

# Introduction

- **La méthode habituelle de résolution d'un problème de physique s'applique rigoureusement en électronique**

## Méthode générale

**Soit un problème à première vue insoluble**

Une méthode éprouvée consiste à subdiviser ce problème en sous-problèmes que vous savez résoudre

Mettez chaque sous-problème sous une forme que vous savez travailler

Travaillez chaque sous-problème avec l'objectif d'une conclusion présentable

Présentez votre conclusion sous une forme claire pour quelqu'un qui en sais moins que vous sur le sujet

## En électronique

**Un Circuit**

Reconnaissez les éléments du circuit : noeuds, mailles, sources, fonctions,...

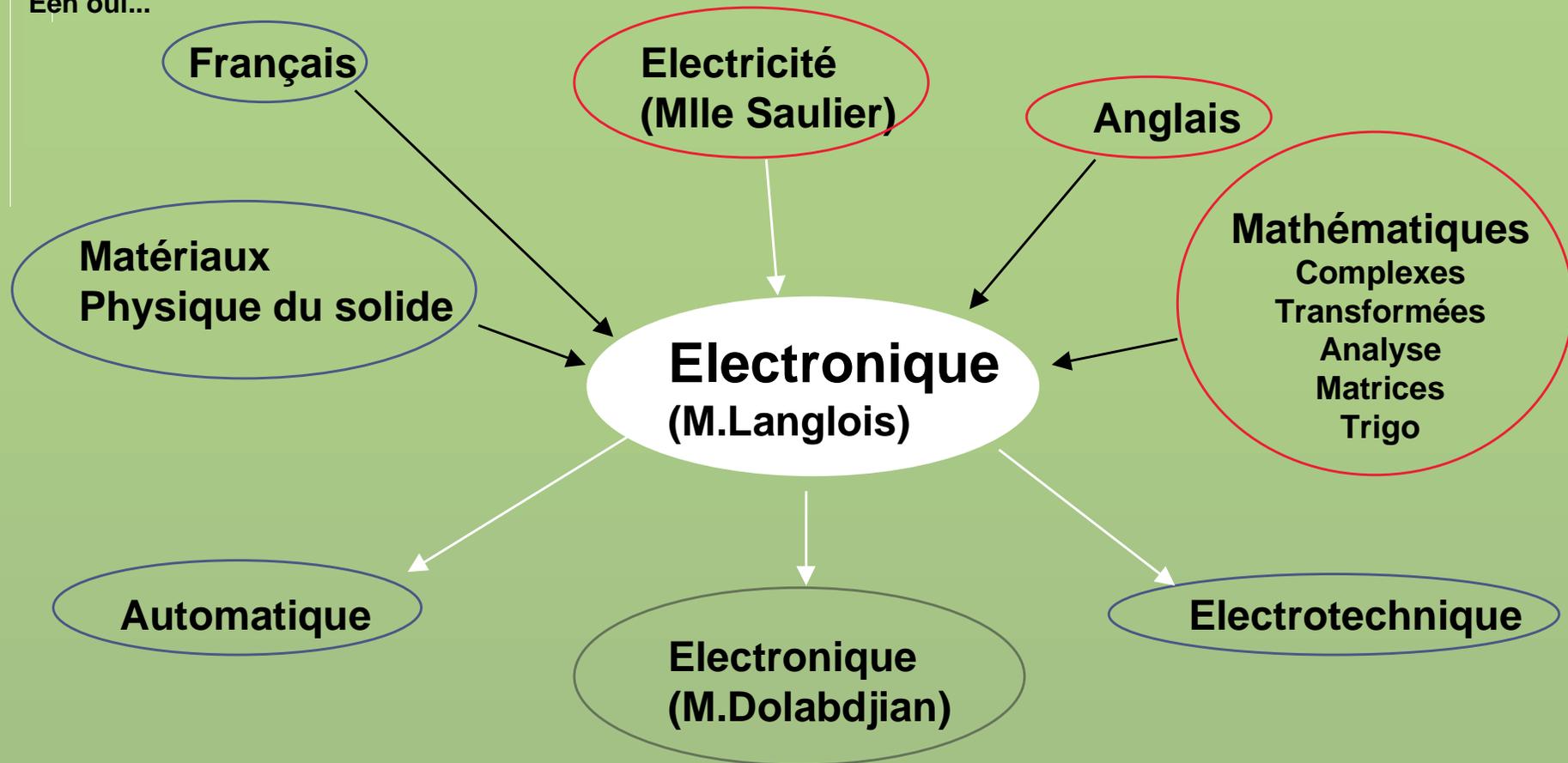
Identifiez les variables, les constantes. Chaque sous-circuit donne une équation

Résolvez le système d'équations précédent pour en extraire une variable

Calculez des valeurs numériques, tracez une courbe, un tableau, concluez

# L'électronique fait appel à vos connaissances

- Eeh oui...



# Plan de travail

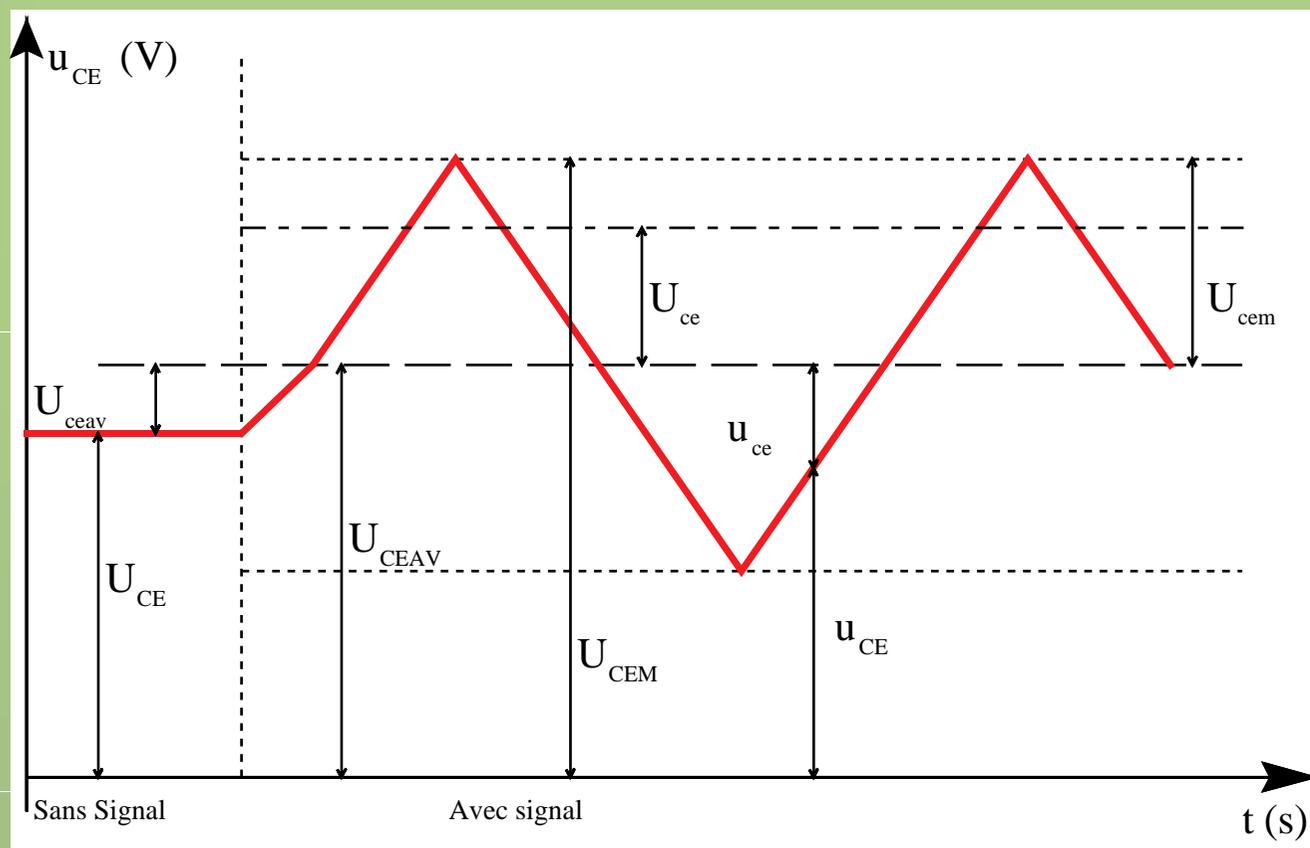
- 13 leçons, dont :
  - 6 sur les composants électroniques
  - 5 sur l'analyse des circuits
  - 2 sur les semi-conducteurs
- 13 séances de travaux dirigés
- 6 exercices de contrôle continu (1/4 de la note finale)  
Sujets distribués un cours sur deux  
Copies ramassées le cours suivant la distribution
- 1 examen final (3/4 de la note finale)  
3 heures sur table, sans document

# 1ère leçon

- **I Conventions d'écritures**
- **II Règles d'analyse des circuits linéaires**
  - Reconnaître les sous-ensembles d'un circuit
  - Les lois fondamentales
    - » Ohm / Kirschhoff / Millmann
  - Les sources d'énergie
    - » Dipôles actifs / Sources idéales / Thévenin & Norton
    - » **Le principe de superposition**
  - Propriétés de 2 dipôles passifs particuliers
    - » Le condensateur
    - » La bobine

# Conventions d'écritures

- Exemple d'un signal composite aux bornes d'un transistor bipolaire



## Fondamental :

$U_{CE}$  Continu sans signal

$u_{CE}$  Signal (variable)

$U_{CE}$  Somme des 2

## Autres constantes :

$U_{CEAV}$  moyenne de  $u_{CE}$

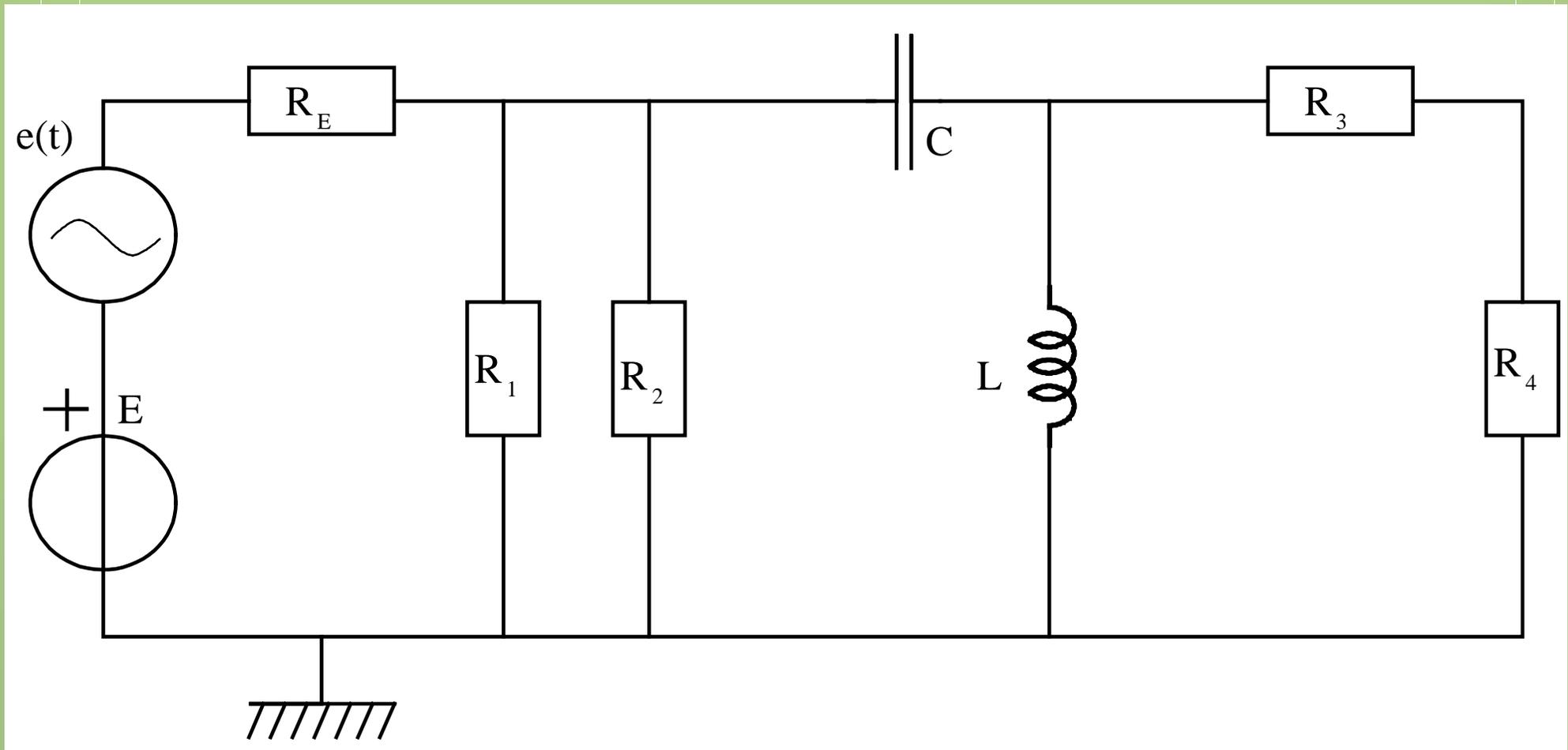
$U_{CEM}$  moyenne de  $U_{CE}$

$U_{CEP}$  crête de  $u_{CE}$

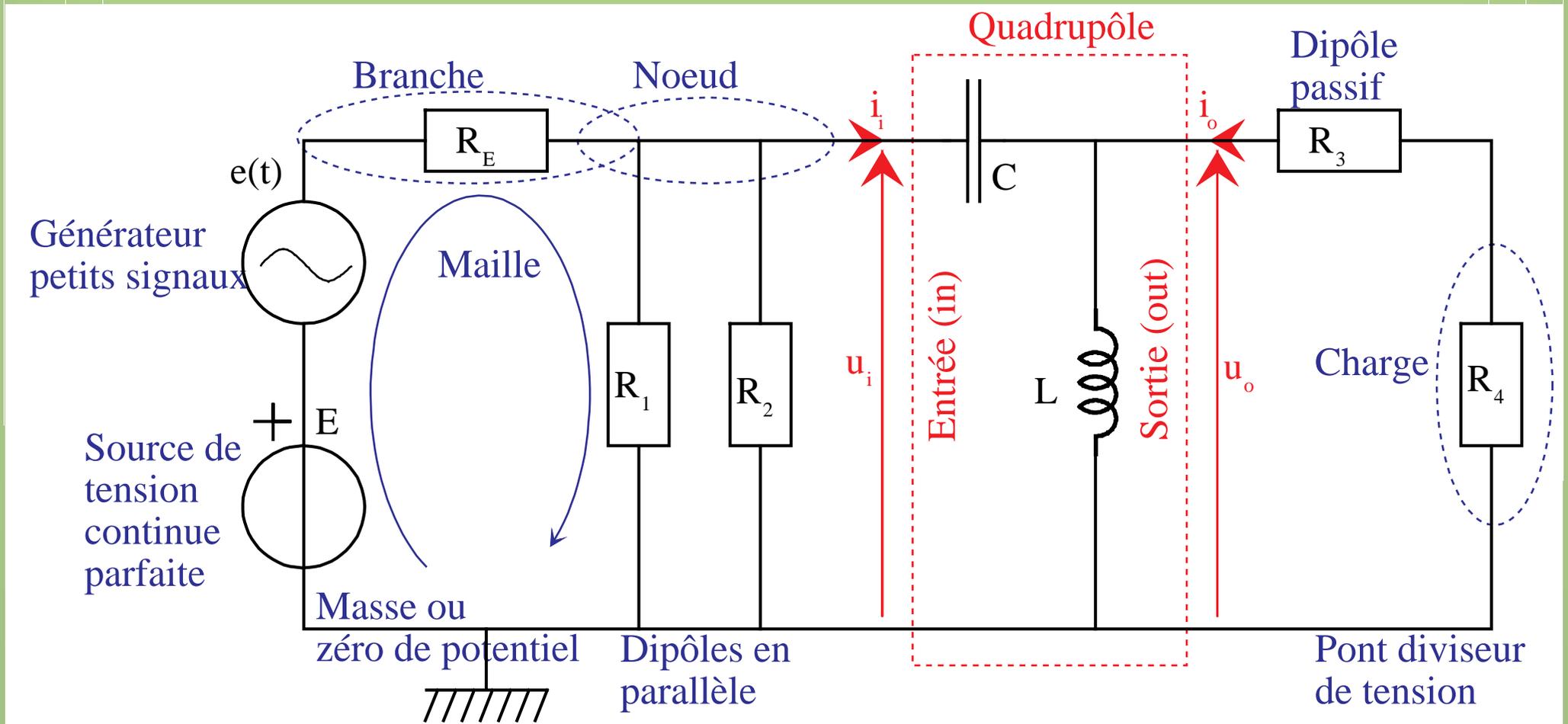
$U_{CEP}$  crête de  $U_{CE}$

$U_{Ce}$  valeur efficace de  $u_{CE}$

# Exemple de circuit

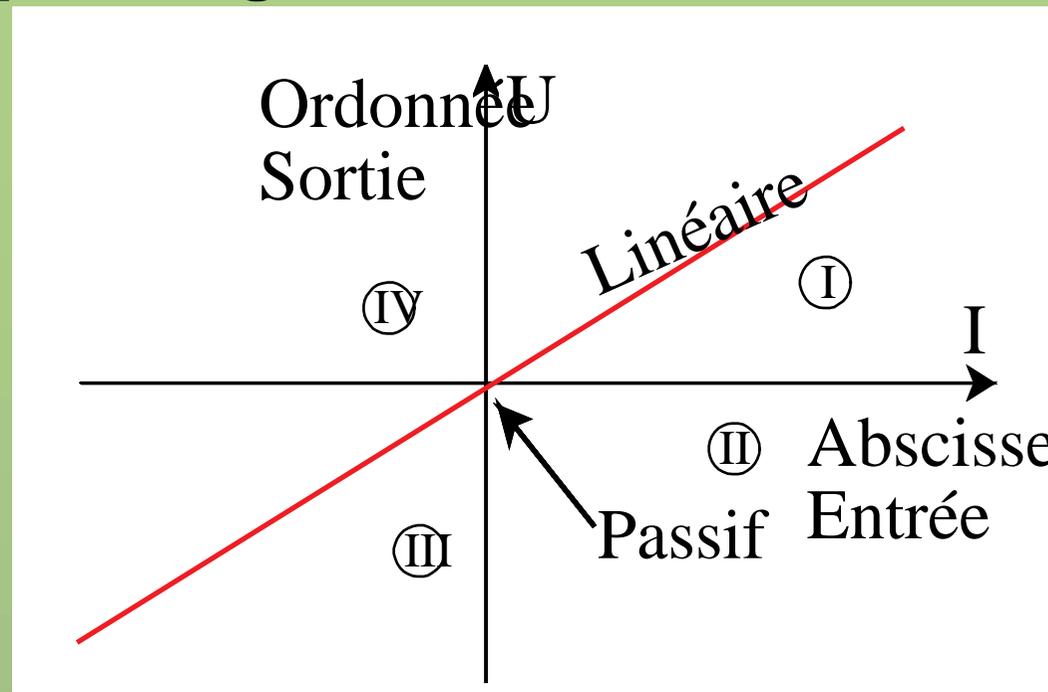
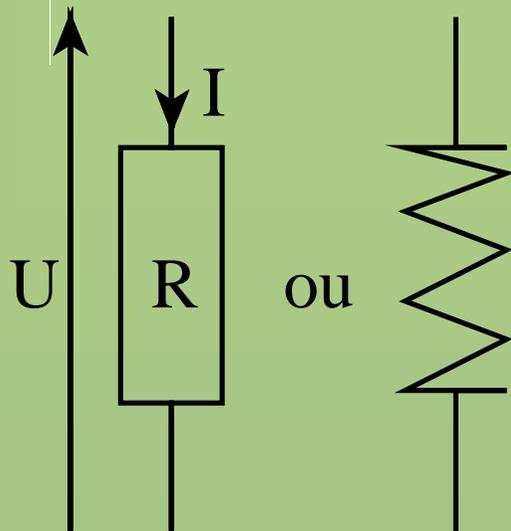


# Sous ensembles d'un circuit



# Loi d'Ohm

- La caractéristique  $u(i)$  d'un dipôle passif linéaire est une droite passant par l'origine



$$u = Ri$$

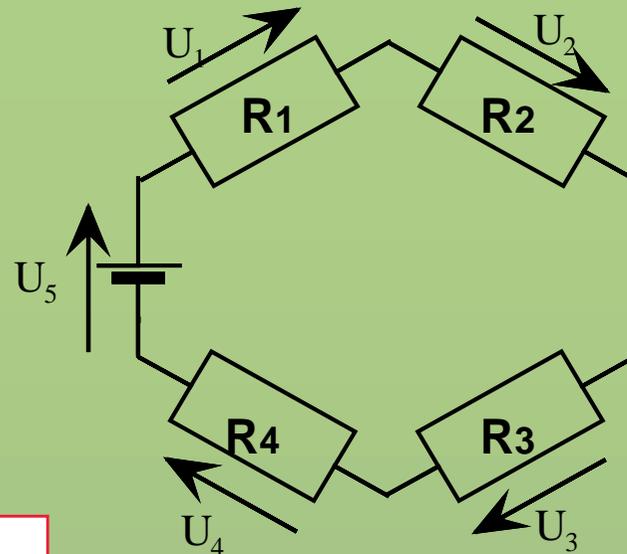
$$i = Gu$$

$$R = \frac{\rho \ell}{S}$$

Convention récepteur :  $UI > 0$  si le dipôle reçoit de l'énergie.

# Lois de Kirschhoff

- Lois fondamentales à savoir utiliser absolument

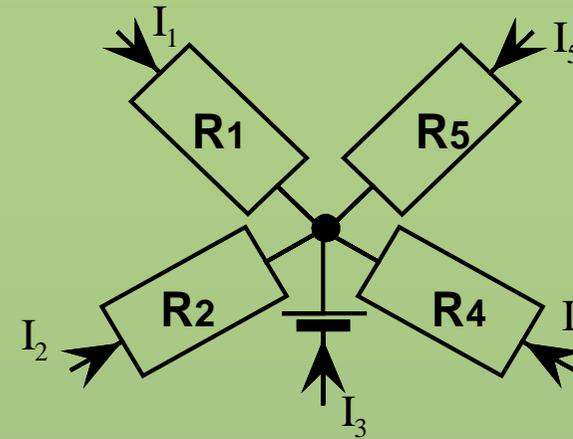


Maille

**Loi aux mailles :**

$$E_1 + E_2 - E_3 + \dots = R_1 I_1 + R_2 I_2 - R_3 I_3 + \dots$$

C'est une loi de "circulation"



Noeud

**Loi aux noeuds :**

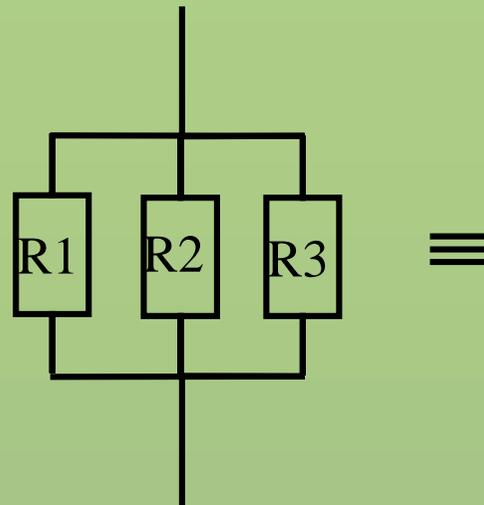
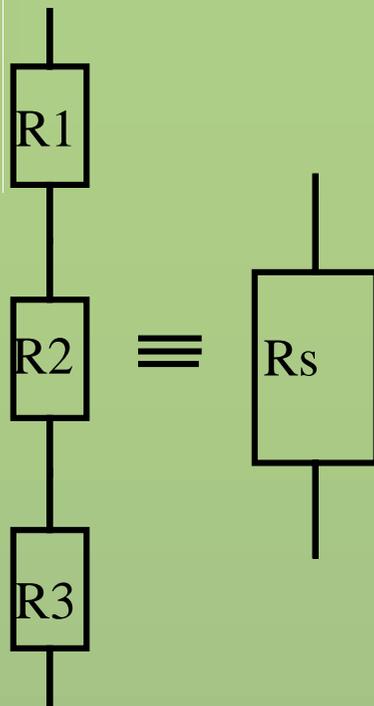
$$I_1 + I_2 - I_3 + \dots = 0$$

C'est une loi de conservation

# Associations de dipôles

- En série, les résistances (les impédances) s'ajoutent :

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$



En parallèle, les conductances (les admittances) s'ajoutent :

$$G_p = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$$

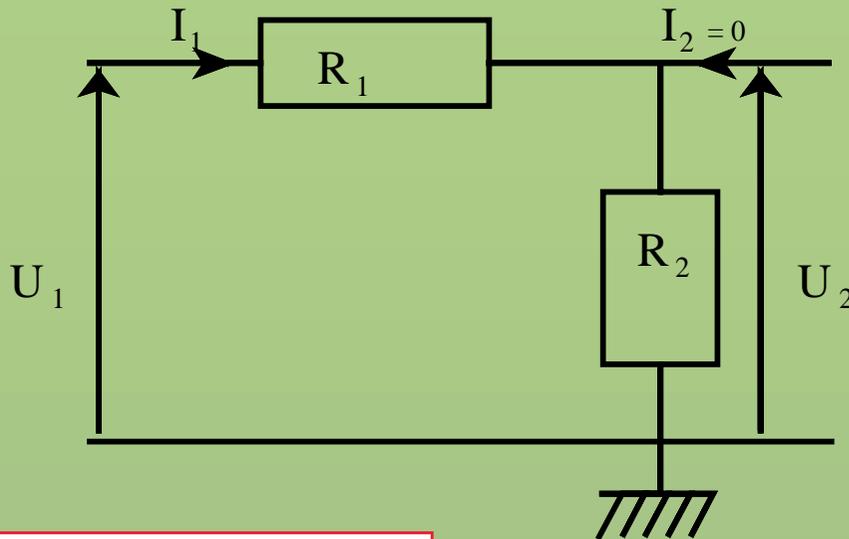
$$1/R_p = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots$$

Le cas le plus fréquent est la mise en parallèle de 2 résistances :

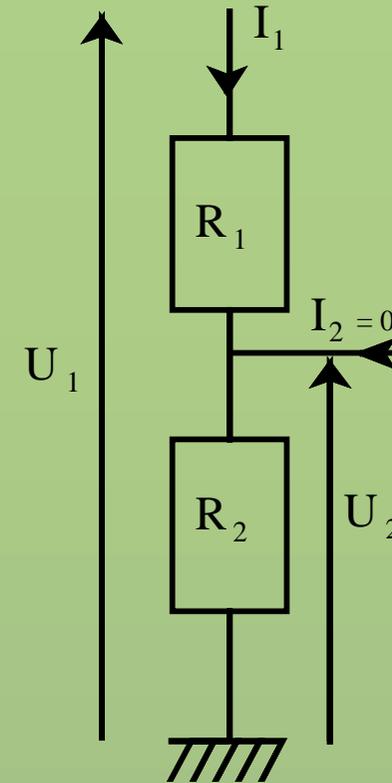
$$R_{p2} = R_1 // R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

# Pont diviseur en sortie ouverte

- A savoir par coeur....

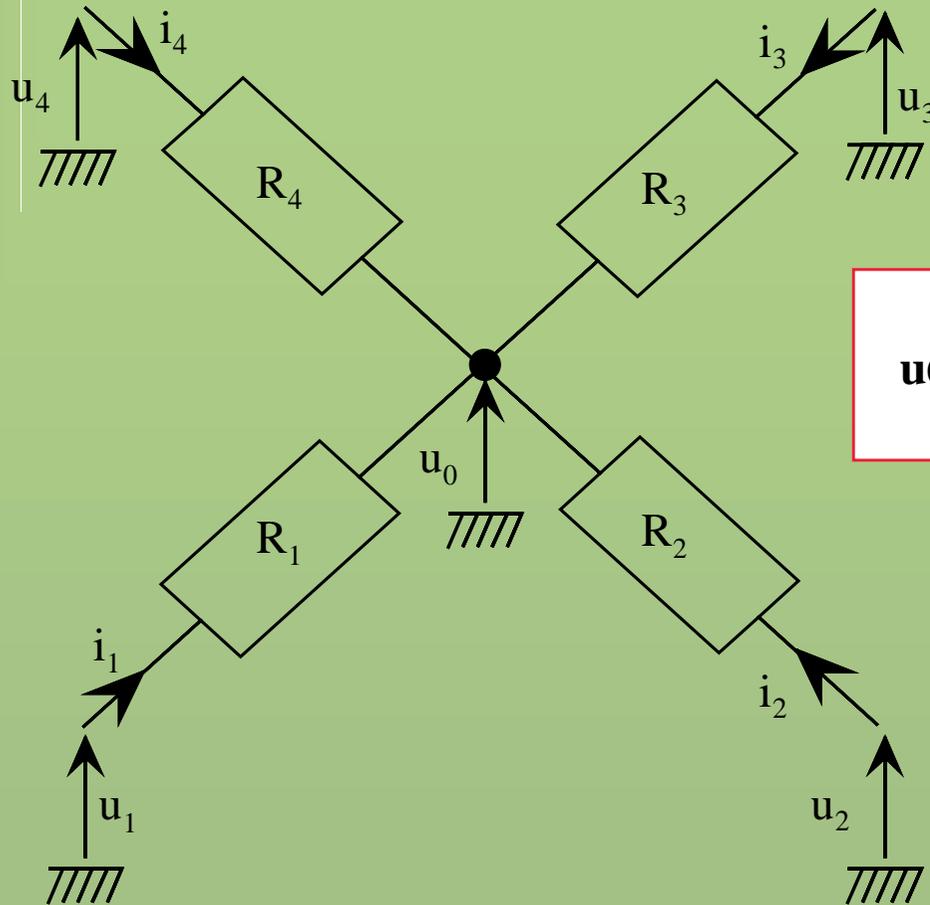


$$\left( \frac{u_2}{u_1} \right)_{i_2=0} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$



# Théorème de Millman

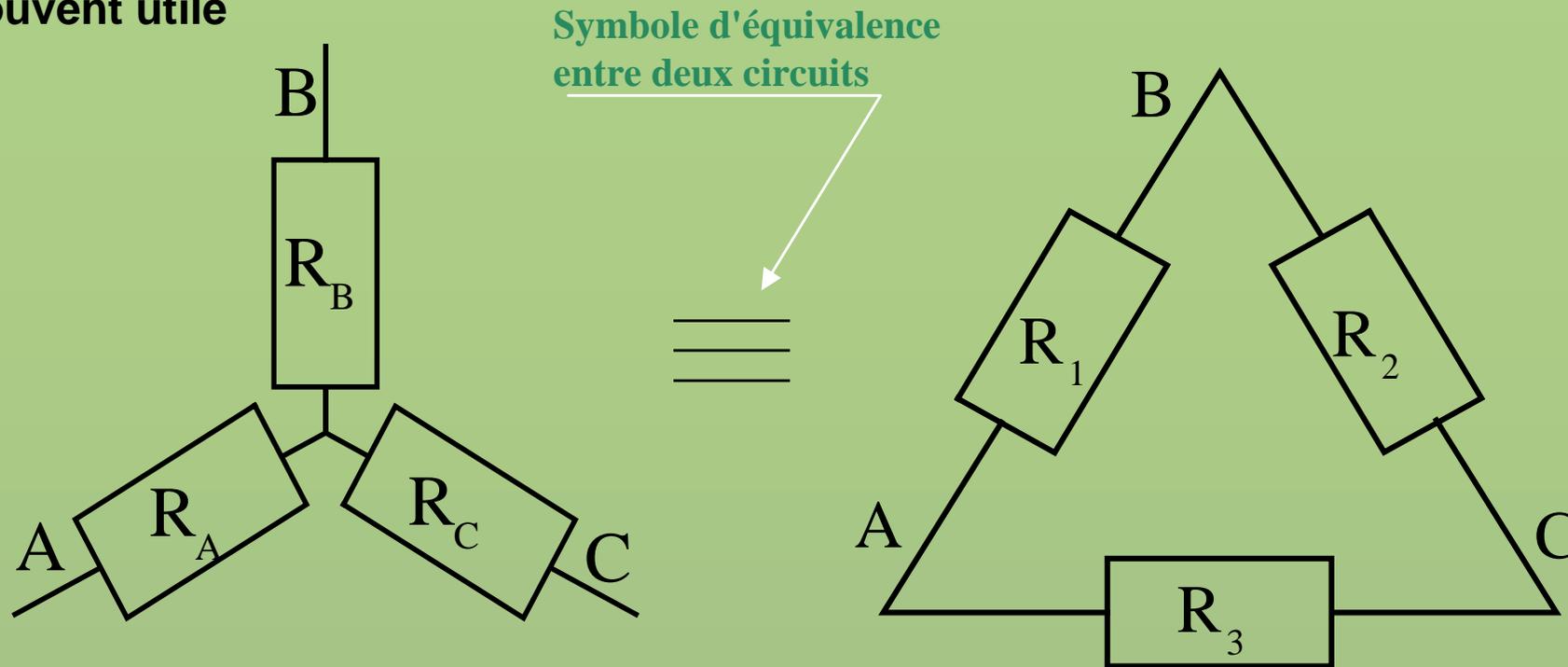
- **C'est la loi aux noeud écrite avec les tensions**  
En électronique, il est impossible de couper un circuit imprimé pour y insérer un ampèremètre.



$$u_0 \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} \right) = \frac{u_1}{R_1} + \frac{u_2}{R_2} + \frac{u_3}{R_3} + \frac{u_4}{R_4}$$

# Equivalence triangle-étoile

- Souvent utile



$$R_A = \frac{R_1 + R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$$

$$R_1 = \frac{1}{R_C} (R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A)$$

Les autres relations se déduisent par permutations des indices

# La pile chimique

- La caractéristique d'une piles est une droite :

$$U = E - R_P I$$

$E$  : Force électromotrice

$$R_P = \frac{E}{I_{CC}}$$

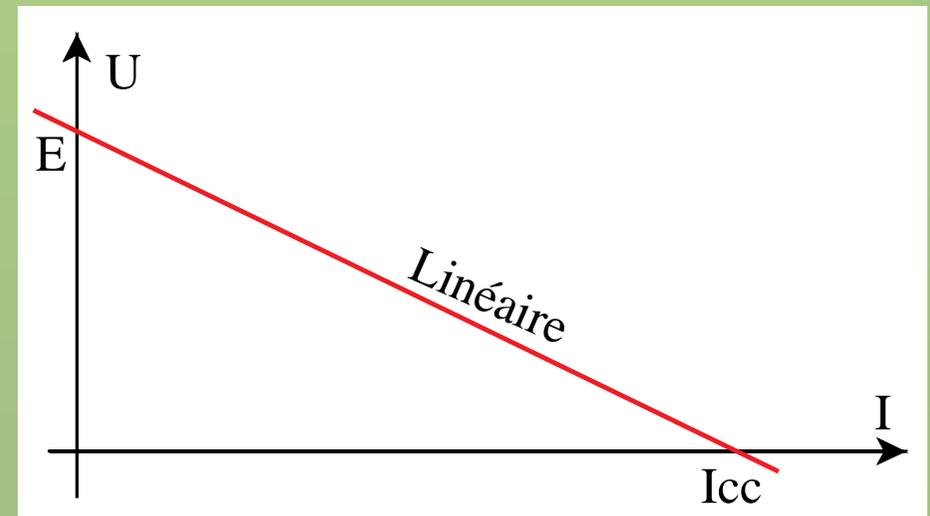
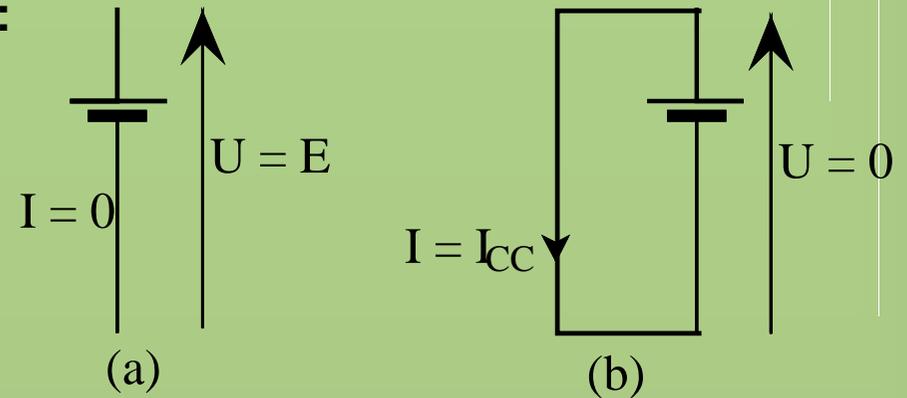
$R_P$  : Résistance interne de la pile

$$I = I_{CC} - G_P U$$

$I_{CC}$  : Courant de court-circuit

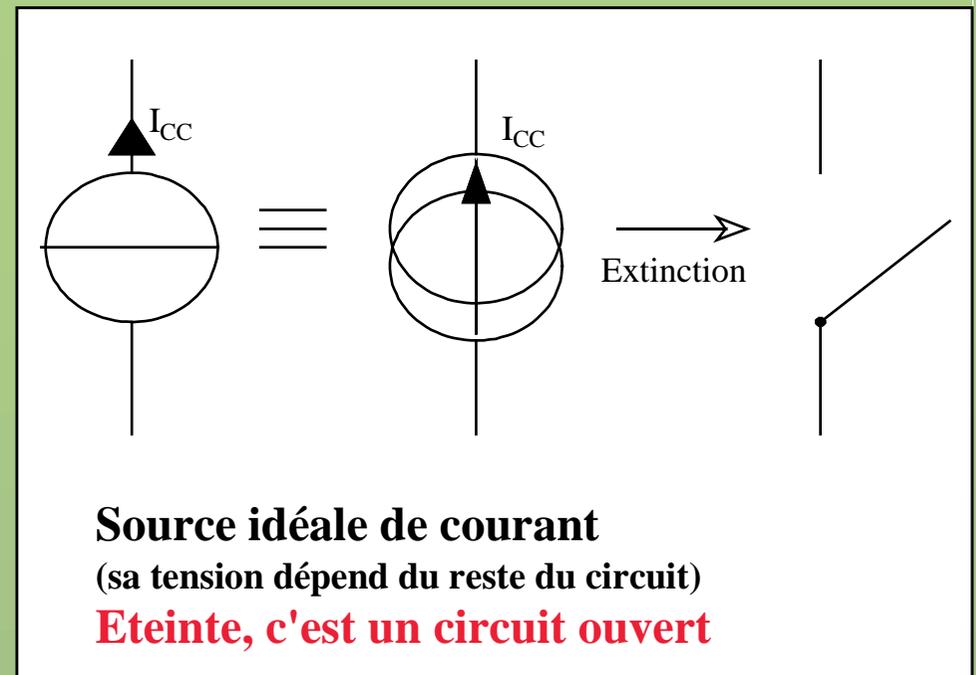
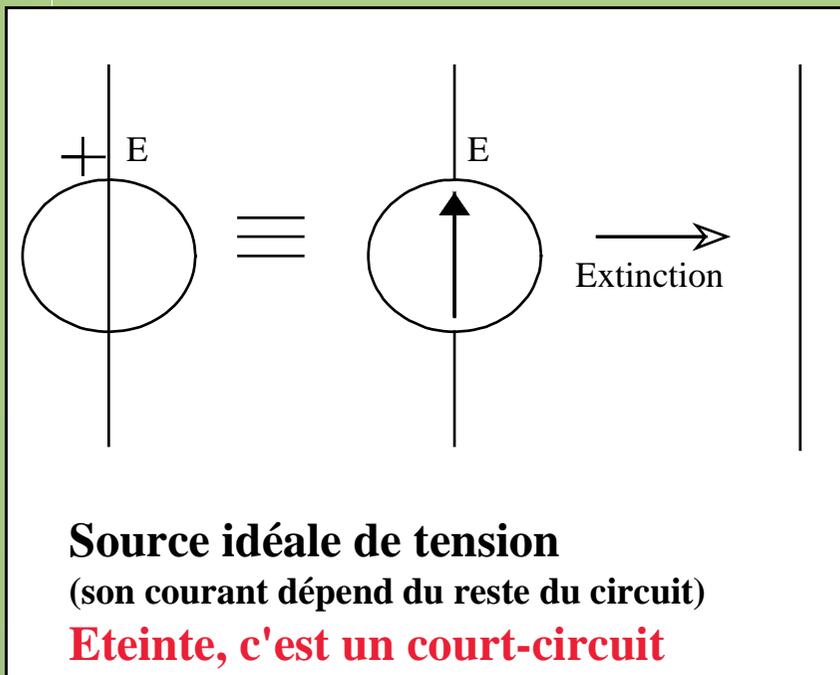
$$G_P = \frac{I_{CC}}{E}$$

$G_P$  : Conductance interne de la pile



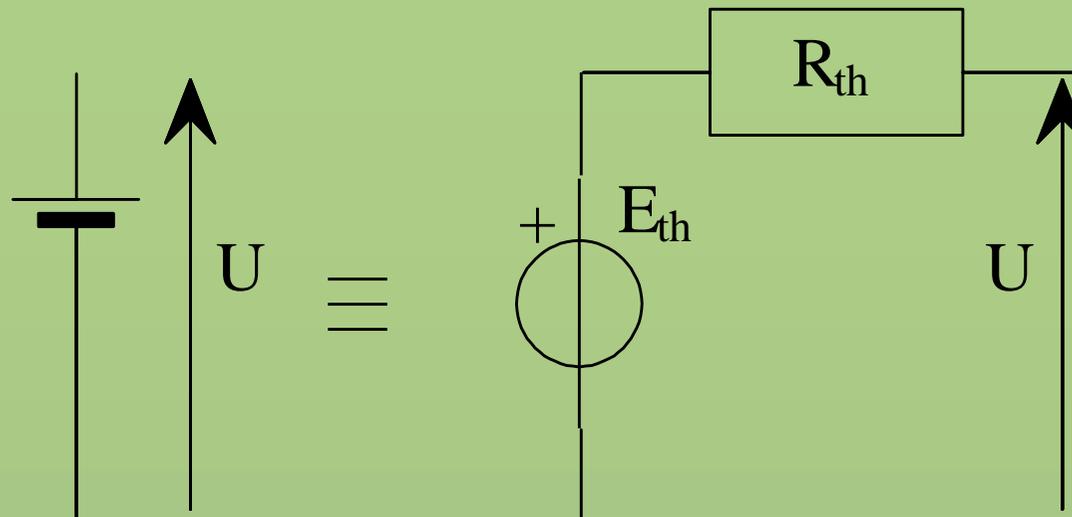
# Sources idéales

- **Sachez les éteindre !**



# Modèle de Thévenin

- Permet de remplacer un pan entier de circuit par une source idéale de tension et une résistance



**$E_{th}$  : Tension de sortie en circuit ouvert du sous-circuit à remplacer**

**$I_{CC}$  : Courant de court-circuit du sous-circuit**

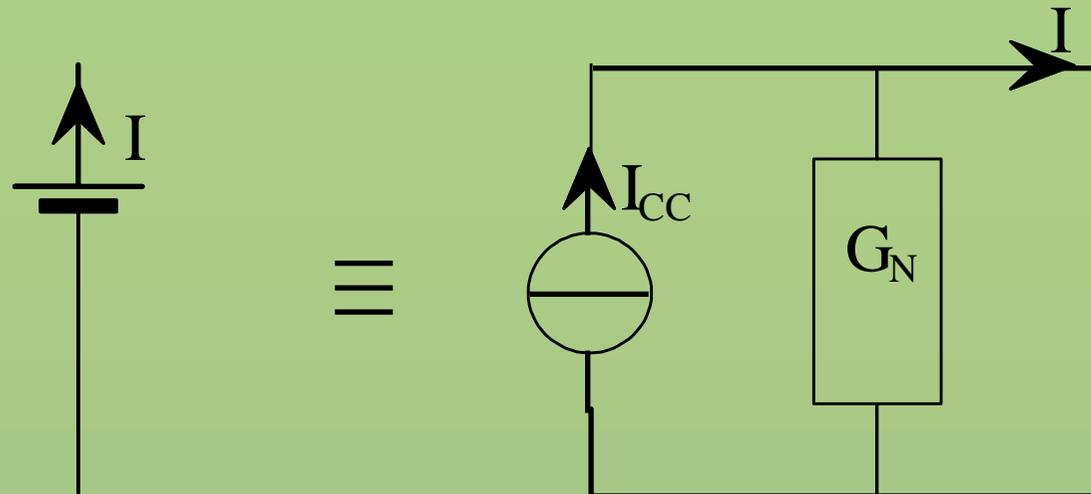
**$R_{th}$  : Résistance interne du sous-circuit**

$$R_{th} = \frac{E_{th}}{I_{CC}}$$

$R_{th}$  peut aussi se calculer en supposant éteinte toutes les sources d'énergie internes au sous-circuit.

# Modèle de Norton

- Permet de remplacer un pan entier de circuit par une source idéale de courant et une résistance



**$I_{CC}$  : Courant de court-circuit du sous-circuit à remplacer**

**$E_{th}$  : Tension de sortie en circuit ouvert du sous-circuit**

**$G_N$  : Conductance interne du sous-circuit**

$$G_N = \frac{I_{CC}}{E_{th}}$$

$G_N = 1/R_{th}$  peut aussi se calculer en supposant éteinte toutes les sources d'énergie internes au sous-circuit.



# Principe de superposition



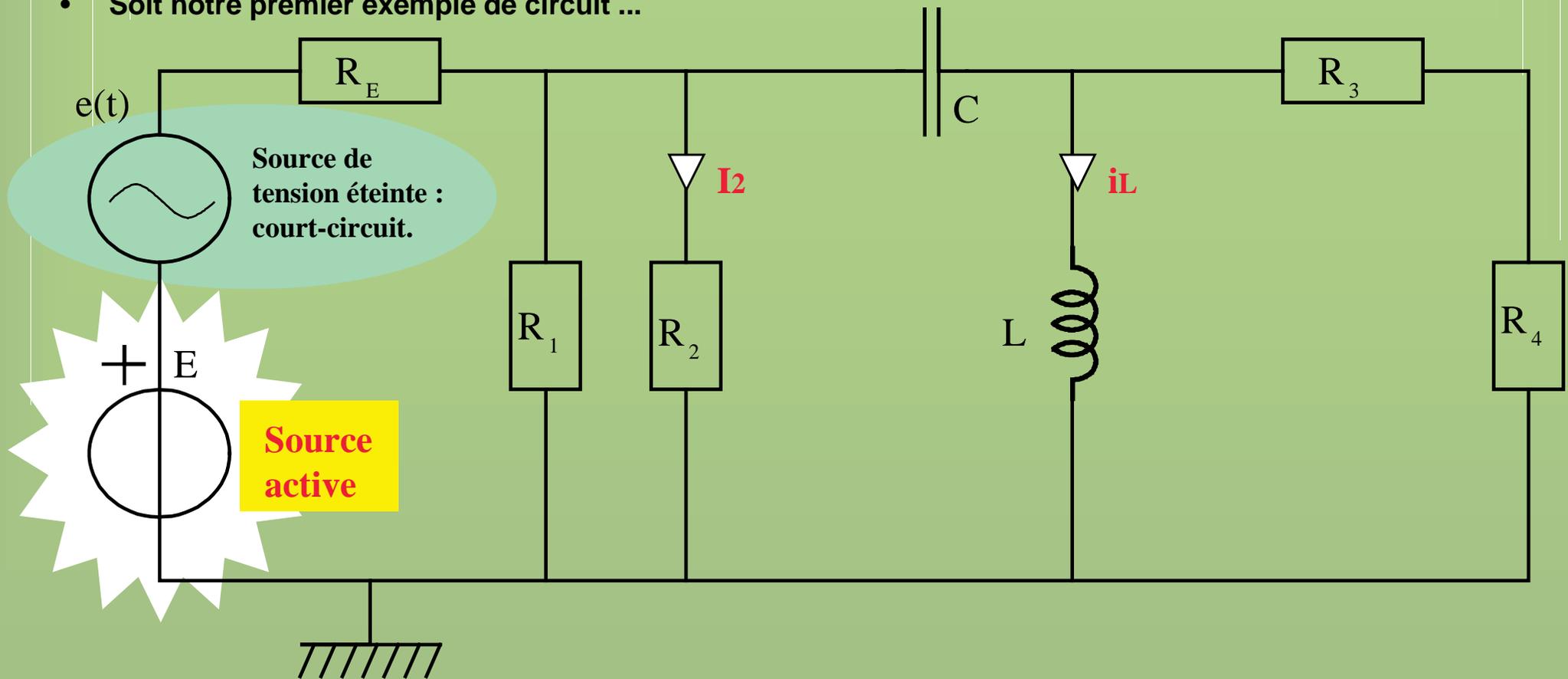
- **C'est une règle fondamentale que vous utiliserez en permanence, souvent sans le savoir...**  
(voir cours sur les transistors)

**La somme des courants dans une branche d'un réseau linéaire est la somme des courants imposés (dans cette branche) par chaque source du circuit, supposée seule active.**

$$I_{\text{total}} = I_{I1} + I_{I2} + I_{I3} + \dots + I_{E1} + I_{E2} + I_{E3} + \dots$$

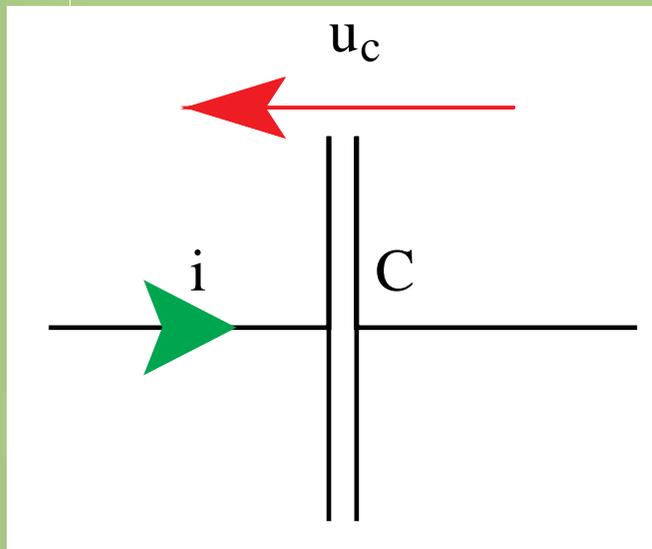
## Application du principe de superposition :

- Soit notre premier exemple de circuit ...

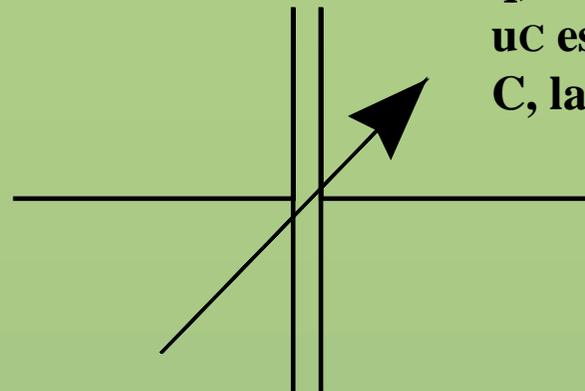


# Le condensateur 1

- La charge  $q$  du condensateur est proportionnelle à la tension  $u_C$  :  $q = C u_C$



Condensateur simple



Condensateur ajustable

$q$ , la charge, est en coulombs (C)  
 $u_C$  est en volts (V)  
 $C$ , la capacité, est en Farads (F)

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

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

Un condensateur arrête tout courant continu.

Une tension variable à ses bornes produit une variation de sa charge, ce qui correspond à un courant.

$u_C$  est toujours dérivable,  
 donc  $u_C$  ne peut pas varier  
 instantanément.

## Le condensateur 2

- Un condensateur est constitué de 2 électrodes (métalliques) séparées par un isolant (ou diélectrique) de permittivité relative  $\epsilon_r$ .

Dans le cas d'un condensateur plan de surface  $S$  et d'épaisseur  $d$  :

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

- La charge du condensateur constitue une énergie potentielle :

$$W_C = \frac{1}{2} C u_C^2$$

- Les capacités s'ajoutent en parallèle.

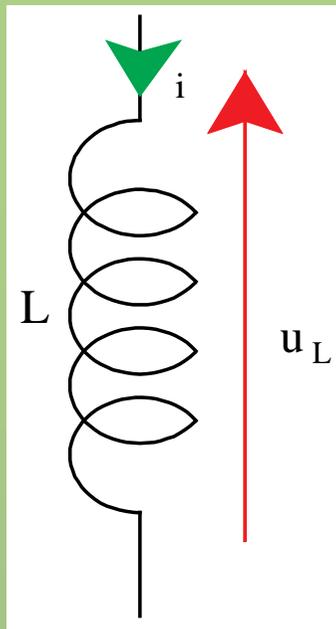
- En régime permanents de petits signaux, l'impédance d'un condensateur est :  
(voir cours sur l'analyse du régime permanent de petits signaux)

$$Z_C = \frac{u_C}{i} = \frac{1}{jC\omega} = \frac{-j}{C\omega}$$

Permittivité diélectrique du vide :  $\epsilon_0 = \frac{1}{36 \pi \cdot 10^9} = 8.842 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$

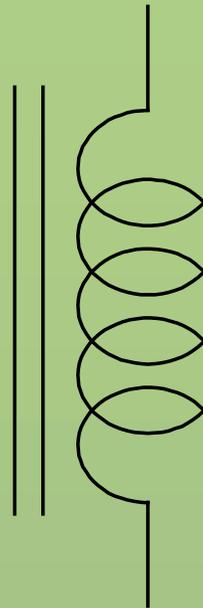
# La bobine 1

- Le champ magnétique présent dans la bobine contrecarre toute variation du courant  $i$  en lui opposant une force électromotrice  $u_L$  (loi de Lentz) :



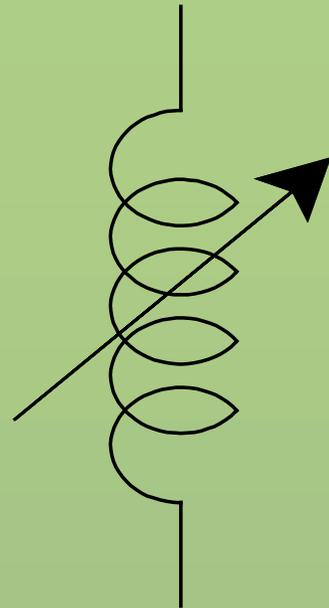
(a)

Solénoïde  
simple



(b)

Solénoïde à noyau  
de fer doux



(c)

Solénoïde  
ajustable

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

$L$ , l'auto-inductance est  
en Henrys (H)

$i$  est toujours dérivable,  
donc  $i$  ne peut pas varier  
instantanément.

Une bobine arrête les courants qui  
varient trop rapidement

## La bobine 2

- Un solénoïde est un fil conducteur enroulé autour d'un noyau de perméabilité relative  $\mu_r$ . Dans le cas d'une bobine de  $N$  spires autour d'un noyau cylindrique de longueur  $l$  et de section  $s$  ( $\sqrt{s} \ll l$ ) :

$$L = \mu_0 \mu_r \frac{N^2 s}{l}$$

- Le champ magnétique de la bobine correspond à une énergie cinétique (des électrons) :

$$W_L = \frac{1}{2} L i^2$$

- Les auto-inductances s'ajoutent en série.

- En régime permanents de petits signaux, l'impédance d'un solénoïde est :  
(voir cours sur l'analyse du régime permanent de petits signaux)

$$Z_L = \frac{u_L}{i} = jL\omega$$

Perméabilité magnétique du vide :  $\mu_0 = 4 \pi 10^{-7} = 1,257 10^{-6} \text{ H/m}$

$$\epsilon_0 \mu_0 c^2 \stackrel{?}{=} 1$$