

# CHAPITRE OS4

## Grandeurs et dipôles électriques

## ➤ Problématique

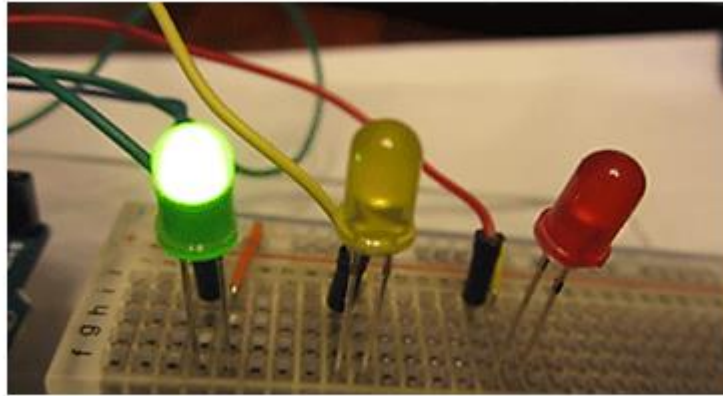


FIGURE 1 : LED allumée / LED éteinte

Pourquoi la LED ne s'allume qu'à partir d'une certaine valeur de la **tension** d'alimentation ?

Quelle est la valeur du **courant** dans le circuit ?

➤ **Électrocinétique** = mouvement des électrons

# 1 Intensité du courant électrique

## 1.1 Charge électrique

### ➤ Électrisation de la matière

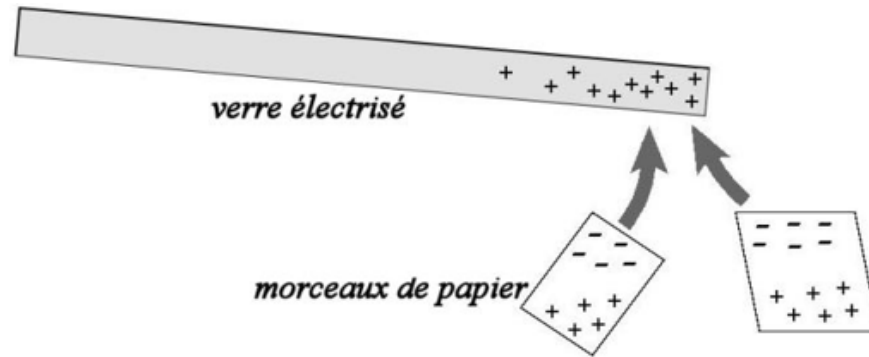


FIGURE 2 : Action mécanique exercée par le verre électrisé par frottement sur de la soie (triboélectricité) ; électrisation des morceaux de papier par influence.

➤ Porteurs de charges

- Conducteurs : **e-**
- Solution électrolytique : **anions / cations**

➤ Définition : **Charge électrique  $q$**

**Quantification**

$$q = \pm ne \quad (n \text{ entier}) \text{ avec } e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

➤ Propriété

**Conservation au cours du temps**

➤ Propriété

**Attraction / Répulsion**

## 1.2 Le courant électrique

### ➤ Mouvement désordonné des charges électriques

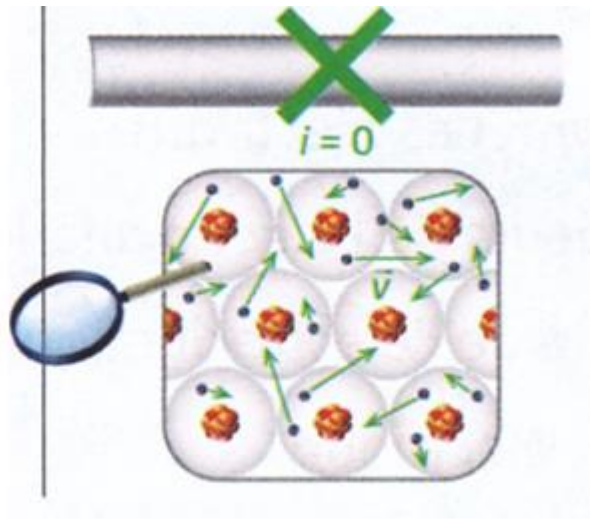
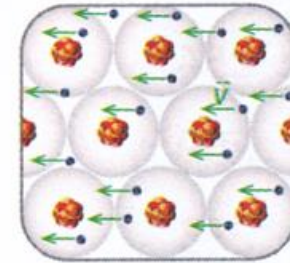


FIGURE 3 : Mouvement désordonné des électrons : agitation thermique des électrons

**Agitation thermique**

## ➤ Mouvement ordonné des charges électriques



**Définition :**

**Courant électrique**

FIGURE 4 : Mouvement ordonné des électrons :  
courant électrique

## ➤ Convention : sens positif du courant

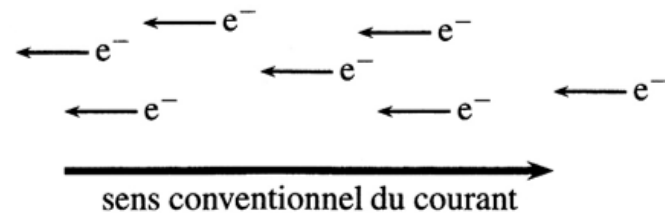
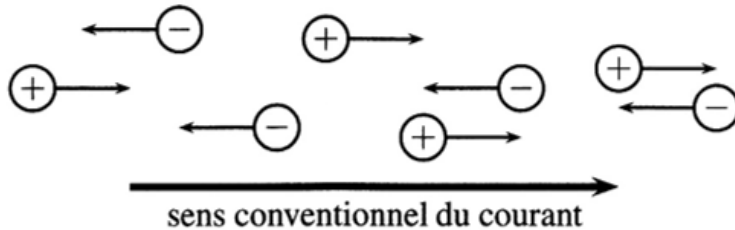


FIGURE 5 : Déplacement de charges dans une solution électrolytique (à gauche)  
et dans un conducteur (à droite)

## 1.3 Intensité du courant

### ➤ Analogie hydraulique

Débit d'un fleuve  $D = \frac{\Delta V}{\Delta t}$

### ➤ Définition :

**Intensité d'un courant électrique**

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (\text{A})$$

### ➤ Mesure

### ➤ Ordres de grandeur

| Électronique                        | Électrotechnique                  |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| ordinateur, téléphones portables... | four, TGV...                      |
| $1 \text{ pA} < i < 100 \text{ mA}$ | $1 \text{ A} < i < 10 \text{ kA}$ |

FIGURE 6 : Ordres de grandeur de l'intensité du courant



## 2 Tension électrique

### 2.1. Analogie hydraulique

Courant électrique ds un fil  $\Leftrightarrow$  courant d'eau ds un tuyau

#### ➤ Exemple

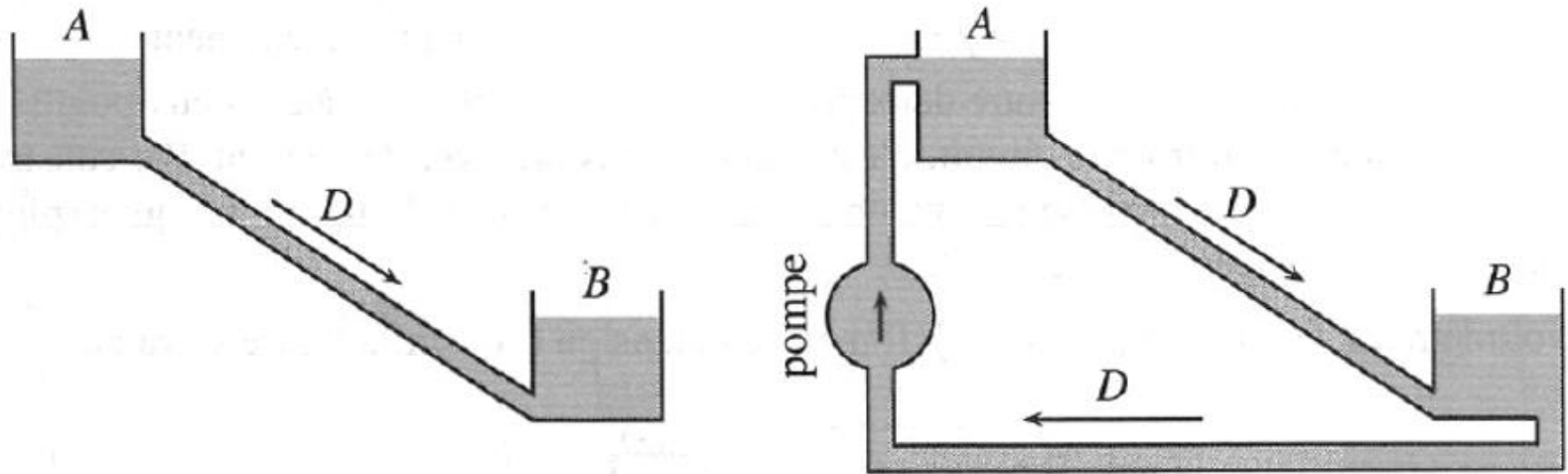


FIGURE 7 : Analogie hydraulique : courant d'eau spontané (à gauche)  
mouvement entretenu (à droite)

#### ➤ Circuit électrique



## 2.2 Tension électrique ou différence de potentiels

### ➤ Différence de potentiels

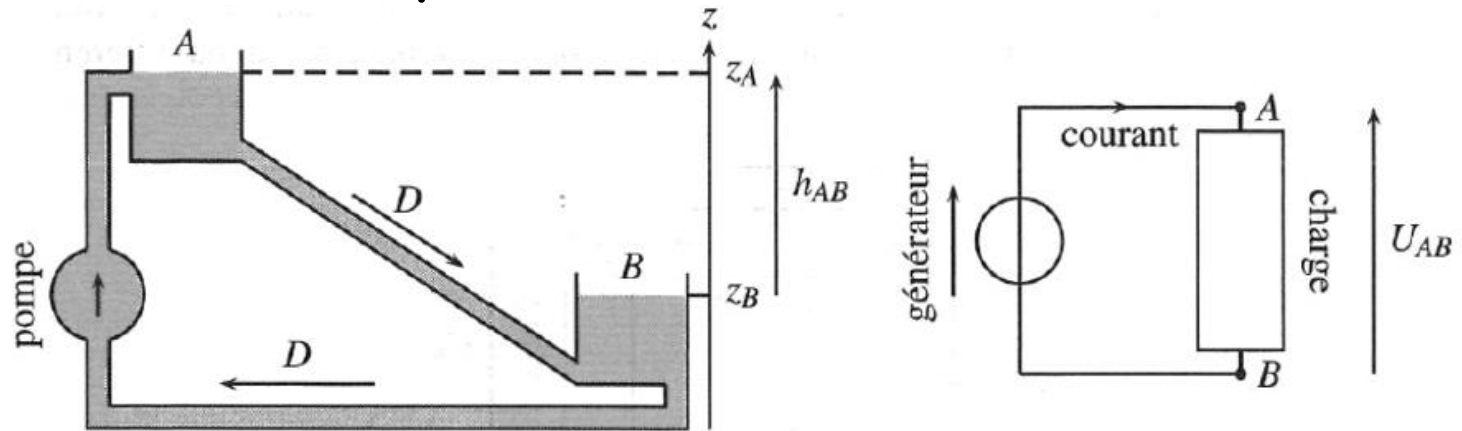


FIGURE 8 : Analogie hydraulique et différence de potentiels

- **Potentiel électrique** d'un point  $A$  :  $V_A$
- **Définition : Différence de potentiels**

**= tension électrique**

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

- **Représentation**



- Unité
- Mesure
- Ordres de grandeur

| Capteurs                             | Circuits électroniques           | Réseau EDF          | Lignes à très haute tension |
|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| $10 \mu\text{V} < U < 10 \text{ mV}$ | $1 \text{ V} < U < 10 \text{ V}$ | $U = 230 \text{ V}$ | $U > 100 \text{ kV}$        |

FIGURE 9 : Ordres de grandeur de tensions

- Conséquence de l'existence d'une tension  
Circulation d'un courant électrique

## 2.3 Référence de potentiel

➤ Définition :

point de référence ou point de masse :  
potentiel nul

## 3 Circuit électrique dans l'ARQS

### 3.1 Éléments constitutifs d'un circuit électrique

➤ Définition :

**Circuit électrique = Circuit fermé**





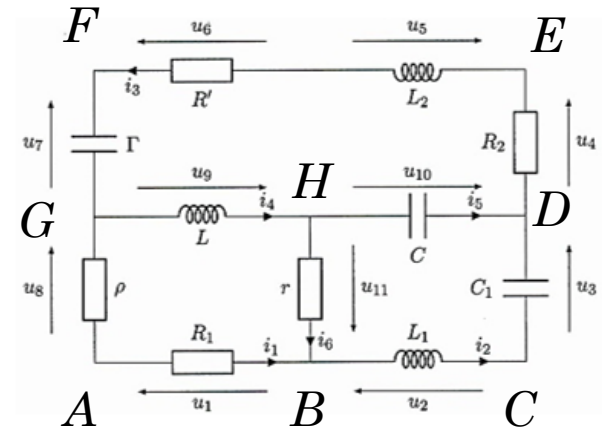
| Élément                               | Définition   |
|---------------------------------------|--|
| <b>Circuit (ou réseau) électrique</b> | Constitué d'une association de dipôles, actifs et passifs, reliés entre eux par des fils de connexion.   |
| <b>Fil de connexion</b>               | Conducteur électrique dont le potentiel est le même en tout point.   |
|                                       | <b>Propriété :</b>   |
| <b>Nœud</b>                           | Borne commune à plus de deux dipôles.  |
| <b>Branche</b>                        | Portion de circuit, i.e. ensemble de dipôles, située entre deux nœuds consécutifs.   |
| <b>Maille</b>                         | Ensemble de branches formant un circuit fermé qui ne passe qu'une seule fois par les nœuds rencontrés : une maille est orientée arbitrairement.  |
| <b>Masse</b>                          | Référence des potentiels pour un circuit donné. Son symbole est :    |
| <b>Masse carcasse ou Terre</b>        | Par mesure de sécurité, la carcasse métallique des appareils électriques est reliée à la Terre, qui est au potentiel électrique nul. Son symbole est :  . La Terre peut servir de référence des potentiels. |

FIGURE 10 : Éléments constitutifs d'un circuit électrique

➤ Exercice d'application 1

1. Déterminer le nombre de nœuds, de branches et de mailles dans le circuit.
2. Écrire toutes les lois des nœuds indépendantes.
3. Écrire toutes les lois des mailles indépendantes.
4. Écrire les relations courant – tension pour chacun des onze dipôles.



## 3.2 Régimes d'étude d'un circuit

### ➤ Régime stationnaire ou permanent continu

Grandeurs électriques indépendantes du temps

lettres majuscules :  $I$ ,  $U_{AB}$ ,  $Q_0$ ...

### ➤ Régime variable

Grandeurs électriques dépendent du temps

lettres minuscules :  $i(t)$ ,  $u(t)$ ,  $q(t)$ ...

## 3.3 Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

- Onde électromagnétique
- Exemple
- Définition : ARQS (ou ARQP)
- Propriété



## 3.4 Lois de Kirchhoff

### 3.4.1 Loi des nœuds

➤ Conservation de la charge

➤ Énoncé :

$$\sum_k \varepsilon_k i_k = 0$$

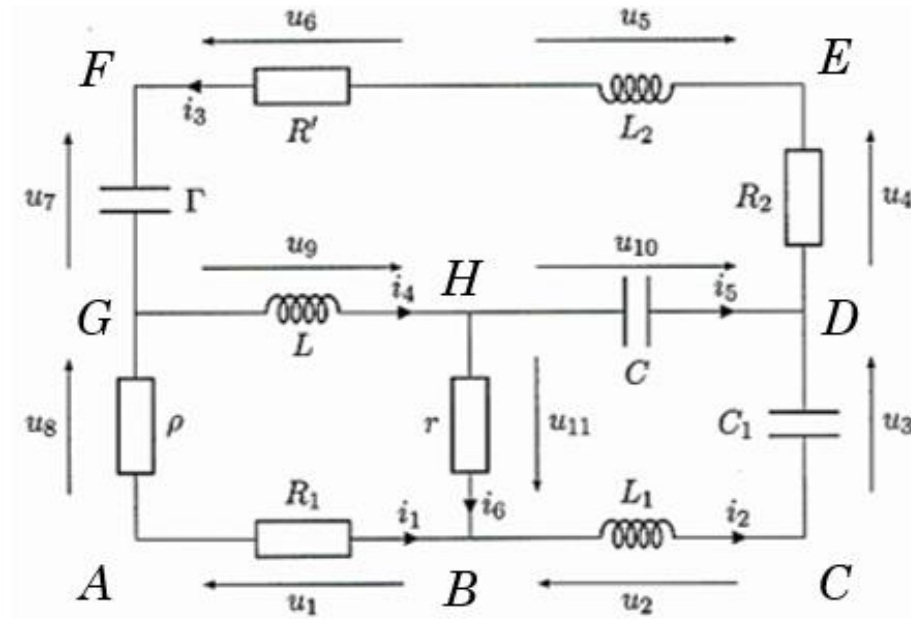


avec  $\varepsilon_k = +1$  si le courant arrive en  $N$  et  $\varepsilon_k = -1$  si le courant repart de  $N$

➤ Corollaire

➤ Remarque

## ➤ Exercice d'application 1 (suite)



## ➤ Conséquence

L'intensité du courant est la même en tout point d'une branche

## 3.4.2 Loi des mailles

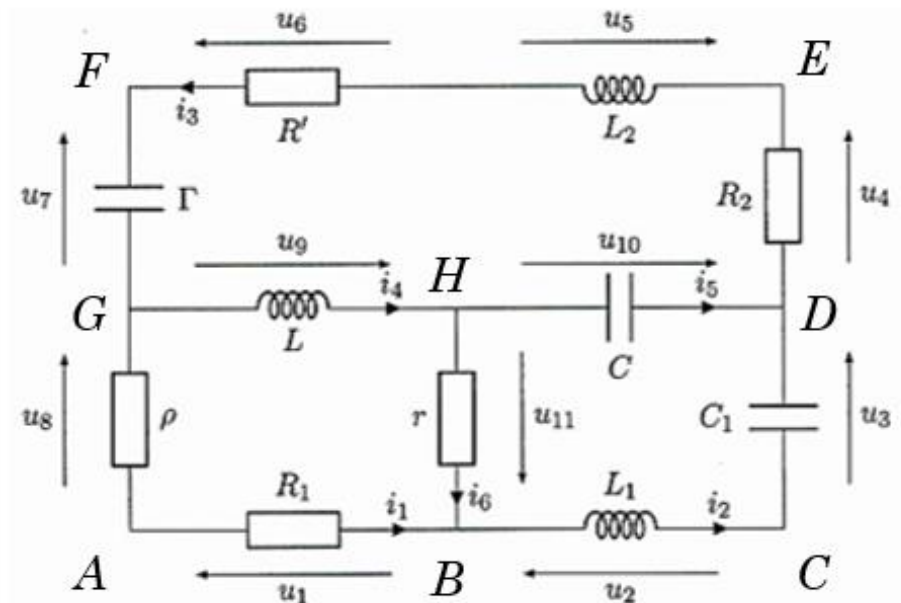
➤ Énoncé :

$$\sum_k \varepsilon_k u_k = 0$$



avec  $\varepsilon_k = +1$  si la flèche de la tension  $u_k$  est orientée selon le sens de parcours de la maille et  $\varepsilon_k = -1$  sinon.

➤ Exercice d'application 1  
(suite)



➤ Additivité des tensions  
**Relation de Chasles**

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



## 4 Dipôles électriques

### 4.1 Définition

Définition : Dipôle

### 4.2 Convention récepteur - Convention générateur



## 4.3 Classification des dipôles

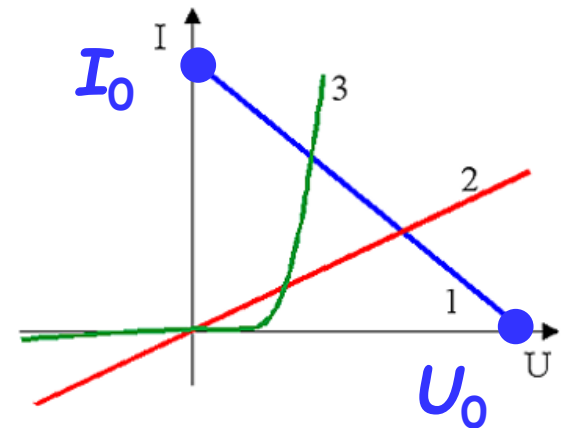
- Caractéristique statique
- Dipôle symétrique / non symétrique
- Dipôle passif / actif
- Dipôle linéaire / non linéaire

$$I = f(U) \text{ ou } U = f(I)$$



- Exercice d'application 2

Préciser les caractéristiques des trois dipôles dont les caractéristiques statiques sont représentées sur la figure ci-contre.



## 4.4 Dipôles passifs linéaires

étudiés en convention récepteur

### 4.4.1 Résistance

#### ➤ Rôle

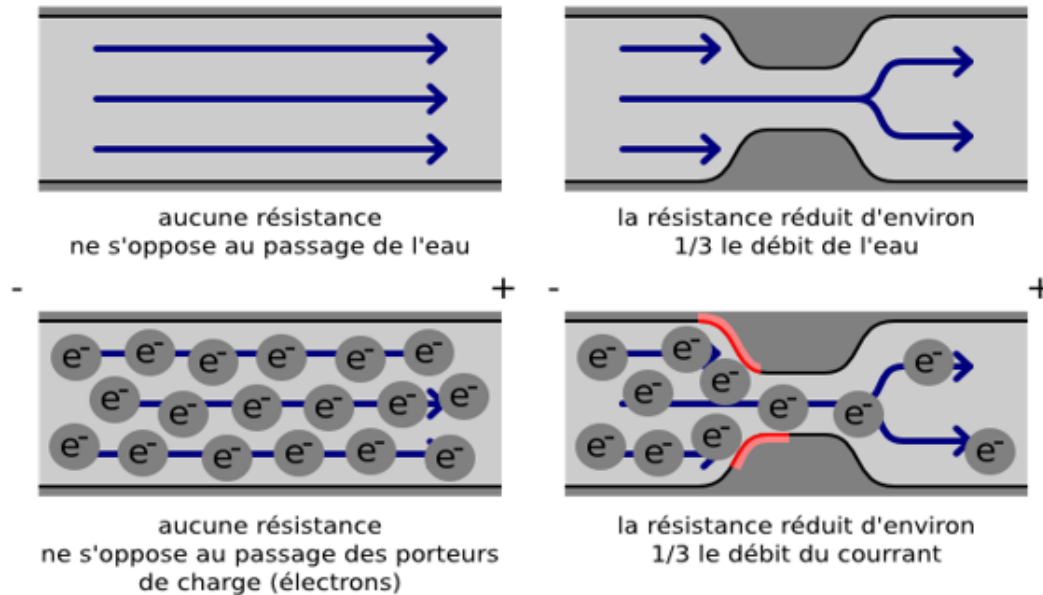


FIGURE 11 : Analogie entre résistance  
hydraulique et résistance électrique

## Opposition à la circulation du courant

➤ Résistance d'un matériau conducteur

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (\Omega)$$

$\rho$  : **résistivité** du milieu conducteur (en  $\Omega.m$ )

➤ Autres grandeurs physiques liées à la résistance

▪ **conductivité**  $\sigma$  ( $S.m^{-1}$ )  $\sigma = \frac{1}{\rho}$

▪ **conductance**  $G$   $G = \frac{1}{R} = \frac{\sigma S}{l} \quad (S)$

➤ Ordres de grandeur de  $\rho$

| isolant                      | semi-conducteur                  | conducteur                            |
|------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| $\rho > 10^5 \Omega\text{m}$ | $1 < \rho < 10^4 \Omega\text{m}$ | $\rho \approx 10^{-7} \Omega\text{m}$ |

FIGURE 12 : Ordres de grandeur de résistivités

➤ Ordres de grandeur de  $R$

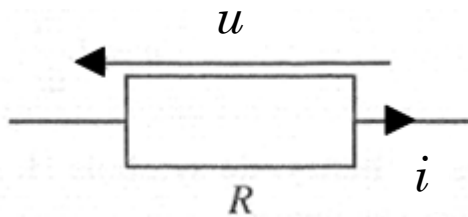
| Élément électrique                    | Résistance                             |
|---------------------------------------|--|
| Fil électrique en cuivre              | $R \approx 1 \Omega$                   |
| Résistance d'entrée d'un haut-parleur | $R \approx 8 \Omega$                   |
| Résistance de sortie d'un GBF         | $R = 50 \Omega$                        |
| Résistances usuelles en électronique  | $100 \Omega < R < 100 \text{ k}\Omega$ |
| Résistance d'entrée d'un voltmètre    | $R = 10 \text{ M}\Omega$               |

FIGURE 13 : Ordres de grandeur de résistances



- Réalisation
- Relation courant - tension

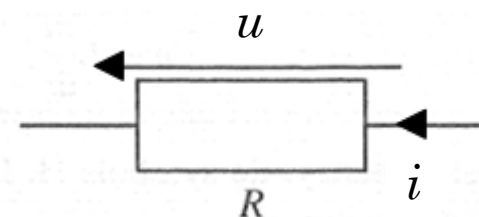
Convention récepteur



Loi d'Ohm

$$u = Ri \text{ ou } i = Gu$$

Convention générateur



$$u = -Ri \text{ ou } i = -Gu$$

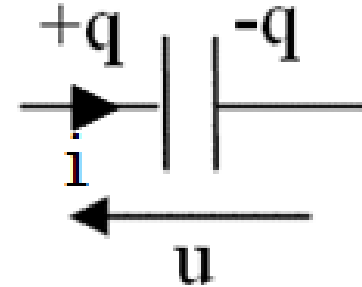
- Caractéristique statique  
droite passant par l'origine, symétrique

## 4.4.2 Condensateur

- Constitution
- Capacité  $C$  (en Farad : F)
- Types de condensateurs
- Condensateur réel
- Relation courant - tension
- Rôles
- Particularité
- Propriété



$$q = Cu$$



$$1 \text{ pF} < C < 100 \text{ nF} \quad C > 1 \text{ }\mu\text{F}$$

régime variable :  $i = \frac{dq}{dt}$

$$i = C \frac{du}{dt}$$



**$u(t)$  ne peut pas subir de discontinuité**

### 4.4.3 Inductance

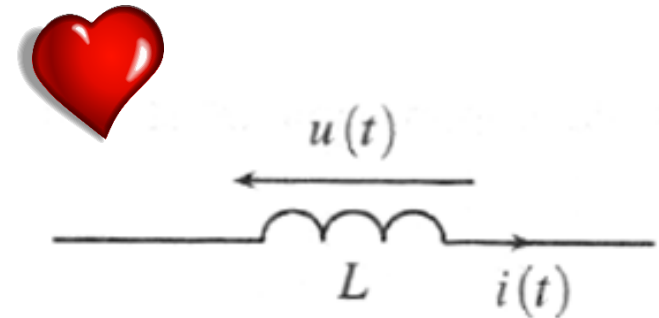
- Constitution
- Ordres de grandeur  $1 \text{ mH} < L < 10 \text{ H}$
- Relation courant - tension

➤ Rôles

➤ Particularité

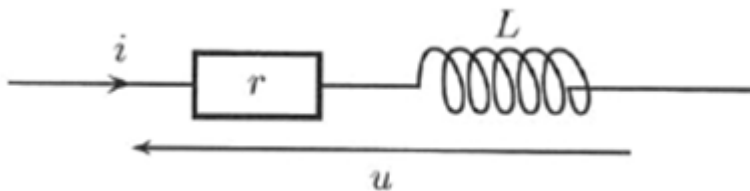
Propriété

$$u = L \frac{di}{dt}$$



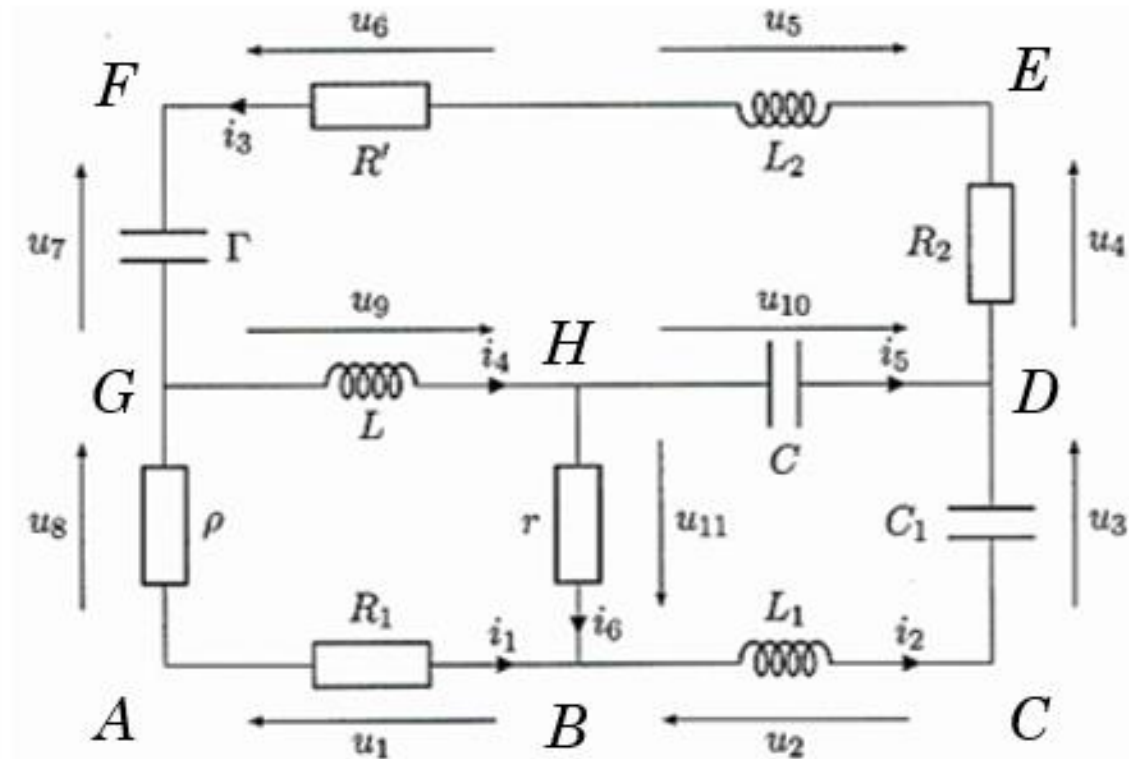
**$i(t)$  ne peut pas subir de discontinuité**

➤ Bobine idéale / bobine réelle



$$u = ri + L \frac{di}{dt}$$

➤ Exercice d'application 1 (suite et fin)



## 4.5 Dipôles actifs linéaires

étudiés en convention générateur

### 4.5.1 Source de tension

#### ➤ Source idéale de tension

Définition :  $\forall i, u = E$

**$E$  : force électromotrice (f.e.m.)**

#### ➤ Source réelle de tension

Définition :

$$u = E - Ri$$

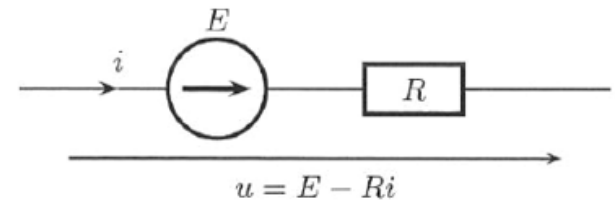
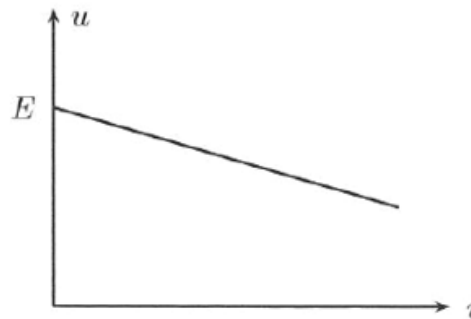


FIGURE 14 : Source réelle de tension (caractéristique et schéma)

## 4.5.2 Source de courant

### ➤ Source idéale de courant

#### Définition

$$\forall u, i = I_0$$

$I_0$  : courant électromoteur (c.e.m.)

### ➤ Source réelle de courant

#### Définition :

$$i = I_0 - \frac{u}{R}$$

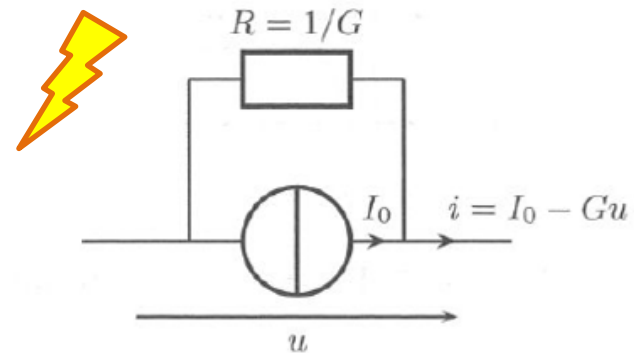
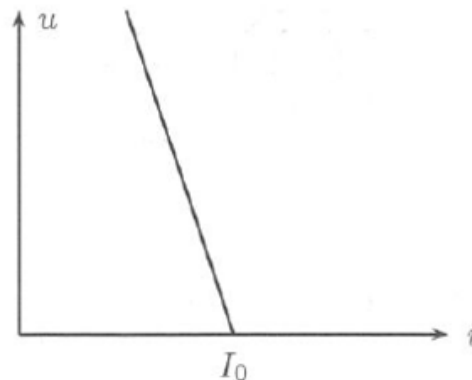


FIGURE 15 : Source réelle de courant (caractéristique et schéma)

### 4.5.3 Modèle équivalent de Thévenin

- Propriété
- Caractéristique et schéma

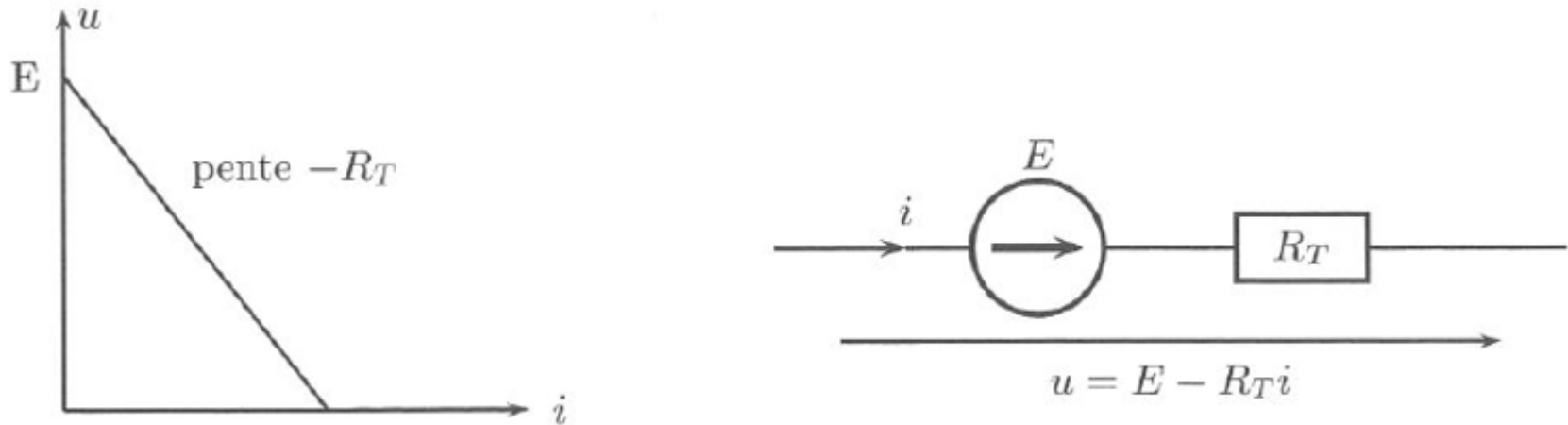


FIGURE 16 : Générateur de Thévenin (caractéristique et schéma)

## 5 Associations de dipôles

### 5.1 Association série / parallèle

➤ Définition : 2 dipôles associés en série  
1 borne commune et  
parcourus par le même courant



➤ Définition : 2 dipôles associés en parallèle  
leurs 2 bornes reliées aux mêmes nœuds et  
soumis à la même différence de potentiels

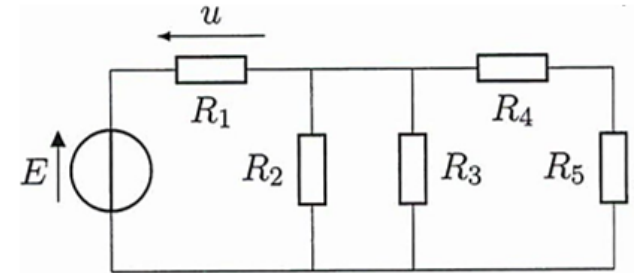




➤ Exercice d'application 3

1. Quelles sont les résistances en série ?
2. Quelles sont les résistances en parallèle ?
3. Déterminer la tension  $u$  aux bornes de  $R_1$  en utilisant un pont diviseur de tension. On prendra

$$R_1 = R_4 = R_5 = R, \quad R_2 = \frac{R}{2} \text{ et } R_3 = 2R.$$



## 5.2 Association de résistances

### ➤ Association en série



$$R_{eq} = R_1 + R_2$$



### ➤ Association en parallèle



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Leftrightarrow R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$



## 5.3 Diviseurs de tension et de courant

### 5.3.1 Diviseur de tension

#### ➤ Expression du diviseur de tension

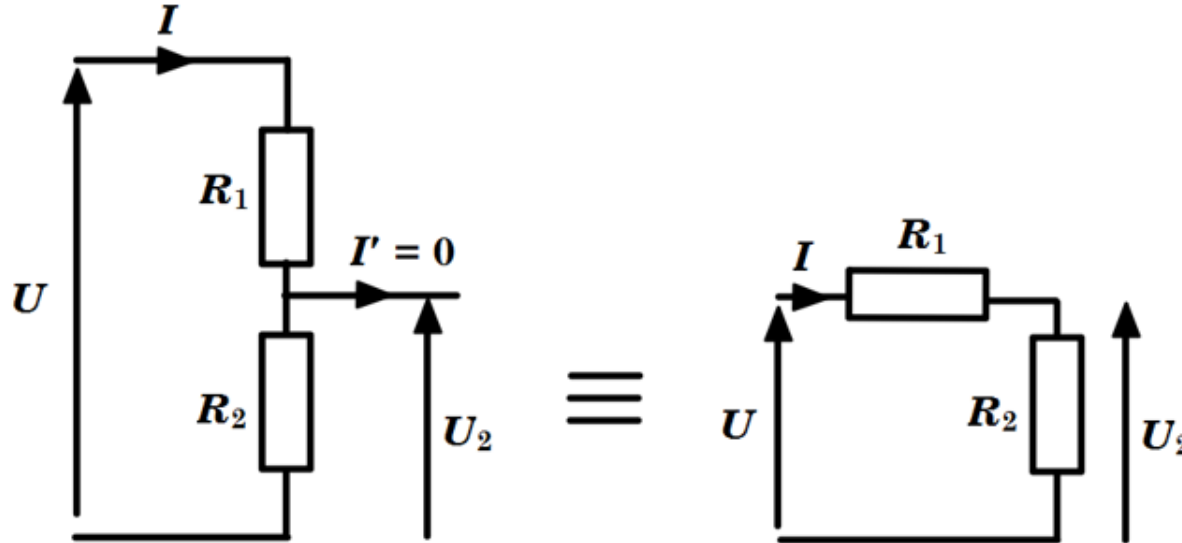


FIGURE 17 : Montage diviseur de tension (DDT)

#### ➤ Rôle d'un pont diviseur de tension

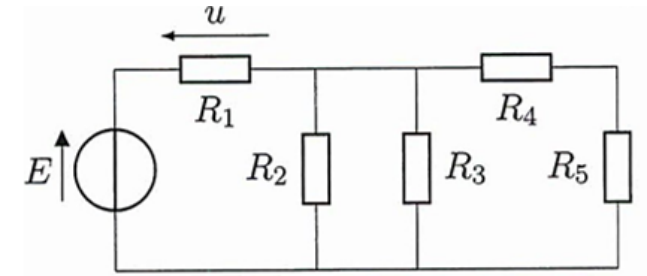
#### ➤ Outil DDT : quand l'utiliser ?



## ➤ Exercice d'application 3 (suite et fin)

1. Quelles sont les résistances en série ?
2. Quelles sont les résistances en parallèle ?
3. Déterminer la tension  $u$  aux bornes de  $R_1$  en utilisant un pont diviseur de tension. On prendra

$$R_1 = R_4 = R_5 = R, \quad R_2 = \frac{R}{2} \text{ et } R_3 = 2R.$$



## 5.3.2 Diviseur de courant

### ➤ Expression du diviseur de courant

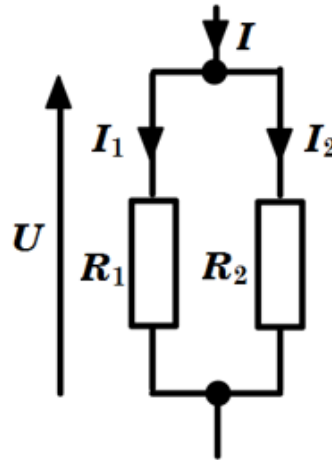


FIGURE 18 : Montage diviseur de courant  
(DDC)



- Rôle d'un pont diviseur de courant
- Outil DDC : quand l'utiliser ?

## 5.4 Associations de générateurs

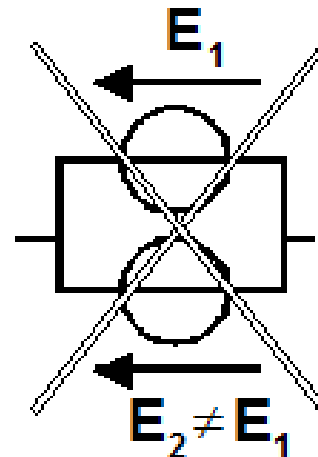
- Association en série de deux sources idéales de tension

### Propriété

- Association en série de deux sources réelles de tension

### Propriété

- Association interdite

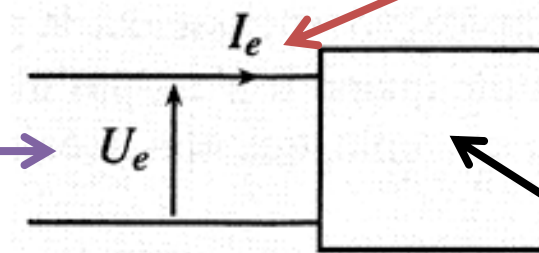


## 6 Résistances d'entrée et de sortie

### 6.1 Résistance d'entrée

#### ➤ Principe

$U_e$  imposée  
par le  
générateur



$I_e$  que laisse circuler  
le récepteur

Dispositif  
(récepteur)

#### ➤ Définition : Résistance d'entrée $R_e$

$$R_e = \frac{U_e}{I_e}$$

➤ Influence de  $R_e$  sur un montage

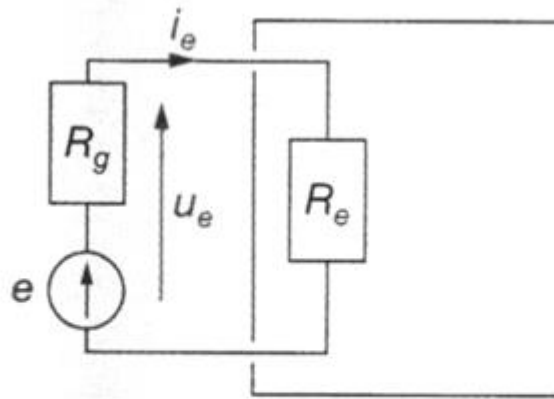


FIGURE 19 : Influence de la résistance d'entrée



## 6.2 Résistance de sortie

- Définition : Résistance de sortie  $R_s$
- Influence de  $R_s$  sur un montage

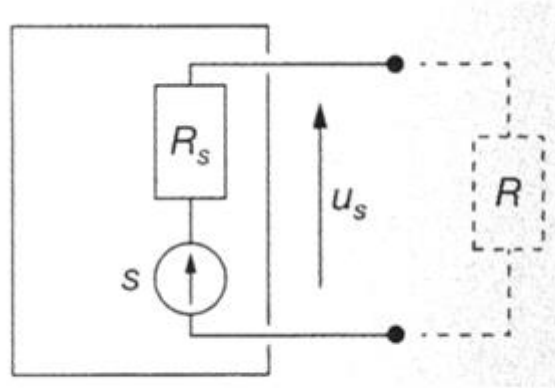



FIGURE 20 : Influence de la résistance de sortie

## 7 Point de fonctionnement d'un circuit

- Retour à la problématique
- Définition : **Point de fonctionnement  $P$**

$$(U, I) \text{ ou } (I, U)$$

- Méthode graphique 
- Résolution algébrique
- Résolution numérique
- Exemple : retour à la problématique

☞ **Pour approfondir...**

[1] S. Rivière, L'univers des LED, *Les Défis du CEA*, n°240, p 23-25, Mars / Avril 2020

## 8 Puissance et énergie électriques

### 8.1 Définitions

➤ Définition : Puissance électrocinétique

$$\mathcal{P} = u\dot{i} = u_{AB}\dot{i}_{A \rightarrow B} \quad (\text{W: Watt})$$

➤ Conséquence

➤ Définition : Puissance

$$\mathcal{P} = \frac{d\mathcal{E}(t)}{dt}$$

➤ Unité

➤ Mesure

## 8.2 Caractère récepteur ou générateur du dipôle

➤ Puissance : grandeur algébrique

➤ Propriété : Puissance électrocinétique

caractère récepteur :

$$\mathcal{P} > 0$$

caractère générateur :

$$\mathcal{P} < 0$$



➤ Représentation dans le plan  $(i, u)$

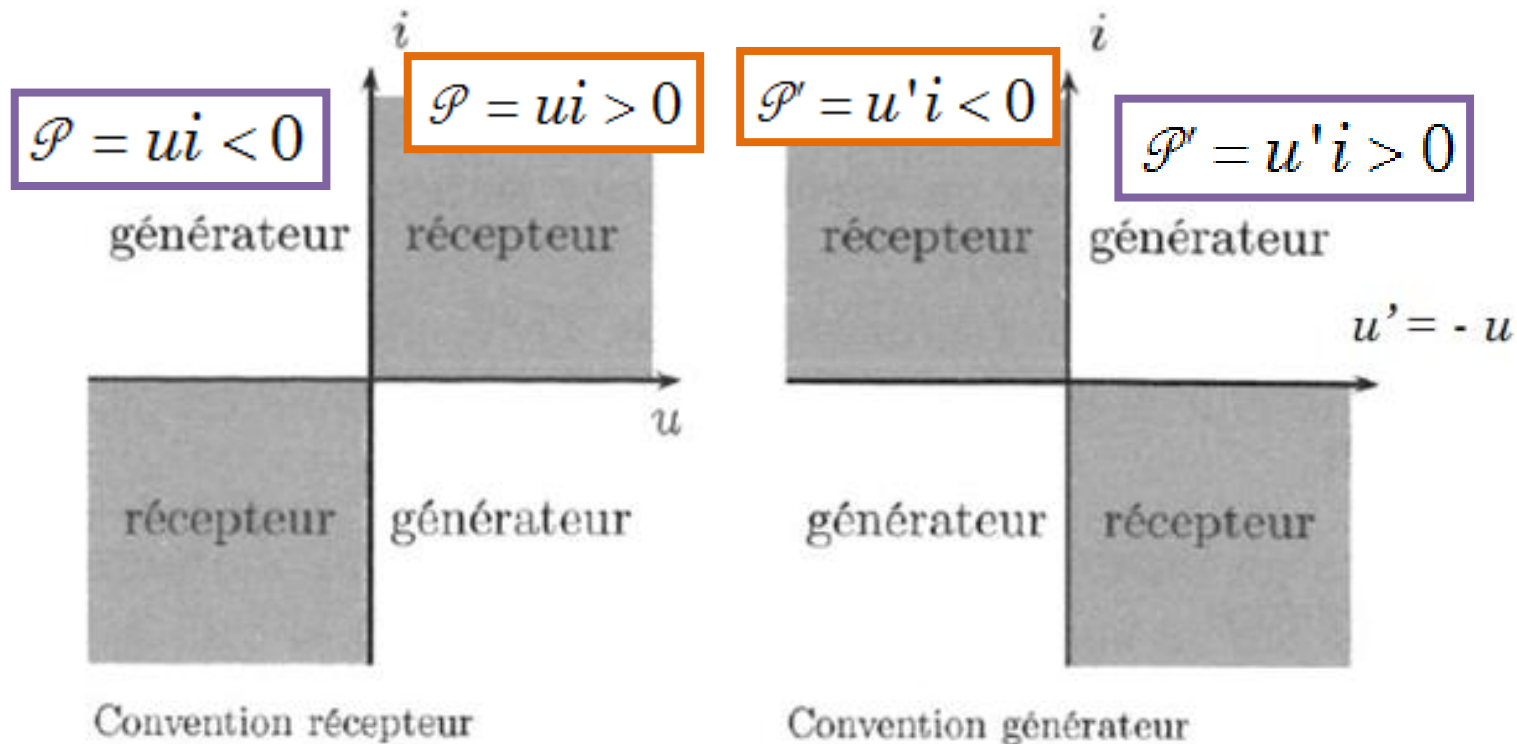


FIGURE 21 : Caractère récepteur ou générateur  
selon la convention choisie

## **8.3 Bilan de puissance**

### **Propriété**

## 8.4 Puissance dissipée dans une résistance

- Puissance électrique instantanée reçue par une résistance

$$\mathcal{P} = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R}$$



- Signe de la puissance

$$\mathcal{P} > 0$$

dissipée sous forme de chaleur : **effet Joule**

## 8.5 Énergie stockée dans un condensateur ou une inductance

### 8.5.1 Condensateur

- Puissance électrique instantanée reçue par un condensateur
- Énergie électrostatique

$$\mathcal{E}_e = \frac{1}{2}Cu^2 > 0$$



C est **chargé** sous la tension  $u$

- Signe de la puissance



## 8.5.2 Inductance

- Puissance électrique instantanée reçue par une inductance

$$\mathcal{P} = ui = Li \frac{di}{dt} = \frac{d\left(\frac{1}{2} Li^2\right)}{dt} = \frac{d\mathcal{E}_m}{dt}$$

- Énergie magnétique

$$\mathcal{E}_m = \frac{1}{2} Li^2 > 0$$



$L$  est **magnétisée** par le courant  $i$

- Signe de la puissance