtient **(n-1)** équations indépendantes de courant (1ere loi de Kirchoff)

- On a **B** inconnues, le nombre de mailles indépendantes est **m** et est égal au nombre d'équation de tension à écrire (2eme loi de Kirchoff),

$$\mathbf{m} = \mathbf{B} - (\mathbf{n}-1)$$

- On effectue finalement la résolution du système d'équation par l'un des procédés classiques appris en mathématique.

## Exemple 1



On attribue à chaque maille un sens de parcourt de courant arbitraire. On compte le nombre de nœud ( $n=3$ ). On écrit  $n-1$  équation de nœud. Deux équations possibles.

$$\text{Nœud A: } i_1 = i_2 + i_3$$

$$\text{nœud B: } i_3 = i_4 + i_5$$

On compte le nombre de branche ( $b=5$ ), on écrit  $b-n+1$  équation de maille

$$\leftrightarrow 5 - 3 + 1 = 3$$

$$\begin{cases} E1 - UR1 - UR2 = 0 \\ UR2 - UR3 - UR4 = 0 \\ UR4 - UR5 + E2 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} E1 - R1.i1 - R2.i2 = 0 \\ R2.i2 - R3.i3 - R4.i4 = 0 \\ R4.i4 - R5.i5 + E2 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} i1 - i2 - i3 = 0 \quad (1) \\ i3 - i4 - i5 = 0 \quad (2) \\ R1.i1 + R2.i2 = E1 \quad (3) \\ R2.i2 - R3.i3 - R4.i4 = 0 \quad (4) \\ -R4.i4 + R5.i5 = E2 \quad (5) \end{cases}$$



## Exemple 2

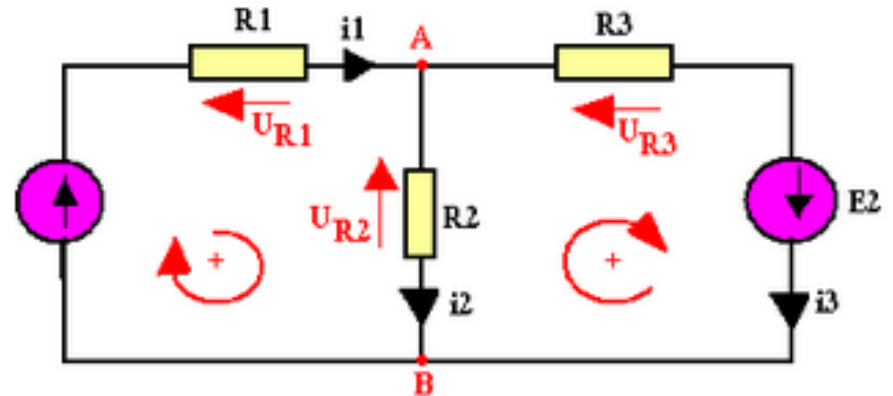
$$E1 = 100V$$

$$R1 = 10 \Omega$$

$$R3 = 10 \Omega$$

$$E2 = 40V$$

$$R2 = 5 \Omega$$

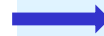


Calcul de  $i1$ ,  $i2$  et  $i3$  avec  $n=3$  et  $b=3$

$$\begin{cases} i1 = i2 + i3 & (1) \\ E1 - R1.i1 - R2.i2 = 0 & (2) \\ R2.i2 - R3.i3 - E2 = 0 & (3) \end{cases}$$

$$\begin{cases} E1 - R1.i1 - R2(i1 - i3) = 0 \\ R2(i1 - i3) - R3.i3 - E2 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} E1 - (R1 + R2)i1 + R2.i3 = 0 \\ R2.i1 - (R2 + R3)i3 - E2 = 0 \end{cases}$$



$$\begin{cases} -(R1 + R2)i1 + R2.i3 = -E1 \\ R2.i1 - (R2 + R3)i3 = E2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} -15i1 + 5i3 = -100 \\ 5i1 - 15i3 = 40 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 3i1 - i3 = 20 & (1) \\ i1 - 3i3 = 8 & (2) \end{cases}$$



$$i1 = 6,5A; \quad i3 = -0,5A; \quad i2 = 7A$$