

# RESEAUX ELECTRIQUES

- Générateur et Force électromotrice.
- Force contre électromotrice d'un récepteur.
- Exemples pratiques de générateurs et de Récepteurs.
- Application de la loi D'Ohm à une portion de circuit.
- Généralisation de la loi D'Ohm : lois de Kirchhoff.
- Charge et décharge d'un condensateur.

# RÉSEAUX ELECTRIQUES

## Plan du cours

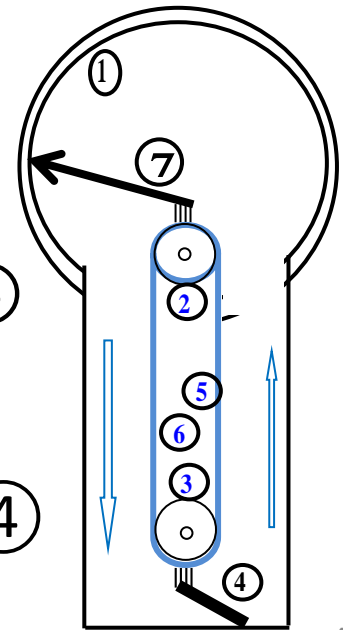
- ▶ Générateur et Force électromotrice
- ▶ Force contre électromotrice d'un récepteur
- ▶ Exemples pratiques de générateurs et de Récepteurs
- ▶ Application de la loi D'Ohm à une portion de circuit
- ▶ Généralisation de la loi D'Ohm : lois de Kirchhoff
- ▶ Charge et décharge d'un condensateur



**Par A.DIB**

# Générateur électrostatique de Van de Graaf

- Sphère creuse métallique ①
- **Poulie** supérieure (en Nylon) ②
- **Poulie** inférieure (en Téflon), son axe est relié à un moteur ③
- Partie de la courroie chargée **positivement** ⑤ et chargée **négativement** ⑥
- **Électrode** inférieure (**E1**) destinée à collecter les charges positives(peigne) ④
- **Électrode** (**E2**) connectée à la sphère, un peigne est au plus près de la courroie ⑦



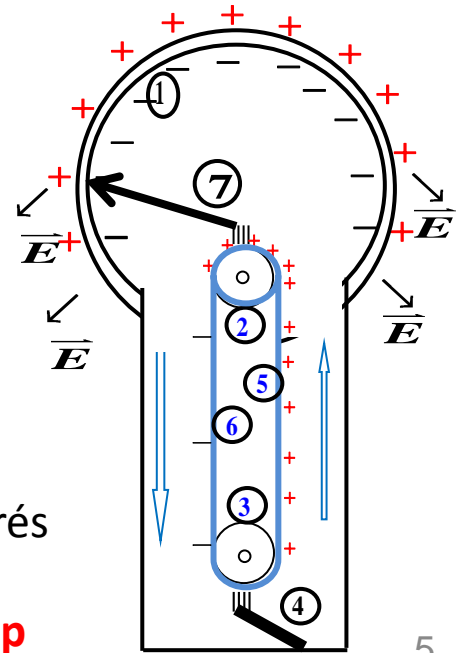
# Générateur électrostatique de Van de Graaf

La courroie isolante, actionnée par un moteur sert de transporteur de charges. Elle reçoit des charges + en 4 par l'intermédiaire d'un peigne ( ces charges sont dues soit par frottement soit par un générateur auxiliaire auquel est relié la poulie 3 )

Les charges + arrivent au niveau de la poulie (2), qui par influence totale charge la sphère métallique creuse 1, - à l'intérieur et + à l'extérieur de la sphère.

Grace à un peigne 7 les charges internes de la sphère viennent neutraliser celles que porte la courroie et celle-ci redescend à peu près déchargée, ou légèrement chargée négativement.

**Le potentiel de la sphère s'élève. Entre 1 et le sol apparait un champ électrique  $E$ .**

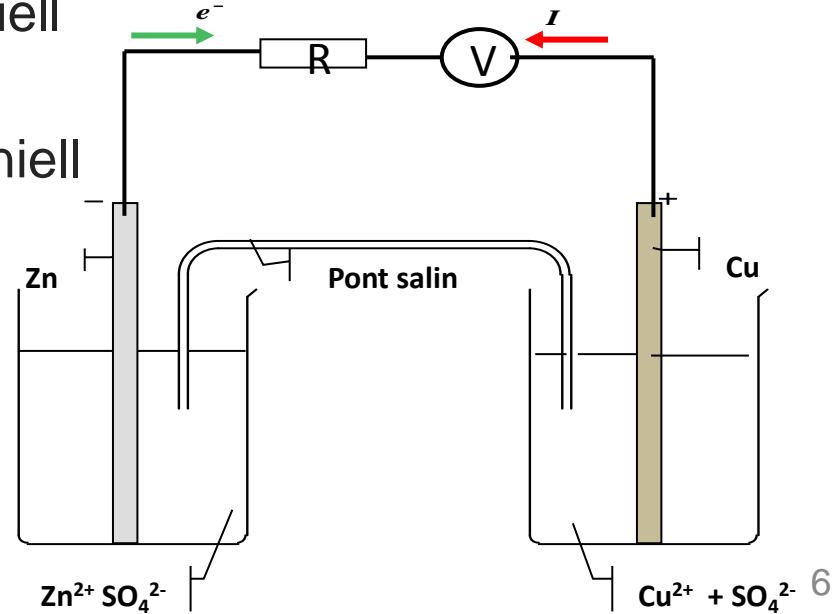


# Générateur électrochimique.

La **pile Daniell** a été inventée par le [chimiste](#) britannique [John Daniell](#) en 1836 au moment où le développement du [télégraphe](#) faisait apparaître un besoin urgent de sources de courant sûres et constantes.

- Pile Daniell

- John Daniell en 1836

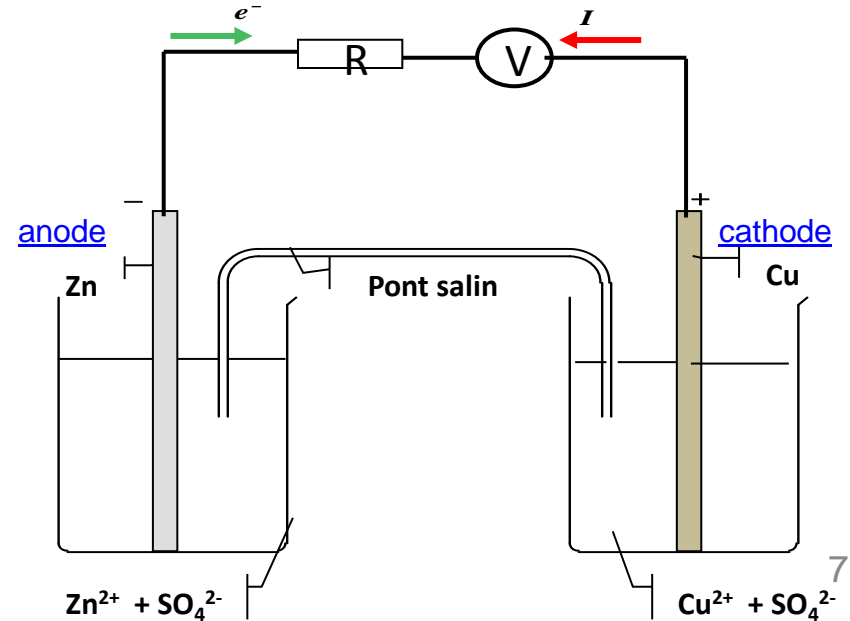


# Pile Daniell

La pile électrique Daniell est constituée d'une anode (lame de zinc plongée dans une solution contenant du sulfate de zinc)

et d'une cathode (lame de cuivre plongée dans une solution contenant du sulfate de cuivre)

Les deux solutions sont reliées par un pont salin (solution de chlorure de potassium (KCl)) qui sert à équilibrer les charges.

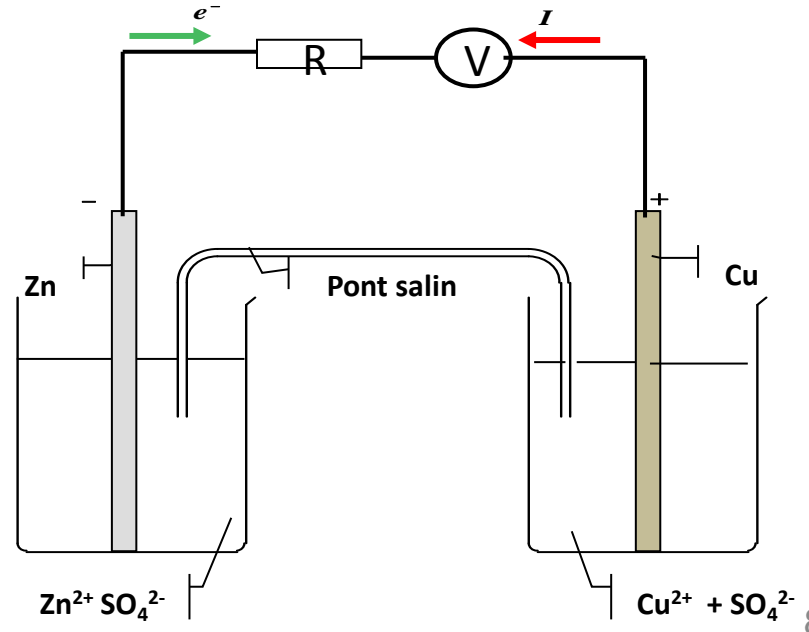


# Pile Daniell

Dans le pont électrolytique (ou pont salin),

- deux ions chlorure ( $\text{Cl}^-$ ) dérivent vers la solution de sulfate de zinc.
- deux ions potassium ( $\text{K}^+$ ) traversent le pont salin pour rééquilibrer la solution de cuivre.

Le pont électrolytique sert ainsi à fermer le circuit électrique, assure la neutralité des solutions tout en assurant le passage du courant dans la pile.

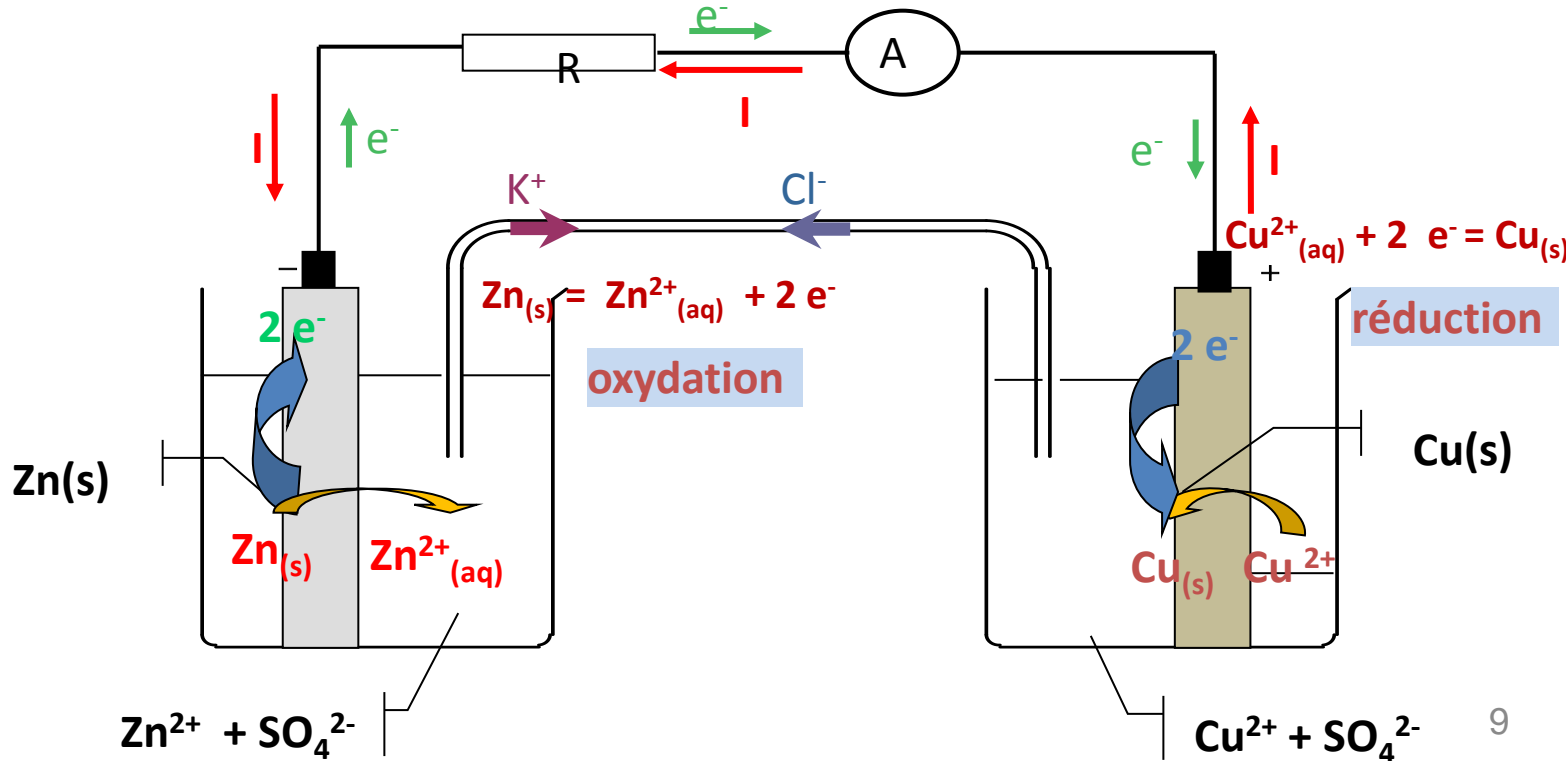




# Pile Daniell

- Animation

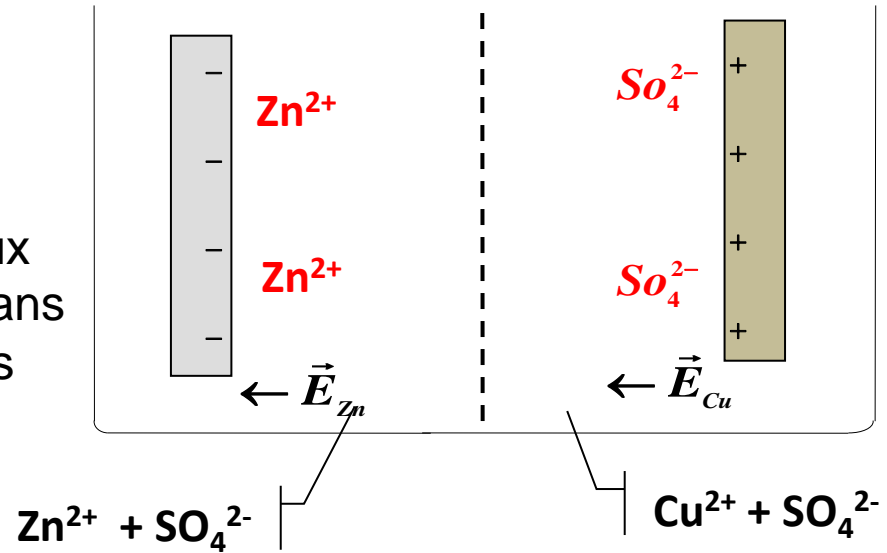
Après avoir brancher la pile sur un circuit extérieur les électrons libérés par Zn se déplacent vers la cathode et un courant électrique circule en sens inverse.



# Fonctionnement de la pile mécanisme chimique

Au bout d'un certain temps le mécanisme d'oxydo-réduction s'arrête et le dépôt de cuivre sur l'électrode cesse.

On aboutit dès lors à un état d'équilibre: deux champs  $E_{Zn}$  et  $E_{Cu}$  aux interfaces, dirigés dans le même sens, auxquelles correspondent les deux d.d.p (0,76 V et 0,34 V).



# Fonctionnement de la pile

Le potentiel de l'électrode de zinc est donc :  $V_{\text{zn}} = -0.76 \text{ V}$

Le potentiel de l'électrode de cuivre est donc :  $V_{\text{cu}} = +0.34 \text{ V}$

**Les électrons libérés se dirigent alors vers l'autre électrode de la pile (le pôle +) en créant un courant dans le circuit.**

## Étude des deux demi-piles :

- **Demi-pile du zinc :  $\text{Zn} \rightarrow \text{Zn}^{2+} + 2e^-$**

$$V_{\text{zn}} = V_- \approx -0,76\text{V}$$

- **Demi-pile de cuivre :  $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightarrow \text{Cu}$**

$$V_{\text{cu}} = V_+ \approx +0,34\text{V}$$

# Fonctionnement de la pile

La différence de potentiel aux bornes de la pile en circuit ouvert est la différences enregistrée entre le potentiel propre à chaque interface.  $V_o = V_+ - V_- = 1.10 \text{ V}$ .

• **d.d.p aux bornes de la pile (f.é.m.)**

$$V_o = V_+ - V_- = 1,10V$$

C'est ce qu'on appelle la « force électromotrice du générateur(f.é.m) »

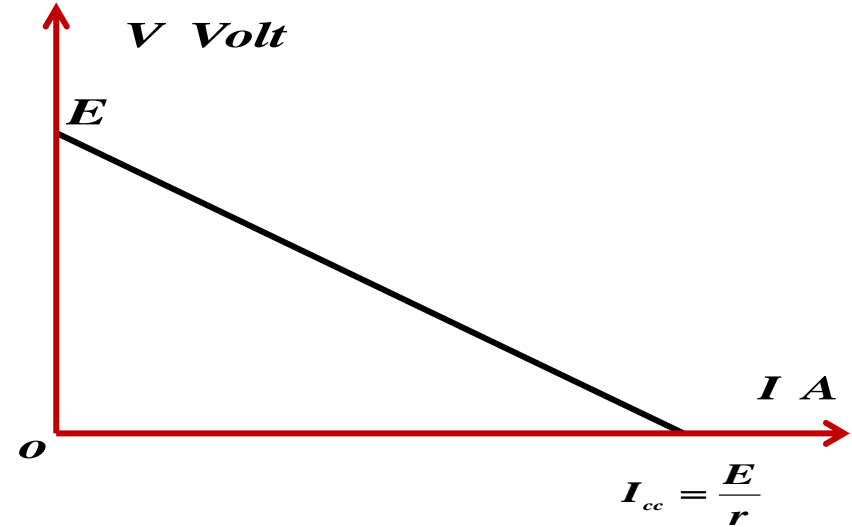
# Caractéristique électrique de la pile

$$V(I) = (V_A - V_B) \\ = E - rI$$

$$(V_A - V_B) = E - rI$$

Si  $V_A = V_B$ , on a un court circuit:

$I_{cc}$  est le courant de court circuit.



# Début Réseaux

# Force électromotrice d'un générateur.(f.é.m.)

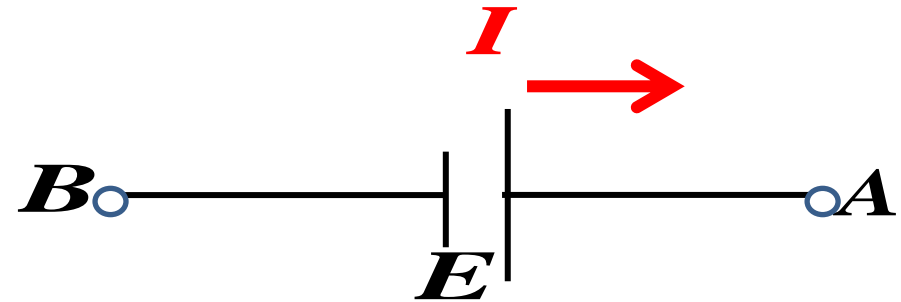
**Le mot force est trompeur  
puisque'il ne s'agit nullement  
d'une force, mais d'un  
différence de potentiel, ou si  
l'on préfère d'une énergie par  
unité de charge transportée.**

L'origine de la « force électromotrice » dans un circuit en courant continue est dû à un certain mécanisme qui , à l'intérieur du générateur, transporte les porteurs de charges dans le sens opposée à la force électrique à laquelle ils sont soumis.

# Schéma équivalent d'un générateur.

On les représente schématiquement par deux traits l'un plus grand représente la borne + et l'autre la borne -

Le passage du courant est une convention internationale qui a été retenue historiquement.



• *d.d.p aux bornes du  
générateur :  $(V_A - V_B) = V = E$*



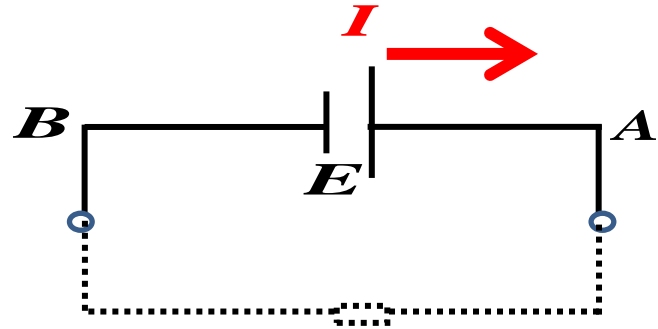
# Bilan d'énergie d'un générateur.

Énergie:  $qV = q(V_A - V_B)$

On ferme le circuit.

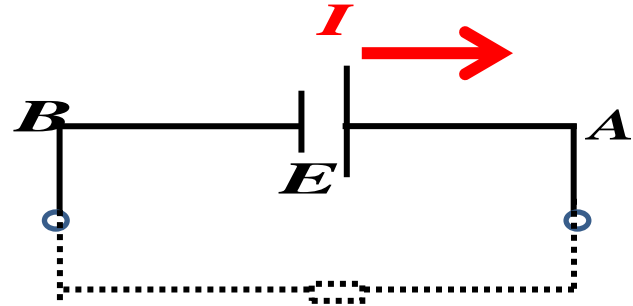
Si on fait passer un courant électrique jusqu'à ce qu'une charge  $Q$  ait traversé le circuit, une énergie  $= EQ$  (fournie par le générateur) est dissipée aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur du générateur.

En termes de puissance on considère que la charge  $Q$  qui traverse le circuit pendant  $\Delta t$  est  $Q = I\Delta t$ .



La puissance (énergie) fournie par le générateur est :  $P_f = \frac{EQ}{t} = EI$

# Bilan d'énergie d'un générateur.



La puissance (énergie) fournie par le générateur est :

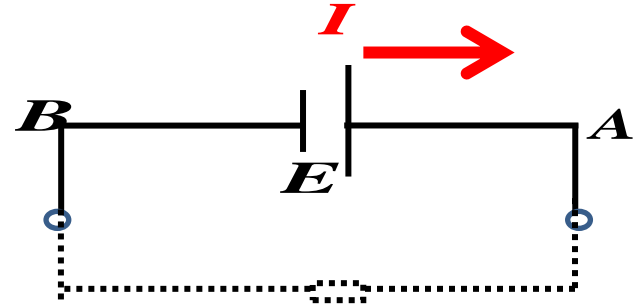
$$P_f = \frac{EQ}{t} = EI$$

La puissance (énergie) consommée dans le circuit extérieur est:  $P_C = (V_A - V_B) I$

Energie dissipée par effet joule dans le générateur:  $rI^2 t \Rightarrow P_{eff} = rI^2$

# Bilan d'énergie d'un générateur.

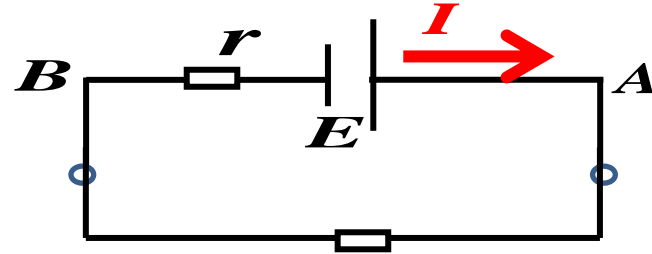
Dans le circuit intérieur au générateur, les solutions sulfatées de zinc et de cuivre se comporte comme des résistances ordinaire; la charge  $Q$  y perd une partie de son énergie.



Puissance consommée à l'intérieur du générateur est :  $P_c' = rI^2$

Energie dissipée par effet joule dans le générateur:  $rI^2t$

# Bilan d'énergie d'un générateur.



Bilan d'énergie :  $\bullet EI = (V_A - V_B) I + rI^2$

Rendement du générateur est :  $\bullet \mathfrak{R} = \frac{P_c}{P_f} = \frac{(V_A - V_B) I}{EI}$

d.d.p au bornes du générateur est :  $\bullet (V_A - V_B) = E - rI$

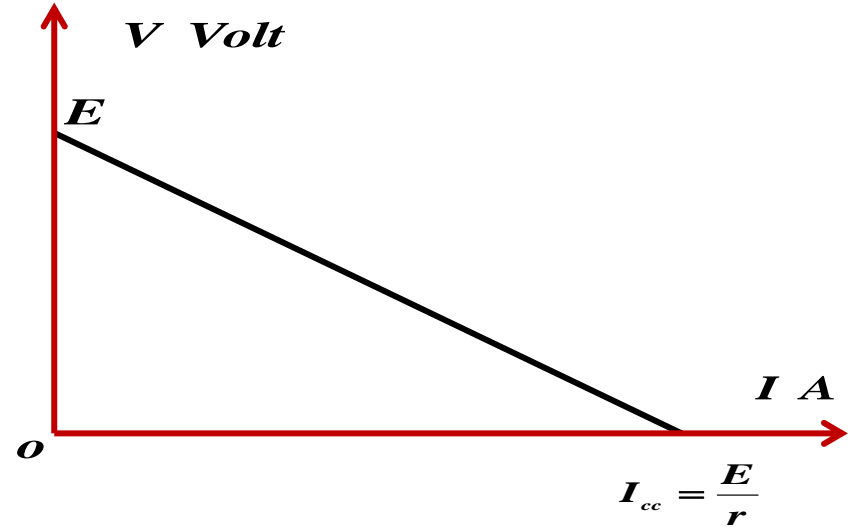
# Caractéristique électrique de la pile

$$V(I) = (V_A - V_B) \\ = E - rI$$

$$(V_A - V_B) = E - rI$$

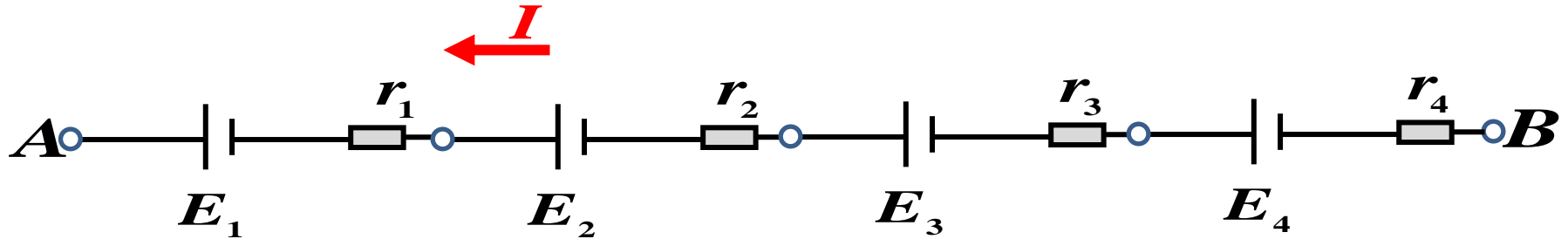
Si  $V_A = V_B$ , on a un court circuit:

$I_{cc}$  est le courant de court circuit.



# Association de générateurs en série.

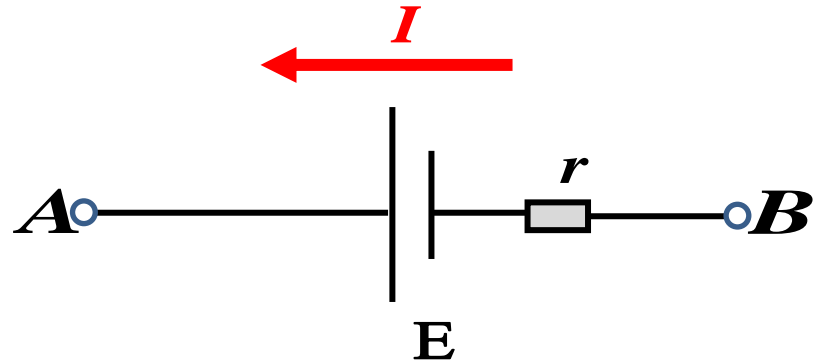
Deux générateurs sont dits en série s'ils sont parcourus par le même courant et si la borne + de l'un est reliée à la borne – de l'autre .



$$(V_A - V_B) = (E_1 - r_1 I) + (E_2 - r_2 I) + (E_3 - r_3 I) + (E_4 - r_4 I)$$

$$(V_A - V_B) = (E_1 + E_2 + E_3 + E_4) - (r_1 + r_2 + r_3 + r_4) I$$

# Schéma équivalent



$$(V_A - V_B) = E - rI \quad \left\{ \begin{array}{l} E = \sum_i E_i \\ r = \sum_i r_i \end{array} \right.$$

# 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, calorifique ..). Comme pour les autres dipôles, on distingue les récepteurs passifs, dont la caractéristique passe par l'origine, et les récepteurs **actifs**, pour lesquels la tension aux bornes n'est pas nulle en l'absence de courant.

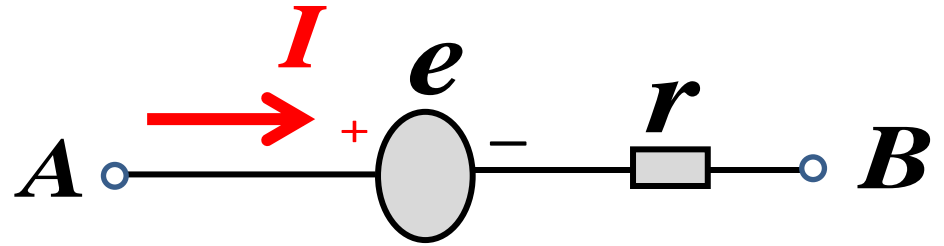
On ne peut réaliser cette opération sans perte d'énergie par effet Joule dans le récepteur. **Ces pertes sont caractérisées par une résistance interne  $r$ .**

- Force contre électromotrice d'un récepteur (f.c.é.m.):  $\mathcal{E}$



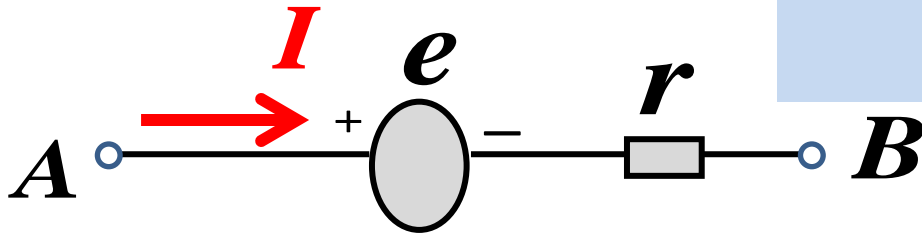
# Schéma équivalent d'un récepteur pur.

Un récepteur pur est schématisé par un  
cercle qui caractérise la f.c.é.m.  $e$



et d'une résistance  $r$  caractérise les perte  
par effet joule dans le récepteur.

# Bilan d'énergie d'un récepteur.



Puissance reçue sous forme électrique :  $P_{recu} = (V_A - V_B) I$

Puissance utilisable :  $P_{utilisable} = eI$

Puissance dissipée sous forme de chaleur dans le récepteur :  $P_{joule} = rI^2$

Bilan d'énergie :  $(V_A - V_B) I = eI + rI^2$

Le rendement d'un récepteur est égale au rapport de la puissance utilisable sur la puissance reçu sous forme électrique .  $\Re = \frac{P_{uti}}{P_{rec}} = \frac{eI}{(V_A - V_B) I}$

d.d.p au bornes du récepteur est :  $(V_A - V_B) = e + rI$

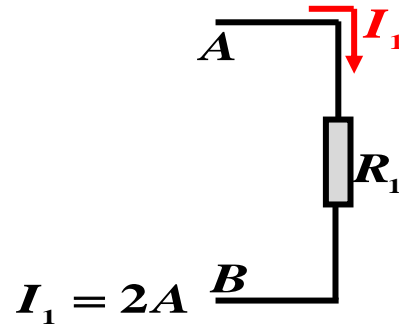
# Notion de générateur de tension.

• Générateur :  $R_{ext} \gg r$

$$(V_A - V_B) = E - rI$$

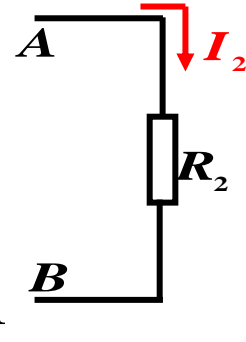
$$E = 100V \quad r = 0,01\Omega$$

$$R_1 = 50\Omega \quad R_2 = 100\Omega$$



$$I_1 = 2A$$

$$(V_A - V_B) = 100V$$



$$I_2 = 1A$$

$$(V_A - V_B) = 100V$$

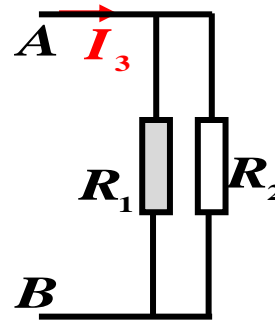
# Notion de générateur de tension.

•Générateur :  $R_{ext} \gg r$

$$(V_A - V_B) = E - rI$$

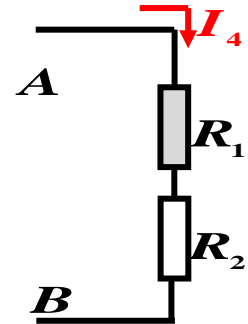
$$E = 100V \quad r = 0,01\Omega \\ R_1 = 50\Omega \quad R_2 = 100\Omega$$

Un générateur de tension délivre une tension à peu près constante lorsqu'il débite sur une résistance importante dans le circuit extérieure par rapport à sa résistance interne.



$$I_3 = 3A$$

$$(V_A - V_B) = 100V$$



$$I_4 = 0,66A$$

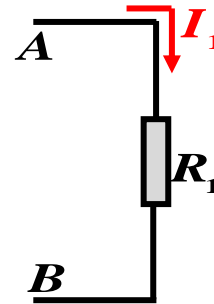
$$(V_A - V_B) = 100V$$

# Notion de générateur de courant.

• Générateur :  $r \gg R_{ext}$

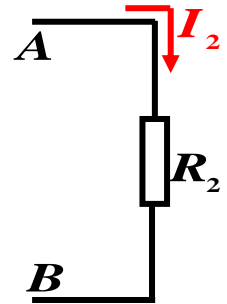
$$(V_A - V_B) = E - rI$$

$$E = 100 \text{ V} \quad r = 10^5 \Omega$$
$$R_1 = 50 \Omega \quad R_2 = 100 \Omega$$



$$I_1 = 10^{-3} \text{ A}$$

$$(V_A - V_B) = 0,05 \text{ V}$$



$$I_2 = 10^{-3} \text{ A}$$

$$(V_A - V_B) = 0,1 \text{ V}$$

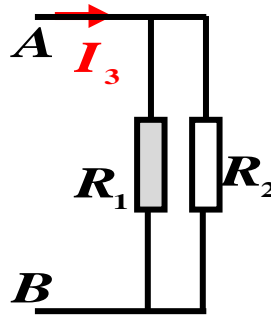
# Notion de générateur de courant.

- Générateur :  $r \gg R_{ext}$

$$(V_A - V_B) = E - rI$$

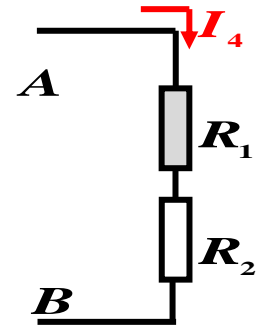
$$R_2 = 2R_1 = 100\ \Omega;$$
$$r = 100\ 000\ \Omega$$

Lorsque la résistance interne du générateur est très grande devant celle du circuit extérieur, le générateur devient un **générateur de courant**. Il délivre un courant pratiquement constant.



$$I_3 = 10^{-3}\text{ A}$$

$$(V_A - V_B) = 0,03\text{ V}$$



$$I_4 = 10^{-3}\text{ A}$$

$$(V_A - V_B) = 0,15\text{ V}$$

# Exemples d'autres générateurs

## Exemples de générateurs:

Les [piles](#), les batteries, les panneaux solaires, les dynamos, les [alternateurs](#) sont des générateurs.

Les générateurs de [courant continu](#)

Ce sont les générateurs électrochimiques comme les [piles](#) et les batteries ainsi que les cellules photovoltaïques (présentes sur les panneaux solaires).

Ils produisent une [tension](#) constante ainsi qu'un courant d'[intensité](#) constante au cours du temps.

# Les générateurs de courant alternatif

Les générateurs de courant alternatif

Le courant alternatif est produit par des alternateurs présents par exemple dans les centrales électriques, les éoliennes, les dynamos de vélo.

Ces générateurs fournissent un courant alternatif ainsi qu'une tension alternative dont la valeur varie au cours du temps en général de manière périodique.

Les prises du secteur fournissent un courant alternatif.



# Exemples de récepteurs

- en chaleur ou
  - en électricité.
- 
- Panneaux solaires .
  - Éoliennes.
- 
- Aérogénérateurs.
  - Éolienne de pompage.

# Éolienne

Une **éolienne** est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, qui est le plus souvent transformée en énergie électrique.

Les éoliennes produisant de l'électricité sont appelées aérogénérateurs,

tandis que les éoliennes qui pompent directement de l'eau sont parfois dénommées éoliennes de pompage.



# Les panneaux solaires

Les [panneaux solaires](#) sont destinés à récupérer l'énergie du [rayonnement solaire](#) pour la transformer en chaleur ou en électricité.

Dans le premier cas, les panneaux sont dits thermiques et servent, par exemple, à faire chauffer de l'eau.

Dans le deuxième cas, l'électricité est produite grâce à des [cellules photovoltaïques](#) partiellement composées de matériaux [semi-conducteurs](#).



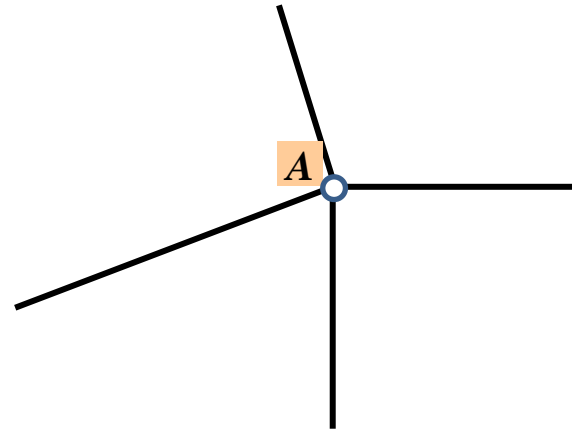
# Application de la loi D'Ohm à une portion de circuit.

## Générateurs réversibles

**Un générateur réversible est un appareil qui peut être utilisé comme générateur ou comme récepteur.**

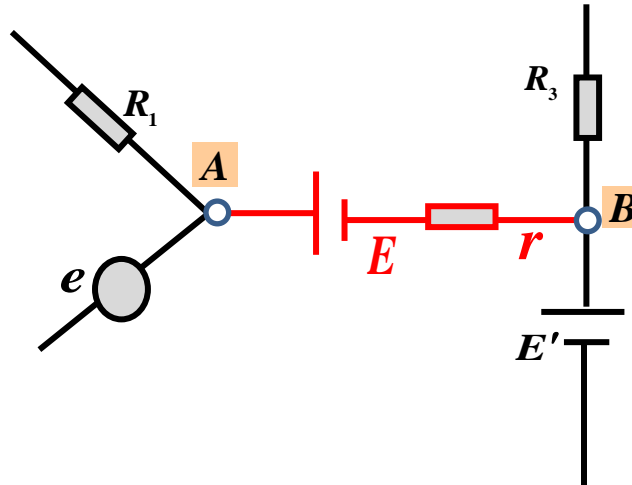
# Définition d'un nœud

- On appelle **nœud** tout point où aboutissent plus de deux conducteurs.



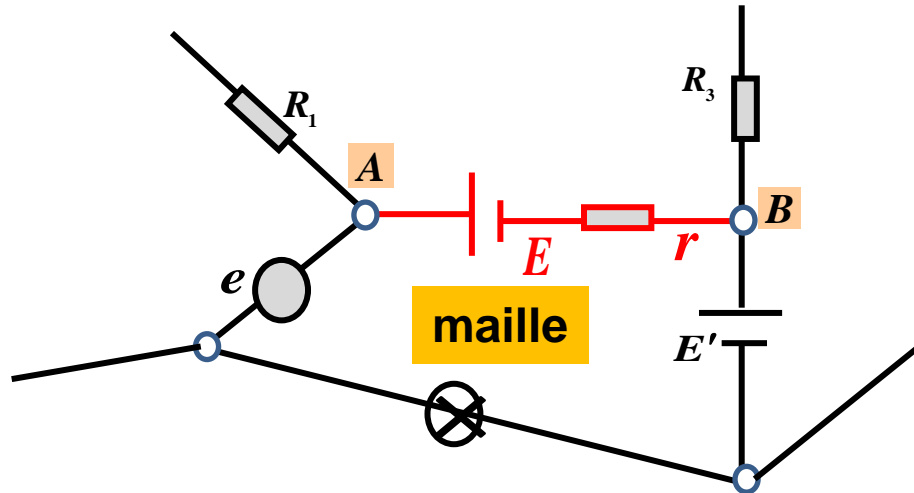
# Définition d'une branche

On appelle **branche** l'ensemble des éléments situés entre deux nœuds consécutifs.




# Définition d'une maille

- On appelle **maille** tout contour fermé, formé d'une suite de branches.

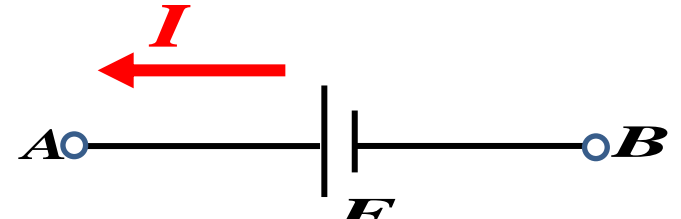


## La branche comporte des générateurs réversibles



A circuit diagram showing a branch between nodes A and B. A reversible generator, represented by two vertical lines of unequal length, is connected between A and B. A red arrow labeled  $I$  indicates current flowing from A to B. Below the generator, the symbol  $E$  is present.

$$(V_A - V_B) = E$$



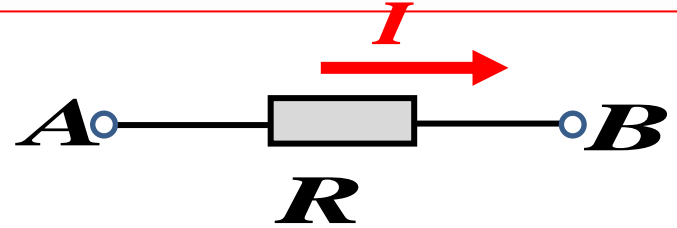
A circuit diagram showing a branch between nodes A and B. A reversible generator, represented by two vertical lines of unequal length, is connected between A and B. A red arrow labeled  $I$  indicates current flowing from B to A. Below the generator, the symbol  $E$  is present.

$$(V_A - V_B) = E$$

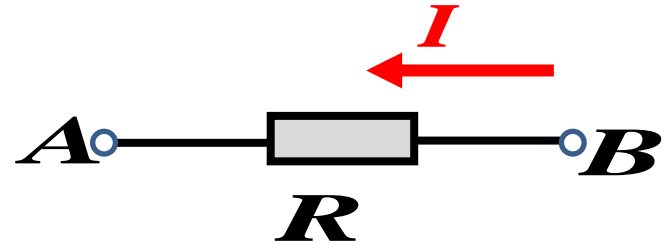
*$(V_A - V_B)$  ne dépend pas du sens de  $I$ .*



## La branche comporte des résistances



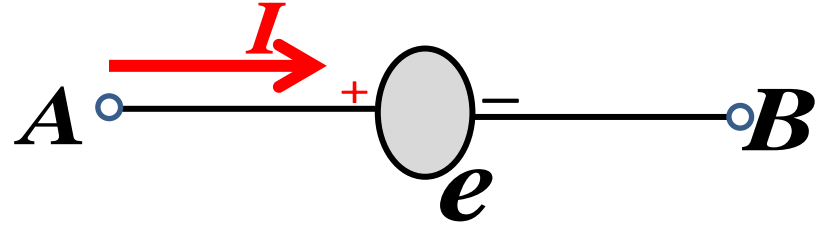
$$(V_A - V_B) = RI$$



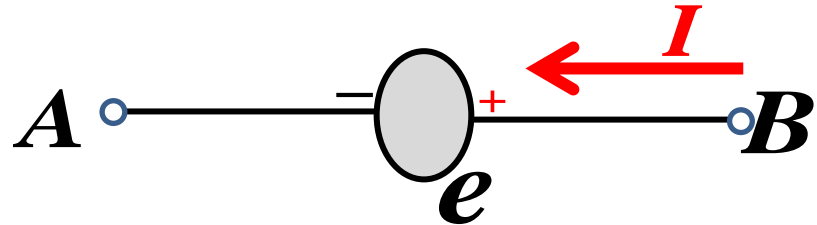
$$(V_A - V_B) = -RI$$

$(V_A - V_B)$  dépend  
du sens de  $I$ .

La branche comporte des récepteurs purs.



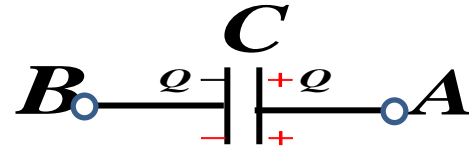
$$(V_A - V_B) = e$$



$$(V_A - V_B) = -e$$

$(V_A - V_B)$  dépend du sens de  $I$ .

La branche comporte un condensateur.

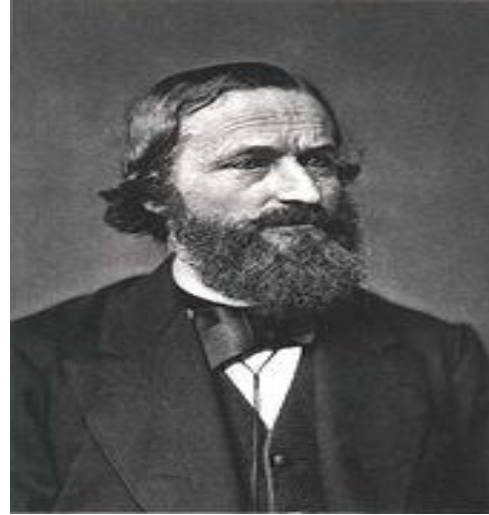


$$(v_A - v_B) = \frac{Q}{C}$$

$$(v_B - v_A) = -\frac{Q}{C}$$

# Les lois de Kirchhoff.

Les **lois de Kirchhoff** sont des propriétés physiques qui s'appliquent sur les circuits électriques(**loi des nœud et loi des maille**). Ces lois portent le nom du physicien allemand *Gustav Kirchhoff* qui les a établies en 1845.



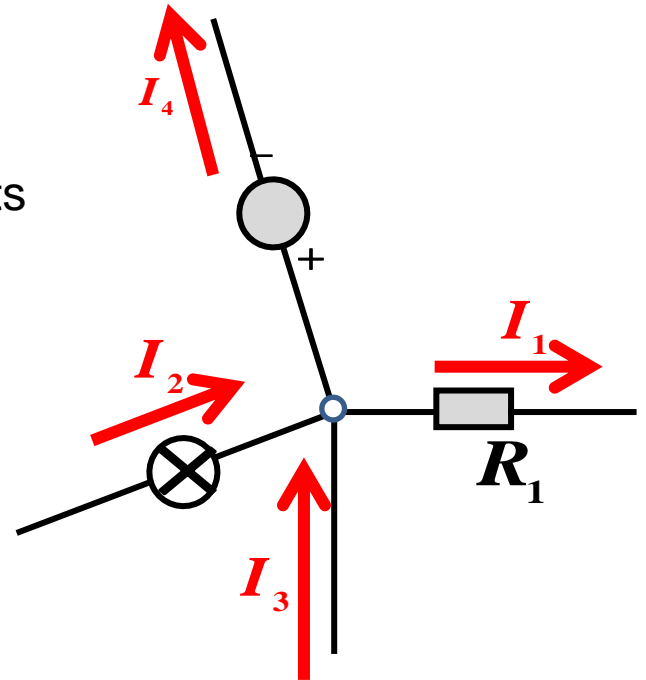
*Gustav Rober Kirchhoff*

# Formulation de la loi des nœuds

$$I_2 + I_3 = I_1 + I_4$$

Ce schéma électrique illustre la loi des nœuds. Le sens des courants de ce schéma est donné au hasard. On y retrouve 4 courants : 2 courants entrants et 2 sortants.

Cette loi importante dans le domaine électrique stipule que, **la Somme des courants qui arrivent = la somme des courants qui partent.**

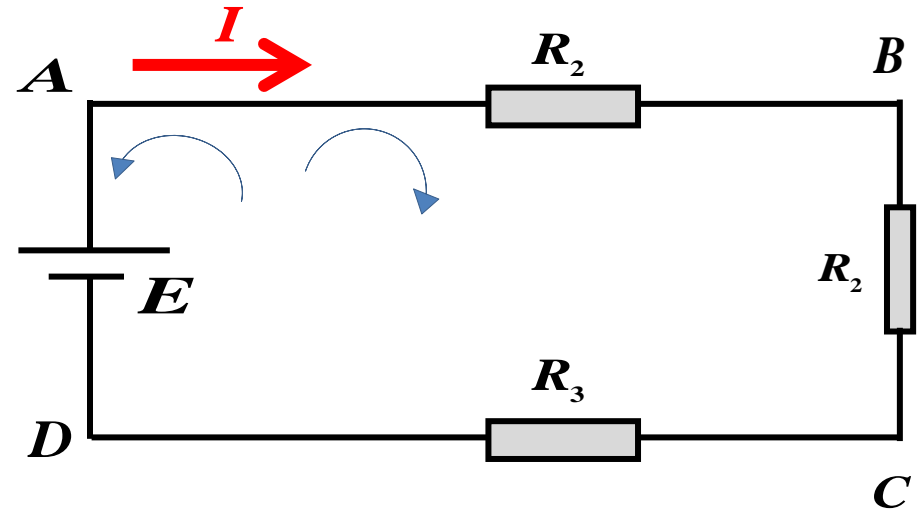


# Formulation de la Loi des mailles

La **loi des mailles** est la deuxième loi de Kirchhoff. Cette loi n'est pas compliquée mais demande de la rigueur pour éviter les erreurs d'étourderies.

Cette loi stipule que « *dans une maille d'un réseau électrique, la somme des tensions le long de cette maille est toujours nulle* ».

En d'autres termes, si on fait le tour d'une maille dans un sens et qu'on additionne toutes les tensions de celle-ci, la somme sera égale à zéro.

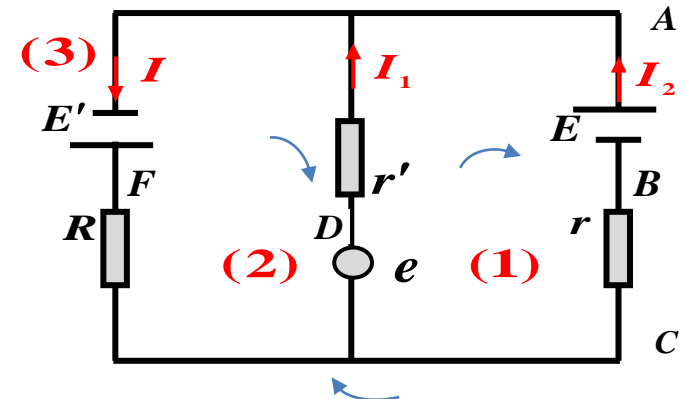


$$V_A - V_A = 0$$

En suivant le sens de rotation A, B, C, D, A les tensions peuvent être listées comme ceci :

En suivant le sens de rotation A, D , C, F, A les tensions peuvent être listées comme ceci :

En suivant le sens de rotation A, B , C, F, A les tensions peuvent être listées comme ceci :



$$\text{Maille: (1)} \Rightarrow (V_A - V_A) = 0$$

$$0 = (V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_D) + (V_D - V_A)$$

$$0 = E - rI_2 + e + r'I_1$$

$$\text{Maille: (2)} \Rightarrow (V_A - V_A) = 0$$

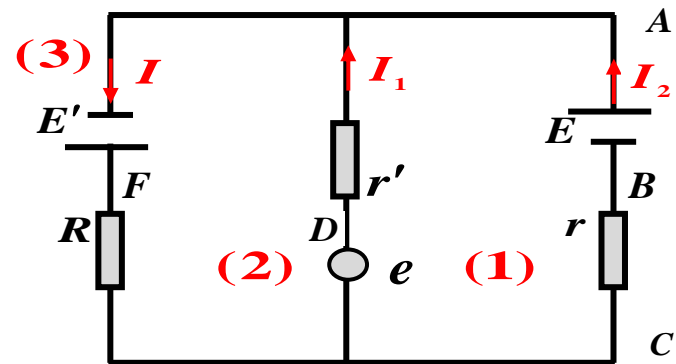
$$0 = (V_A - V_D) + (V_D - V_C) + (V_C - V_F) + (V_F - V_A)$$

$$0 = -r'I_1 - e - RI + E'$$

$$\text{Maille: (3)} \Rightarrow (V_A - V_A) = 0$$

$$0 = (V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_F) + (V_F - V_A)$$

$$0 = E - rI_2 - RI + E'$$



$$0 = E - rI_2 + e + r'I_1 \quad (1)$$

(+)

$$0 = -r'I_1 - e - RI + E' \quad (2)$$

(=)

$$0 = E - rI_2 - RI + E' \quad (3)$$

$$\text{Maille: (1)} \Rightarrow (V_A - V_A) = 0$$

$$0 = (V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_D) + (V_D - V_A)$$

$$0 = E - rI_2 + e + r'I_1$$

$$\text{Maille: (2)} \Rightarrow (V_A - V_A) = 0$$

$$0 = (V_A - V_D) + (V_D - V_C) + (V_C - V_F) + (V_F - V_A)$$

$$0 = -r'I_1 - e - RI + E'$$

$$\text{Maille: (3)} \Rightarrow (V_A - V_A) = 0$$

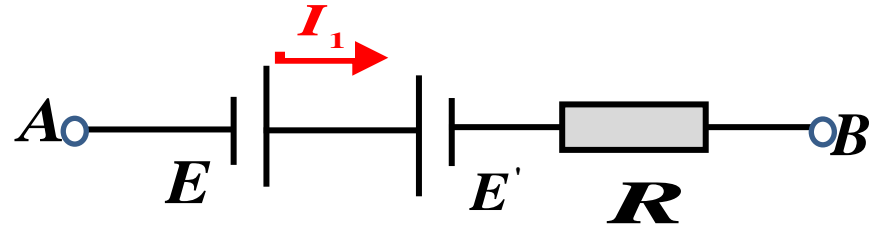
$$0 = (V_A - V_B) + (V_B - V_C) + (V_C - V_F) + (V_F - V_A)$$

$$0 = E - rI_2 - RI + E'$$



La branche comporte des générateurs réversibles et des résistances (mais pas de récepteurs purs).

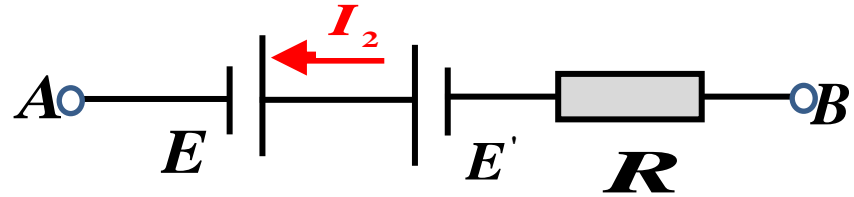
Si on choisi un courant arbitraire



$$(V_A - V_B) = -E + E' + RI_1$$

On obtient:  $I_1 = \frac{(V_A - V_B) + E - E'}{R}$

Si on choisi un courant arbitraire



$$(V_A - V_B) = -E + E' - RI_2$$

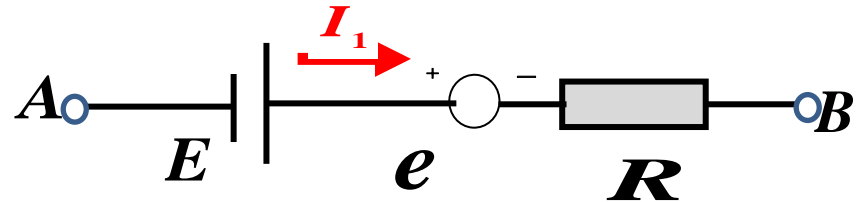
On obtient:

$$I_2 = - \frac{(V_A - V_B) + E - E'}{R} = -I_1$$

Pour les deux sens choisi on trouve la même valeur du courant mais de signe différent . On gardera le courant calculé positive.

**La branche de circuit comporte  
en plus un récepteur pur.**

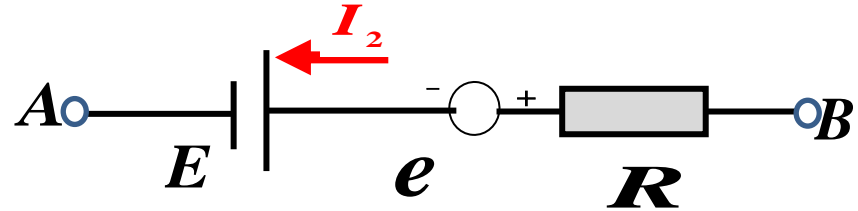
**Si on choisi un courant arbitraire**



$$(V_A - V_B) = -E + e + RI_1$$

**On obtient:** 
$$I_1 = \frac{(V_A - V_B) + E - e}{R}$$

Si on choisi un courant arbitraire



$$(V_A - V_B) = -E - e - RI_2$$

On obtient:

$$I_1 = \frac{(V_A - V_B) + E - e}{R}$$

$$I_2 = -\frac{(V_A - V_B) + E + e}{R}$$

$$I_2 \neq I_1$$

Si on trouve un courant calculé négative dans une branche comportant un récepteur pur , on change de sens ,il faut refaire la mise en équation.