

Cours d' ÉLECTRICITÉ
IUT de Saint Nazaire
Département Mesures - Physiques



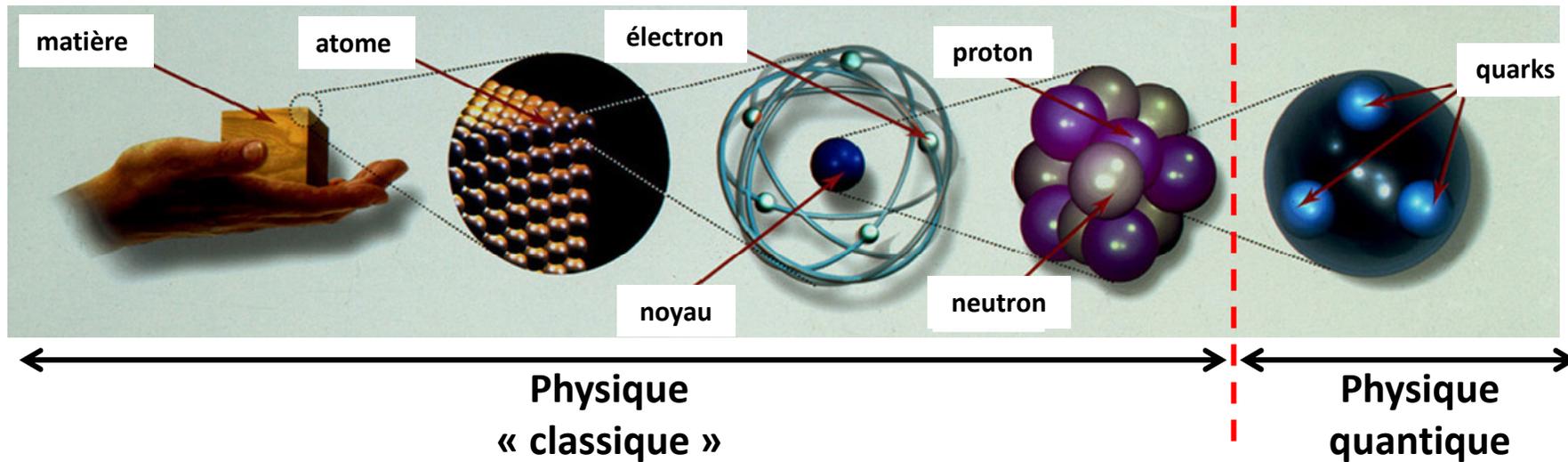
Septembre 2017

Nicolas BERNARD

I. La matière et ses propriétés	<i>p. 1</i>
II. Grandeurs électriques	<i>p. 4</i>
III. Eléments des circuits électriques	<i>p. 10</i>
IV. Lois générales de l'électricité	<i>p. 16</i>
V. Générateur de Thévenin et générateur de Norton	<i>p. 21</i>
VI. Etude des circuits en régime continu (DC)	<i>p. 23</i>
VII. Etude des circuits en régime sinusoïdal (AC)	<i>p. 28</i>
VIII. Câblage et mesures en électricité	<i>p. 35</i>

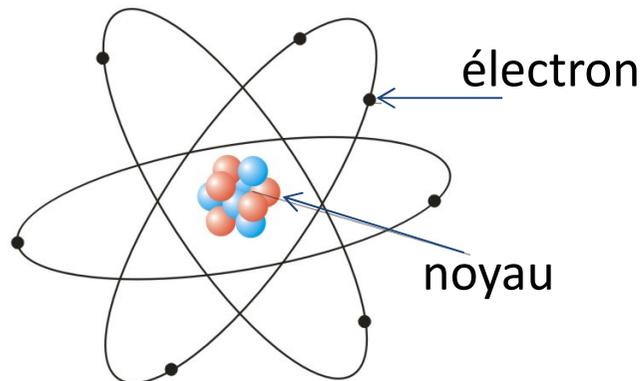
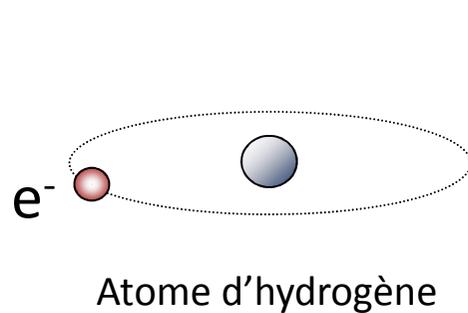
I. La Matière et ses Propriétés Electriques

La Matière



Représentations de l'atome

→ Représentation classique : modèle planétaire

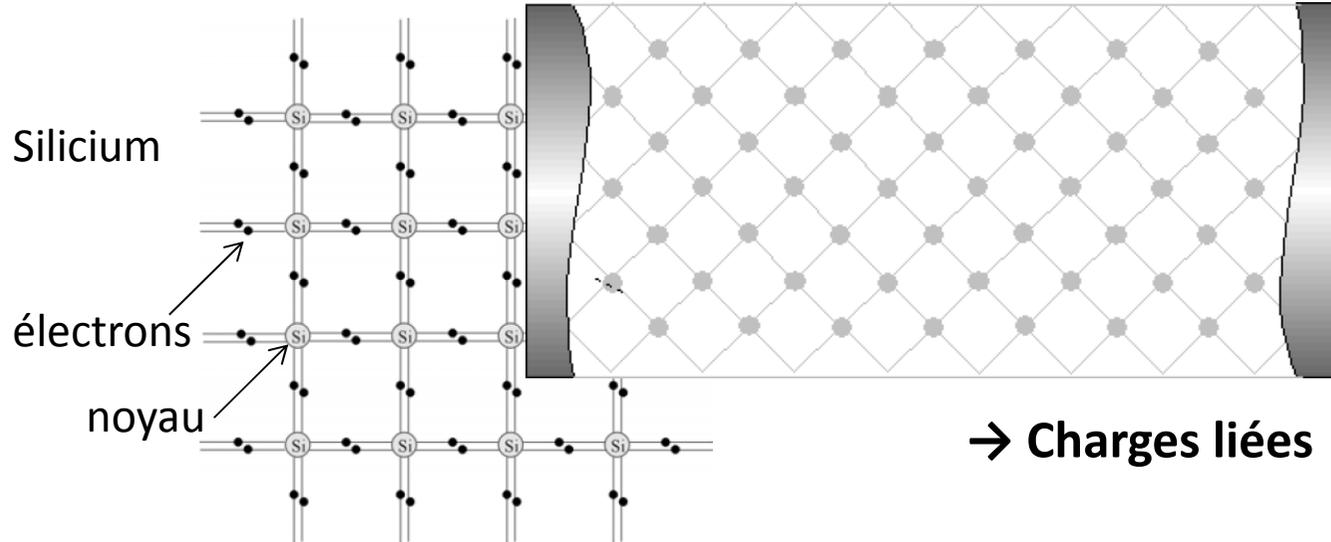


Représentation très simpliste

Représentations d'un matériau (structure atomique)

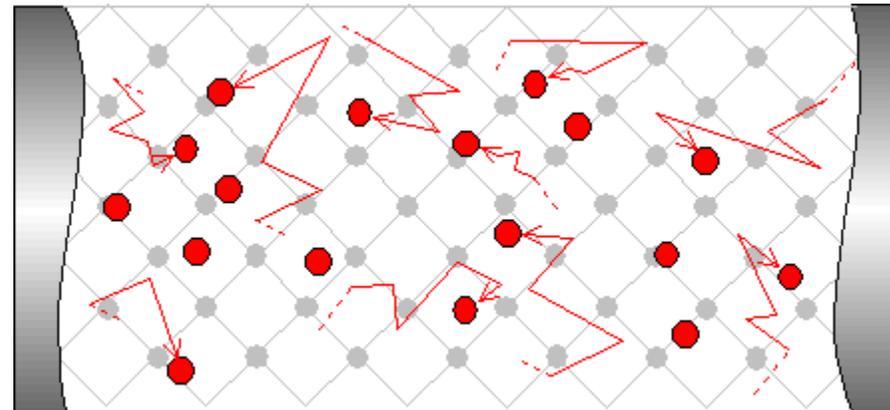
➡ Isolant électrique

Ex :
cristal de Silicium



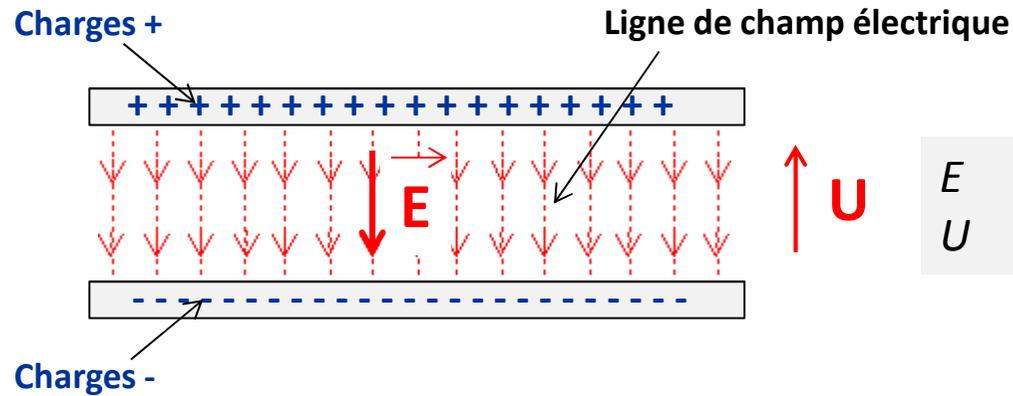
➡ Conducteur électrique

Ex :
cuivre



→ Charges liées + **charges libres**

Différence de potentiel électrique



E : champ électrique
 U : différence de potentiel [en Volt : V]

Force Electrique (Force de COULOMB)

$$\vec{F} = q \vec{E}$$

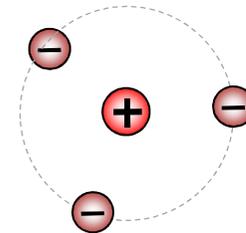
$q = +/- 1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C (Coulomb)}$

Courant électrique

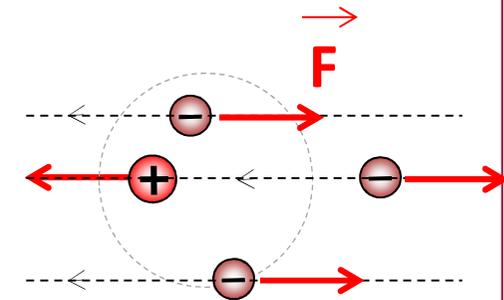
$$i = \frac{dq}{dt}$$

i : courant électrique [en Ampère : A]

$E = 0$



$E \neq 0$



II. Grandeurs Electriques

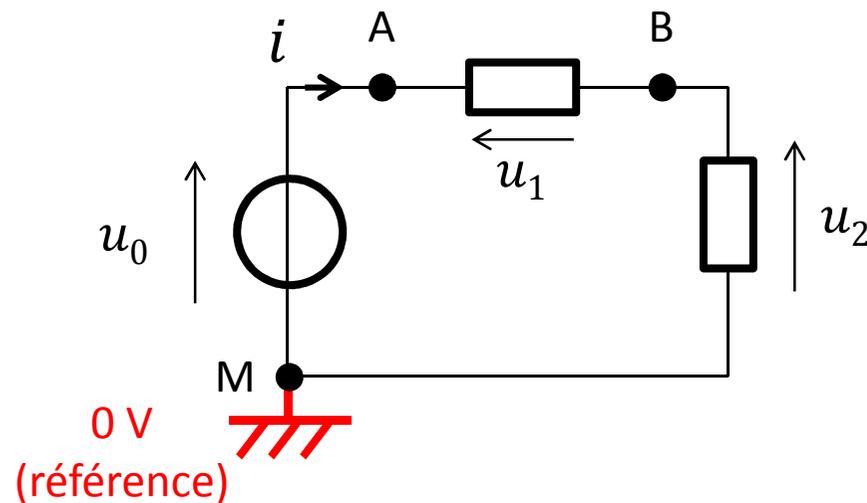
Courant Electrique

Notation : i

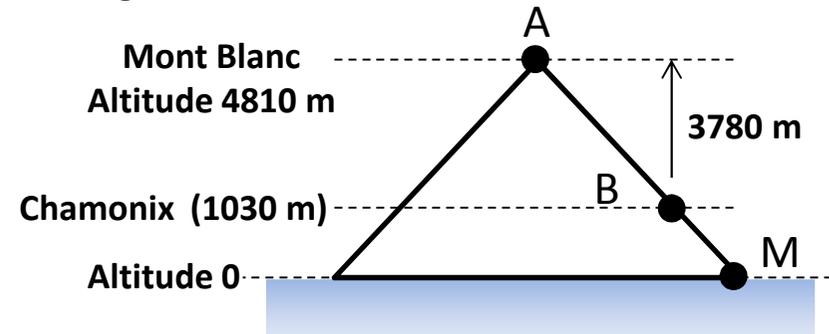
Unité : l'Ampère [A]

Tension électrique (Potentiel et différence de potentiel)

Exemple de circuit électrique



Analogie avec l'altitude



Notation : V ou U

Unité : le Volt [V]

- ✓ Référence (0 V) → Masse électrique
- ✓ Différence de potentiel : tension mesurée entre deux points
- ✓ Potentiel en un point : tension mesurée entre le point et la masse

Puissance électrique active

Notation : P

Unité : le Watt [W]

Puissance active = partie de l'énergie convertie (ou fournie) sous forme d'un travail (Force, échauffement)

Définition :

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) i(t) dt$$

P = valeur moyenne de la puissance instantanée

Puissance en régime continu (DC) :

$$P = U I$$

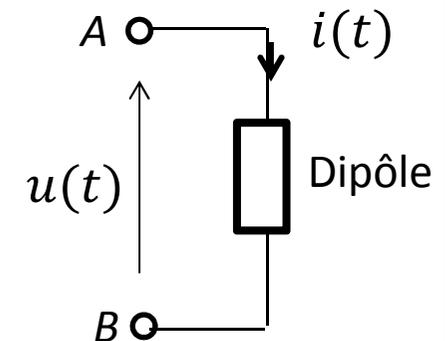
Puissance en régime sinusoïdal (AC) :

$$u(t) = U_{eff} \sqrt{2} \sin(\omega t)$$

$$i(t) = I_{eff} \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$$



$$P = U_{eff} I_{eff} \cos(\varphi)$$



Régime continu (DC) et alternatif (AC)

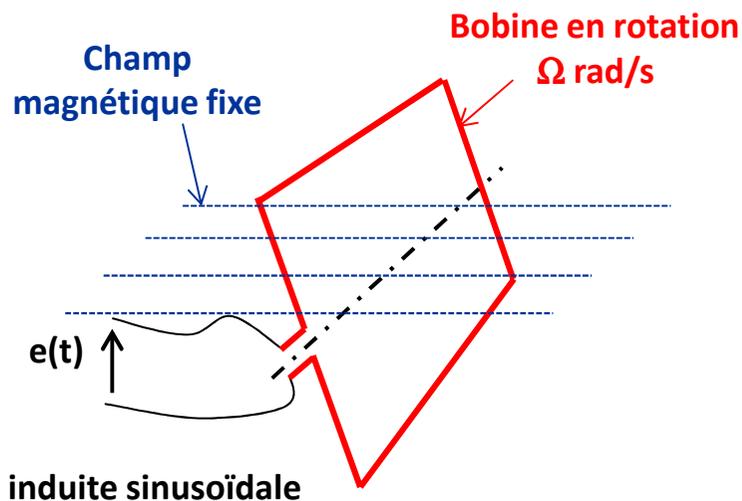
Obtention d'une tension continue

Batterie
électrochimique
ou accumulateur
(rechargeable)



Piles
(non rechargeables)

Obtention d'une tension sinusoïdale



Eoliennes



Alternateur de centrale
hydraulique

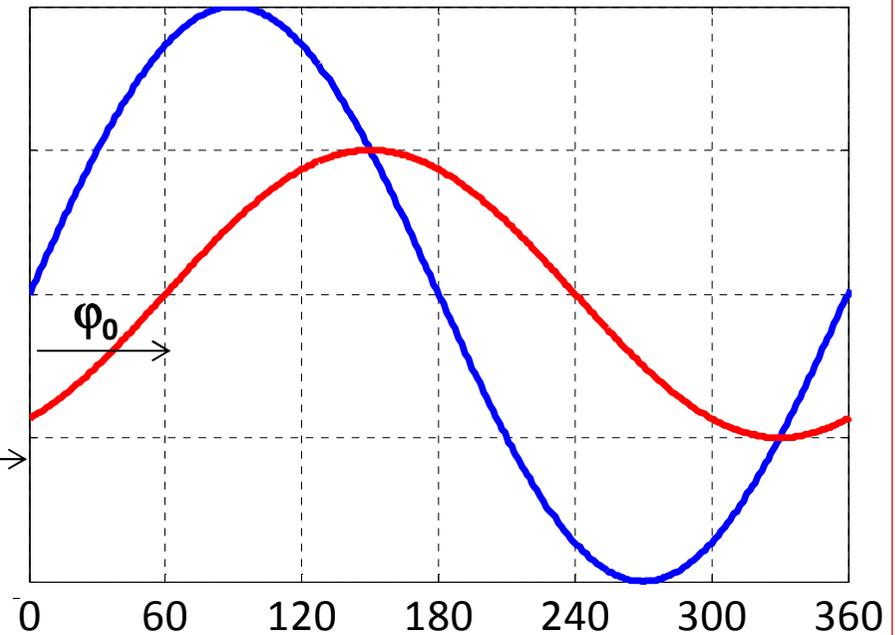
Caractéristiques d'un signal sinusoïdale (ex. d'une tension)

Expression temporelle (fonction du temps)

$$u_1(t) = U_{max} \sin(\omega t)$$

$$u_2(t) = \frac{U_{max}}{2} \sin(\omega t - \varphi_0)$$

Chronogramme
(visualisation à l'oscilloscope)



U_{max} : amplitude [V]
 ω : pulsation [rad/s]
 φ_0 : phase à l'origine [rad]
 f : fréquence [Hz]
 T : période [s]

Période : $T = \frac{1}{f}$

Pulsation : $\omega = 2 \pi f$

Valeur efficace d'un signal sinusoïdal

Définition :

$$\text{Valeur efficace} = \frac{\text{Amplitude}}{\sqrt{2}}$$

Exemple :

$$u(t) = U_{max} \sin(\omega t)$$

$$U_{eff} = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$$

Signification :

La valeur efficace d'une tension sinusoïdale est la grandeur qui, en régime continu, produirait dans une résistance le même échauffement

Réseau EDF :

spécifié en valeur efficace

Installations domestiques: $U_{eff} = 240V$

Distribution haute tension : $U_{eff} = 400 \text{ kV}$



Ecriture complexe et représentation de FRESNEL

Si régime établi

$$u(t) = U_{eff} \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi_0)$$

Ecriture en complexe (forme polaire)

$$\underline{U} = U_{eff} \sqrt{2} e^{j(\omega t - \varphi_0)}$$

Amplitude = Module
Phase = Argument

Représentation graphique (vecteur de FRESNEL)



Rappel

Forme cartésienne $\longrightarrow \underline{Z} = a + jb$

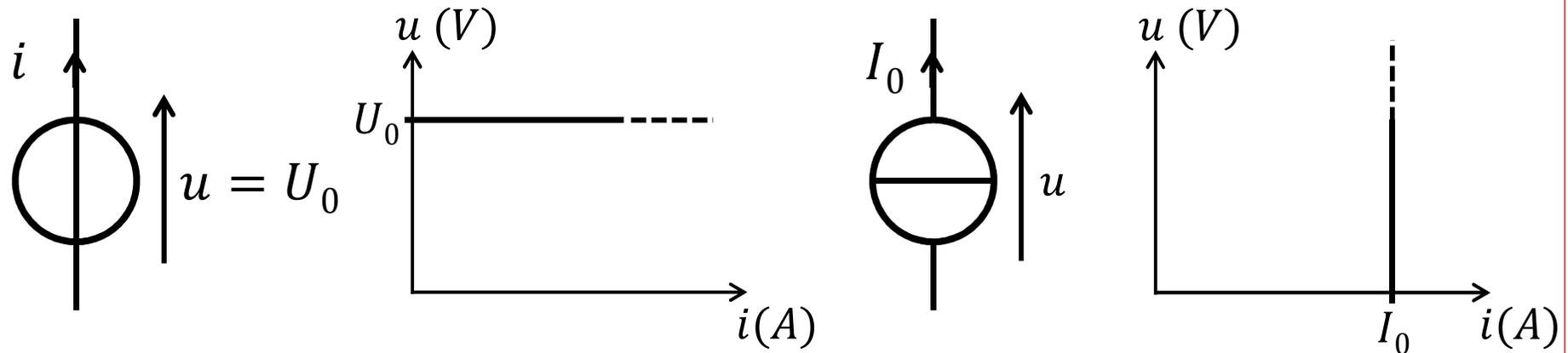
Forme polaire $\longrightarrow \underline{Z} = \rho e^{j\varphi}$

module $\rho = \sqrt{a^2 + b^2}$

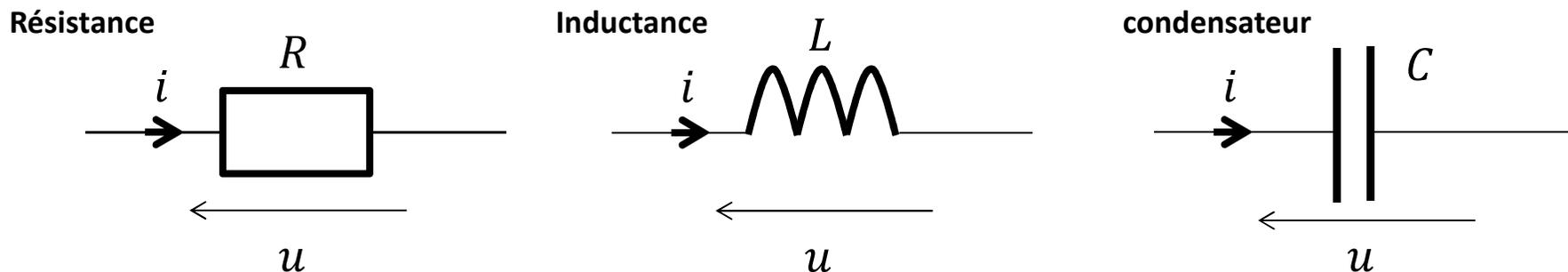
argument $\varphi = \text{atan}\left(\frac{b}{a}\right)$

III. Éléments des circuits électriques

Générateurs (actifs) → fléchage tension et courant dans le même sens

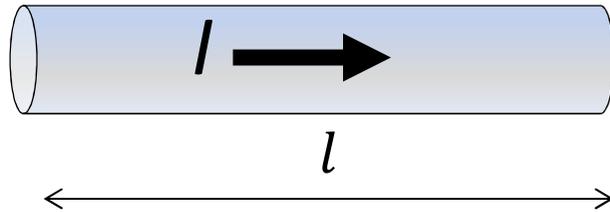


Composants (passifs) → fléchage tension et courant en sens inverse
(Résistance, Inductance, Condensateur)



La Résistance électrique

Définition



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

R : résistance [Ω]
 ρ : résistivité [Ωm]
 l : longueur [m]
 S : section [m^2]

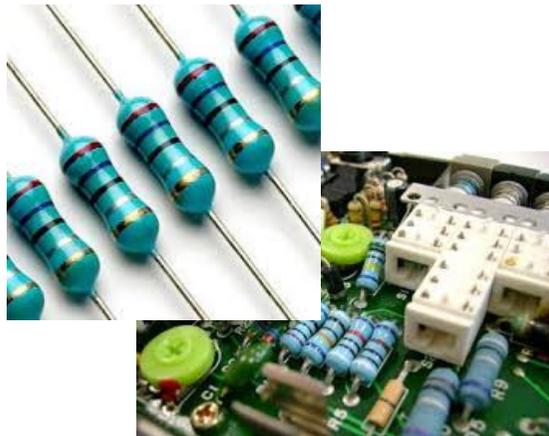
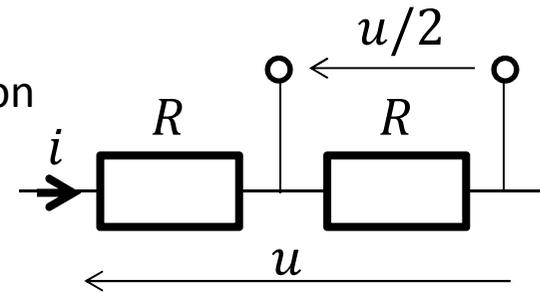
Applications

→ Chauffage par effet Joule

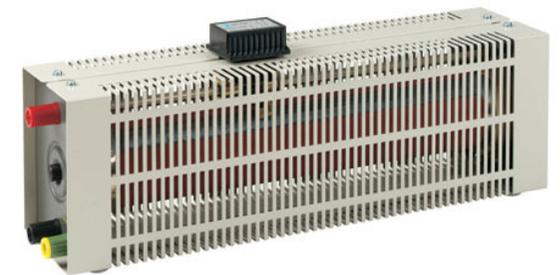


Radiateur électrique
(1kW)

→ Diviseur de tension

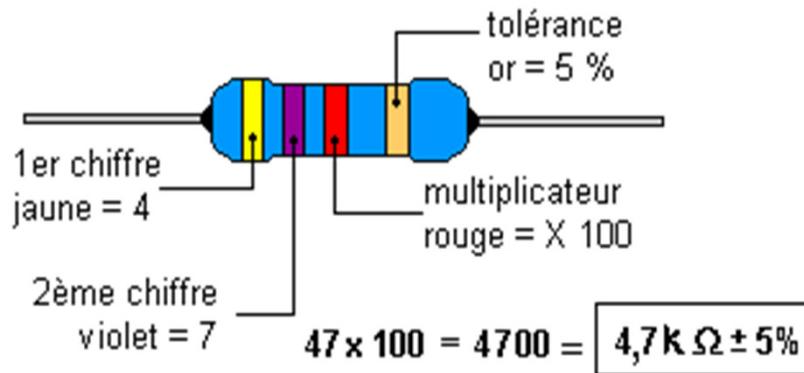


Résistances pour carte électronique
(0,25 W max)

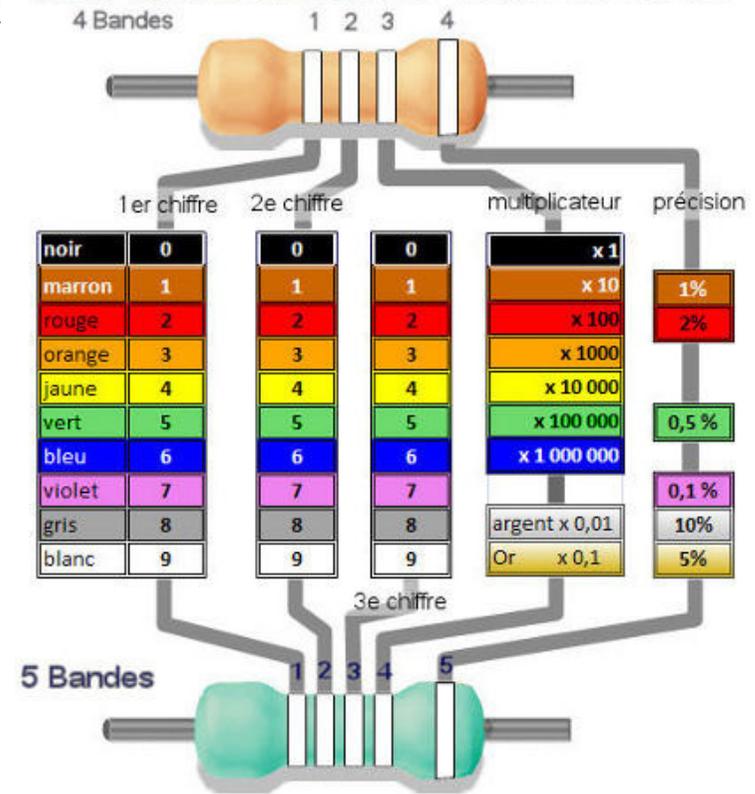


Résistance variable de puissance
(Rhéostat)

Résistances pour l'électronique



Code couleur Résistance - série E24 et E48



Mesure d'une résistance au multimètre

Utilisation d'un multimètre en position ohmmètre



Ne jamais utiliser un ohmmètre sur un montage sous tension



Multimètre portable



Multimètre de table

L'inductance

Principe

- Courant
- Champ magnétique
- Energie magnétique

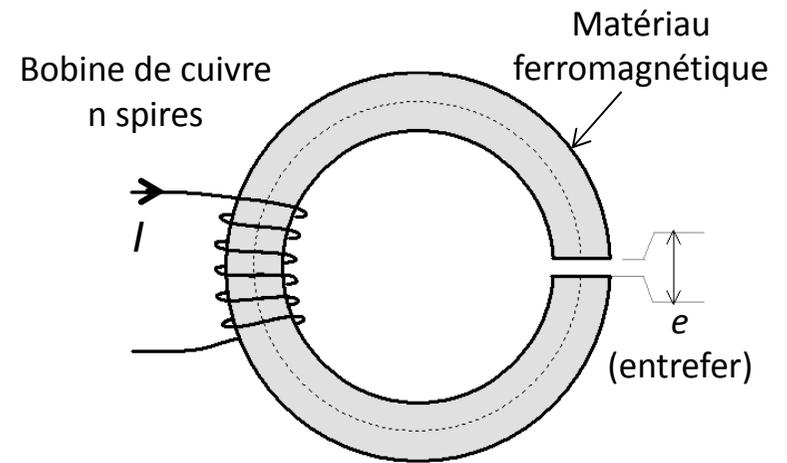
Energie stockée sous forme magnétique

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

L : inductance [en Henry; H]
 W : énergie [en Joule; J]
 I : courant [A]

Applications

- Stockage d'énergie
- Lissage d'un courant ondulé
- Filtrage



Réalisation d'une inductance avec noyau de fer

Inductance de lissage et de filtrage (20 kHz)



Inductance de lissage 50 Hz

Le condensateur

Principe

tension

→ Champ électrique

→ Energie électrique

Energie stockée sous forme électrique

$$W = \frac{1}{2} C V^2$$

C : capacité [en Farad; F]

W : énergie [en Joule; J]

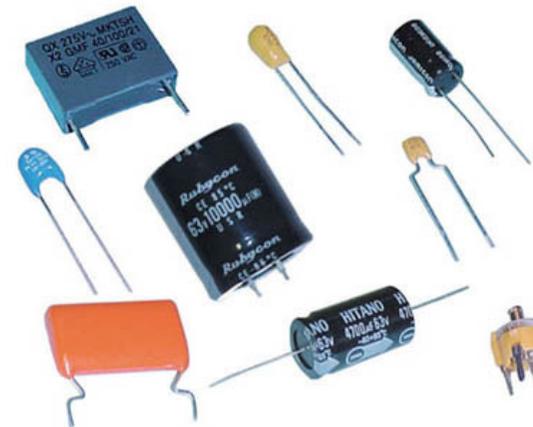
V : tension [V]

Applications

- Stockage d'énergie
- Lissage d'une tension ondulée
- Filtrage



Condensateurs polariser pour le lissage d'une tension

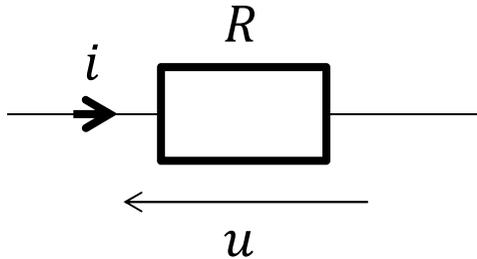


Condensateurs pour l'électronique

Composants et relations courant/tension

Formulation générale

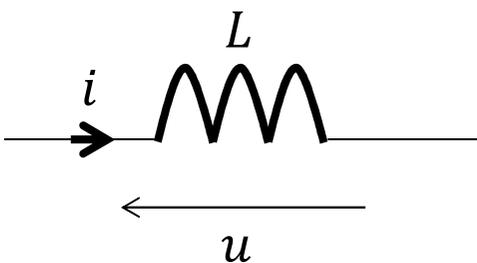
Résistance



$$u(t) = R i(t)$$

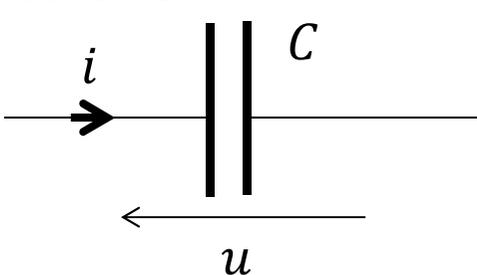
Loi d'Ohm

Inductance



$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt}$$

Condensateur



$$i(t) = C \frac{du(t)}{dt}$$

Formulations particulières

En continu DC $\frac{U}{I} = R$

En sinusoïdal AC $\frac{U}{I} = R$

En continu DC $\frac{U}{I} = 0$
 → Inductance = fil

En sinusoïdal AC $\frac{U}{I} = jL\omega$

En continu DC $\frac{U}{I} = \infty$
 → Condensateur = circuit ouvert

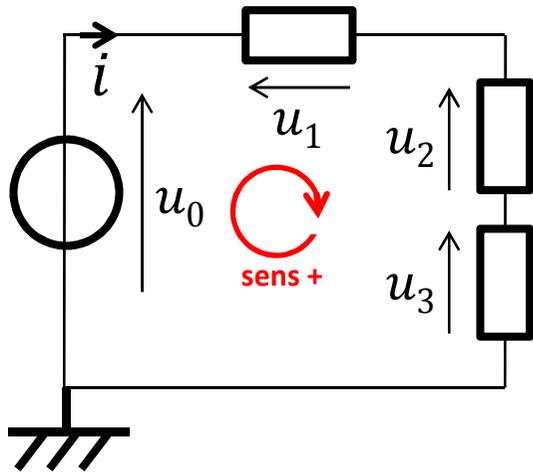
En sinusoïdal AC $\frac{U}{I} = \frac{1}{jC\omega}$

IV. Lois Générales de l'électricité

Loi des Mailles

La somme des tensions sur une maille est nulle

Exemple 1 : Circuit à 1 maille



$$u_0(t) - u_1(t) - u_2(t) - u_3(t) = 0$$

En continu (DC) ✗

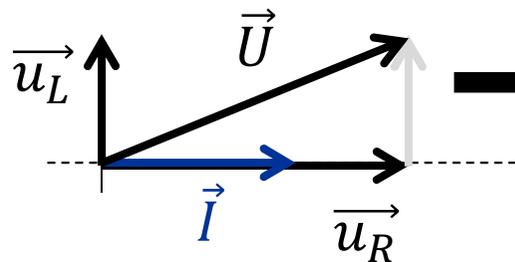
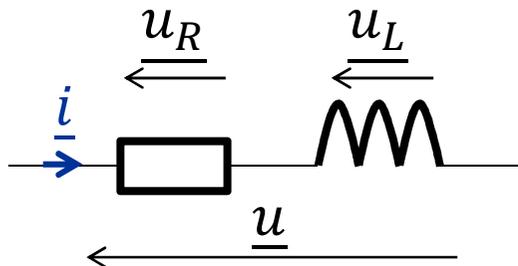
$$U_0 = U_1 + U_2 + U_3$$

En sinusoïdal (AC)

$$\underline{U}_0 = \underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3$$

⚠ $U_0 \neq U_1 + U_2 + U_3$

Exemple 2 : Circuit RL série en sinusoïdal



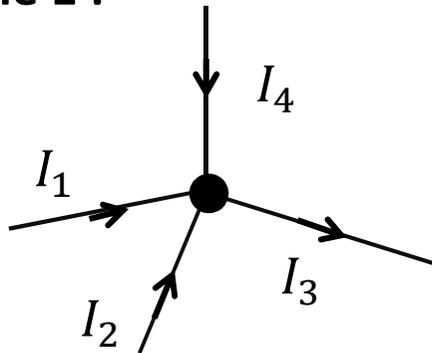
$$U_{eff} = \sqrt{U_{R\,eff}^2 + U_{L\,eff}^2}$$

Représentation de FRESNEL avec courant pris comme référence

Loi des Nœuds

La somme des courants arrivant sur un nœud est nulle

Exemple 1 :



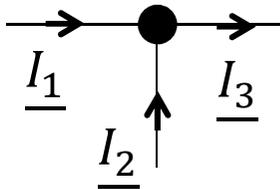
En continu (DC)

$$I_1 + I_2 + I_4 = I_3$$

En sinusoïdal (AC)

$$\underline{I_1} + \underline{I_2} + \underline{I_4} = \underline{I_3}$$

Exemple 2 :



$$i_1(t) = I_{1max} \cos(\omega t)$$

$$i_2(t) = I_{2max} \cos(\omega t - \frac{\pi}{2})$$

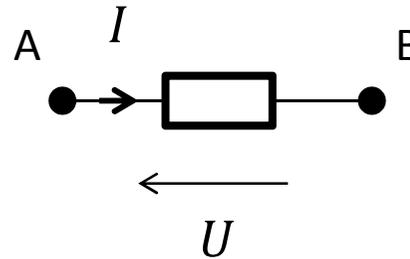
$$i_3(t) = \dots$$

$$I_{3eff} = \dots$$

Loi d'Ohm

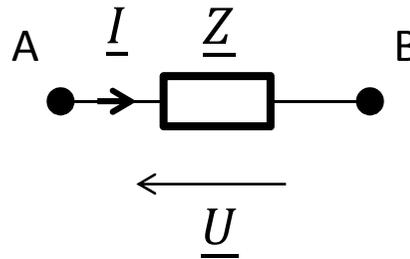
En régime continu (DC)

$$U = R I$$



En régime sinusoïdal (AC)

$$\underline{U} = \underline{Z} \underline{I}$$



$$\underline{Z} = Z e^{j\varphi}$$

Impédances complexes des éléments passifs en régime sinusoïdal (AC)

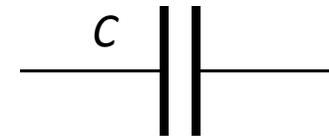


$$\underline{Z}_R = R$$



$$\underline{Z}_L = jL\omega$$

$$\underline{Z}_L = L\omega e^{j\frac{\pi}{2}}$$

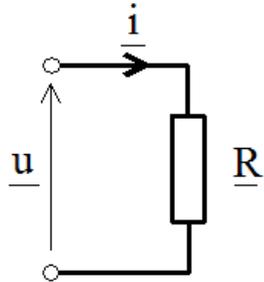


$$\underline{Z}_C = \frac{1}{jC\omega}$$

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{C\omega} e^{-j\frac{\pi}{2}}$$

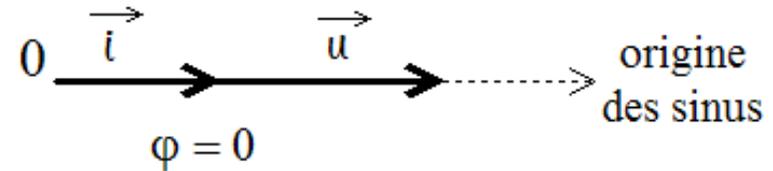
$$u(t) = U_{eff} \sqrt{2} \sin(\omega t)$$

▪ Exemple 1 : Cas d'une résistance

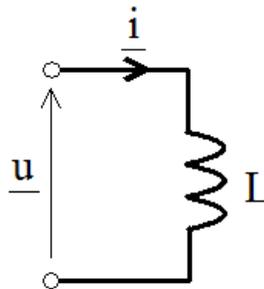


$$I_{eff} = \frac{U_{eff}}{R}$$

$$\arg(\underline{I}) = \omega t$$

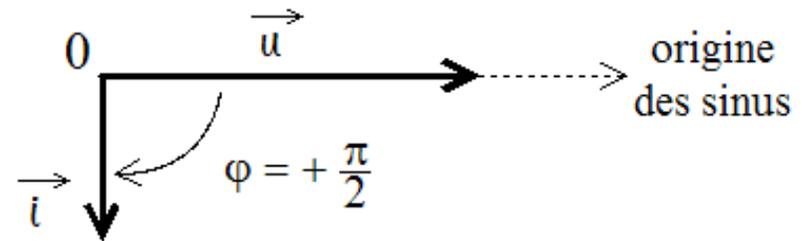


▪ Exemple 2 : Cas d'une inductance

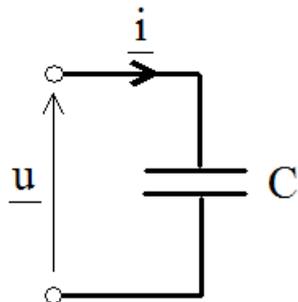


$$I_{eff} = \frac{U_{eff}}{L\omega}$$

$$\arg(\underline{I}) = \omega t - \frac{\pi}{2}$$

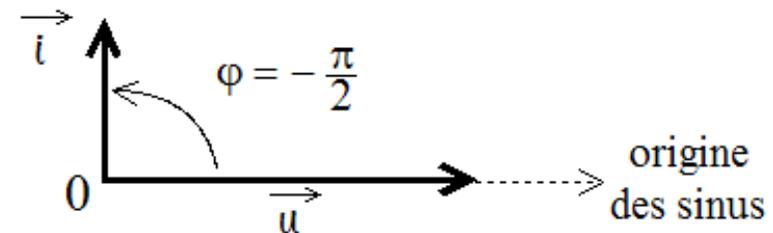


▪ Exemple 3 : Cas d'une capacité



$$I_{eff} = U_{eff} C\omega$$

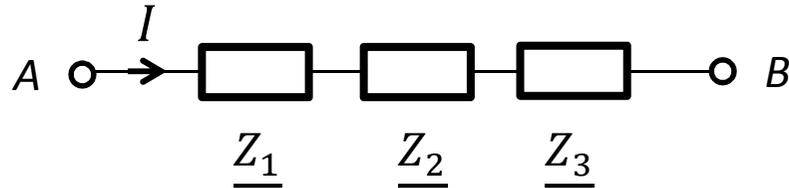
$$\arg(\underline{I}) = \omega t + \frac{\pi}{2}$$



Associations série et parallèle des impédances

→ Des impédances sont **en série** si elles sont traversées par le **même courant**

Exemple :

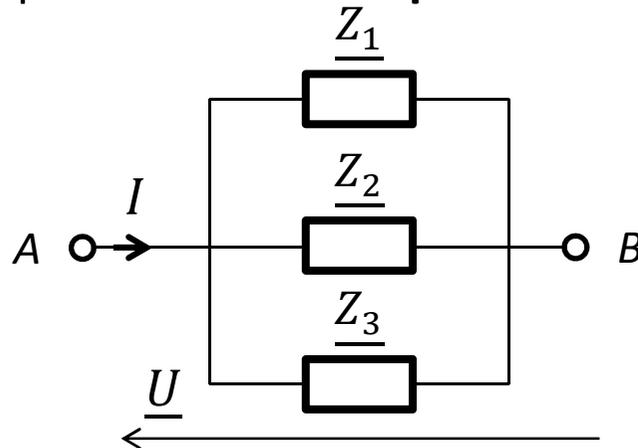


En série :
On additionne les impédances

Impédance équivalente entre A et B $\longrightarrow \underline{Z_{AB}} = \underline{Z_1} + \underline{Z_2} + \underline{Z_3}$

→ Des impédances sont **en parallèle** si elles sont soumises à la **même tension**

Exemple :



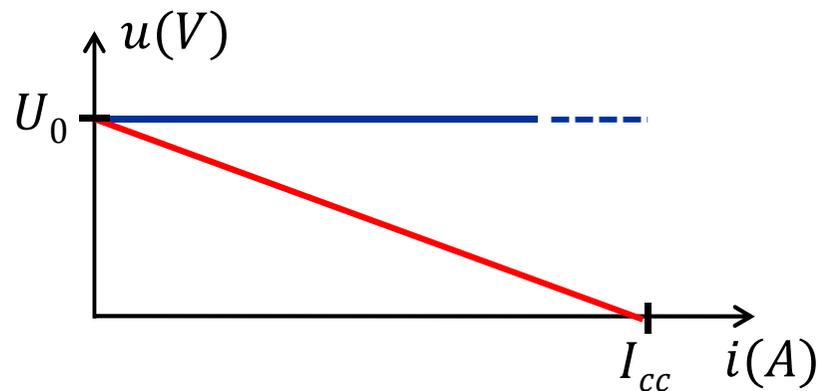
En parallèle :
On additionne l'inverse des impédances

Impédance équivalente entre A et B $\longrightarrow \frac{1}{\underline{Z_{AB}}} = \frac{1}{\underline{Z_1}} + \frac{1}{\underline{Z_2}} + \frac{1}{\underline{Z_3}}$

V. Générateur de THEVENIN et Générateur de NORTON

Générateurs : cas idéal/cas réel

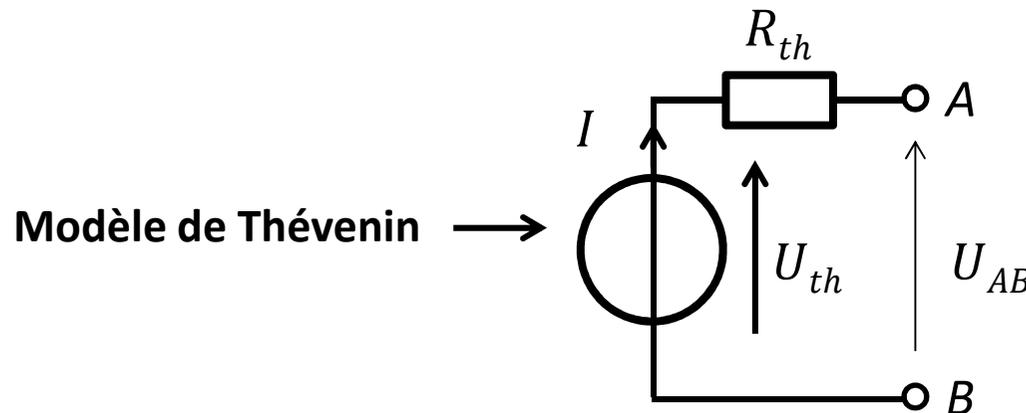
Exemple : Caractéristique d'un générateur de tension



— Générateur parfait
 - - - Générateur imparfait

U_0 : Tension à vide
 I_{cc} : Courant de court-circuit

Modèle équivalent d'un générateur de tension avec imperfection



Tension à vide

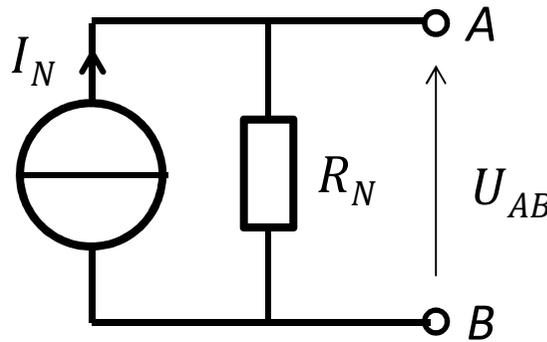
$$U_{AB} = U_{th}$$

Courant de court-circuit

$$I_{cc} = \frac{U_{th}}{R_{th}}$$

Modèle équivalent d'un générateur courant avec imperfection

Modèle de Norton



Tension à vide

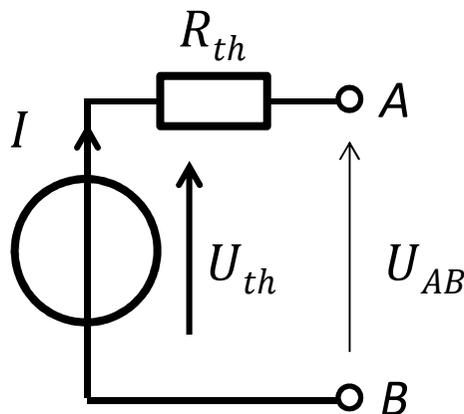
$$U_{AB} = R_N I_N$$

Courant de court-circuit

$$I_{CC} = I_N$$

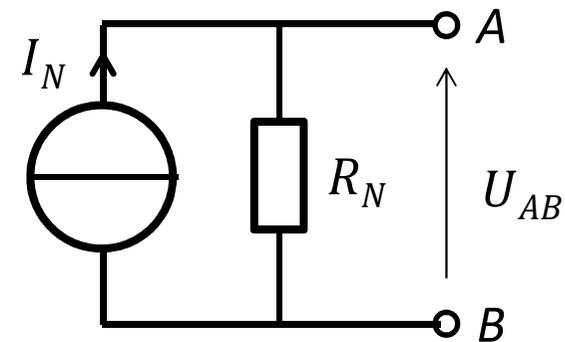
Transformation Thevenin ↔ Norton

Permet de simplifier l'étude des circuits électriques



$$I_N = \frac{U_{th}}{R_{th}}$$

$$R_N = R_{th}$$



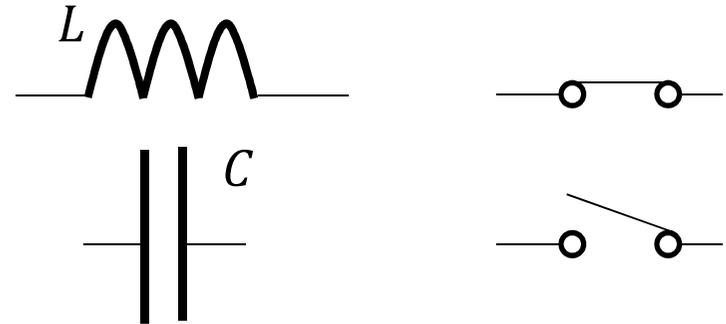
VI. Etude des circuits en continu (Régime DC)

Règles du régime continu et permanent

- $$\begin{cases} u(t) = U = \text{constante} \\ i(t) = I = \text{constante} \end{cases}$$

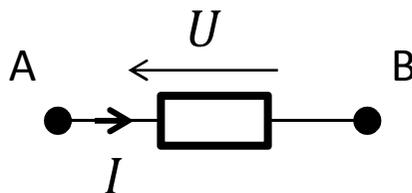
Les phénomènes électriques sont indépendants du temps

- Condensateur = interrupteur ouvert
Inductance = interrupteur fermé



Les circuits électriques ne comportent que des générateurs et des résistances

Puissance absorbée (ou fournie) par un dipôle



$$P = U I$$

$P > 0$: puissance consommée

$P < 0$: puissance fournie

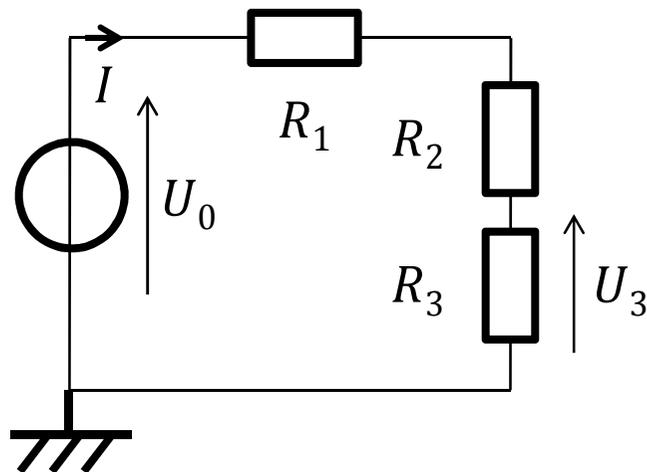
Méthode de calcul des circuits électriques

Procédure à respecter



1. Fléchage des courants
2. Fléchage des tensions
3. Application de la loi des nœuds
4. Application de la loi des mailles
5. Résolution du système d'équations

Exemple 1 : Circuit à 1 mailles



▪ Grandeurs connues :

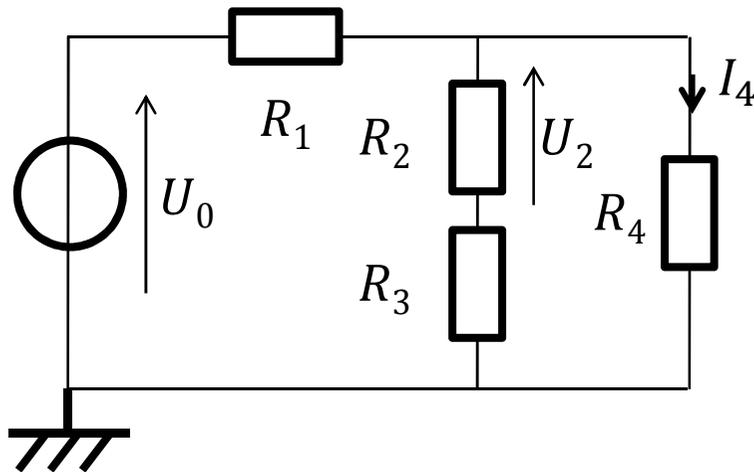
$$U_0, R_1, R_2 \text{ et } R_3$$

▪ Calculs à effectuer :

Expression du courant I

Expression de la tension U_3

Exemple 1 : Circuit à 2 mailles



- Grandeurs connues :

$$U_0, R_1, R_2, R_3 \text{ et } R_4$$

- Calculs à effectuer :

Expression du courant I_4

Expression de la tension U_2

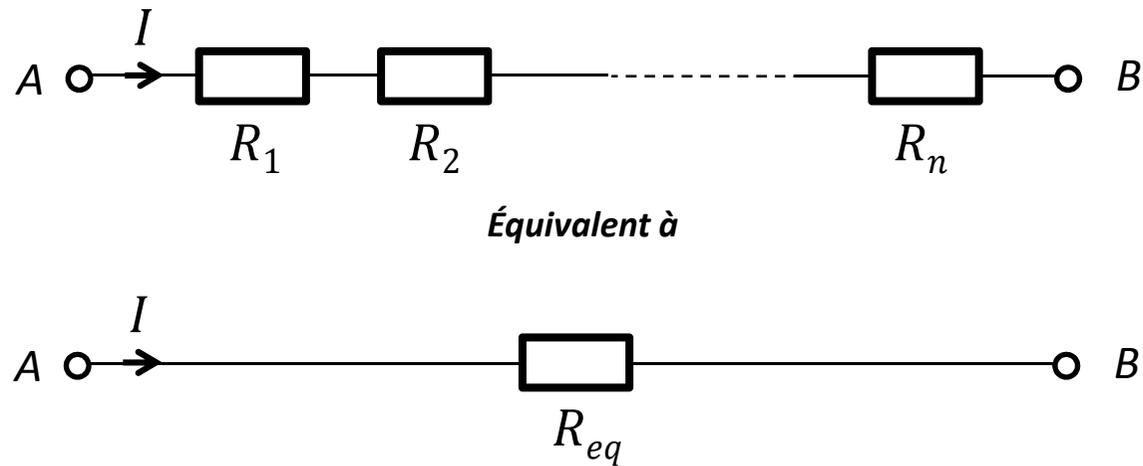
Règles de simplification

- Calcul des résistances équivalentes

Résistances en **série** → résistances traversées par un **même courant**
 Résistances en **parallèle** → résistances soumises à la **même tension**

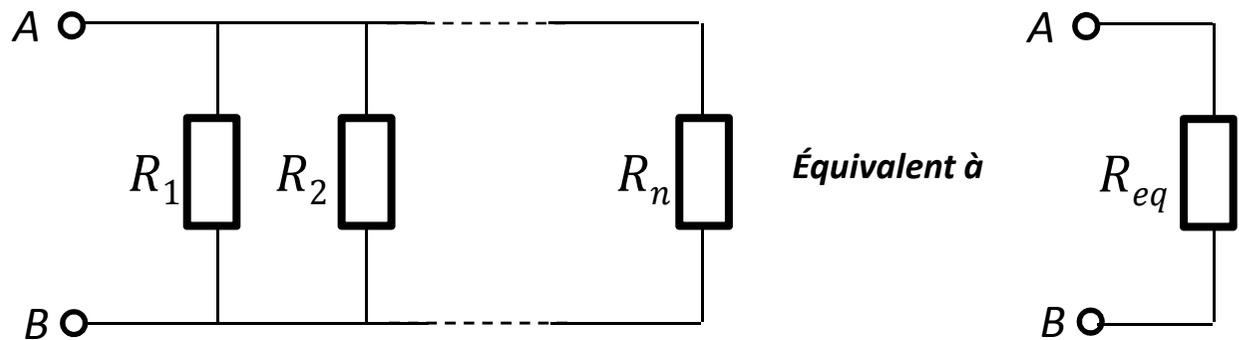
→ Résistance équivalente de résistances en série

$$R_{eq} = \sum_{k=1}^n R_k$$

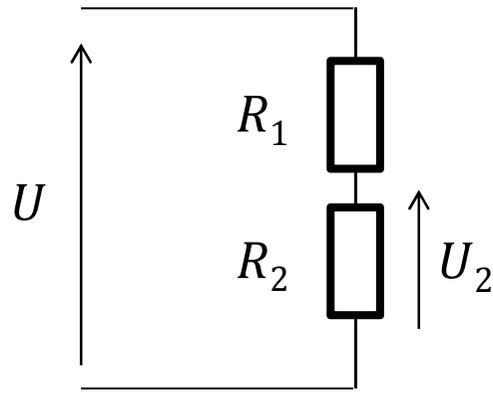


→ Résistance équivalente de résistances en parallèle

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

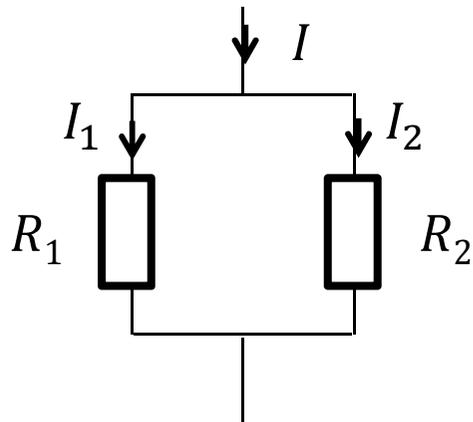


▪ Pont diviseur de tension



$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

▪ Pont diviseur de courant



$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

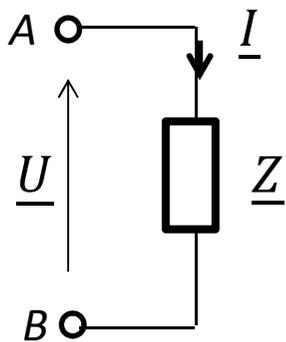
VII. Etude des circuits en sinusoïdale (Régime AC)

Règles du régime sinusoïdal et permanent

- $\begin{cases} u(t) = \text{fonction sinusoïdale du temps} \\ i(t) = \text{fonction sinusoïdale du temps} \end{cases}$

Les signaux sont caractérisés par une amplitude et une phase
→ Utilisation du **calcul complexe**

■ Loi d'Ohm en régime sinusoïdal



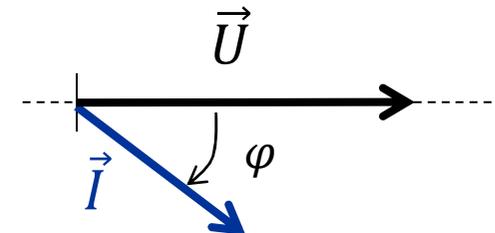
$$\underline{U} = \underline{Z} \underline{I}$$

$$\underline{U} = U_{eff} \sqrt{2} e^{j\omega t}$$

$$\underline{Z} = Z e^{j\varphi}$$

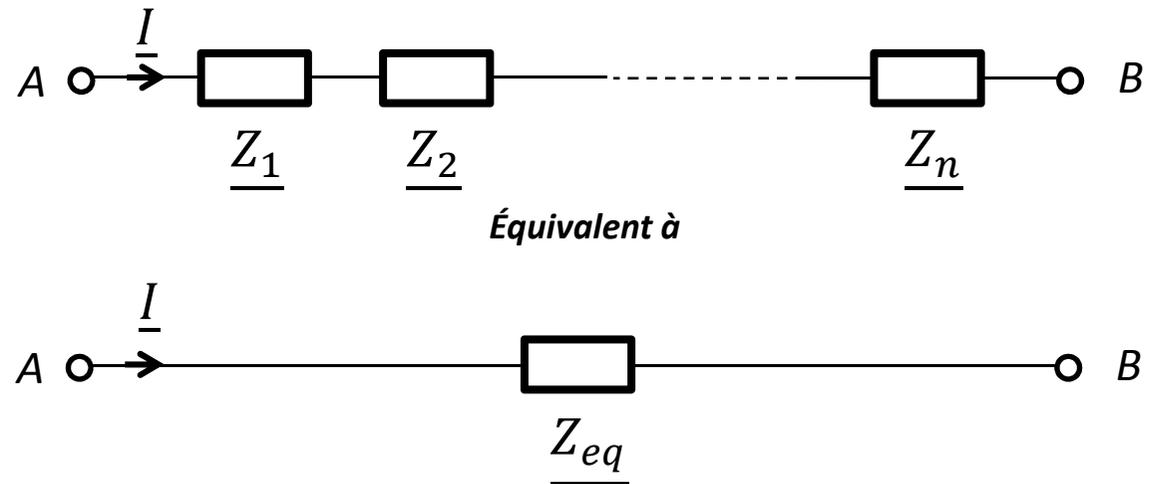
$$\underline{I} = \dots$$

$$i(t) = \dots$$



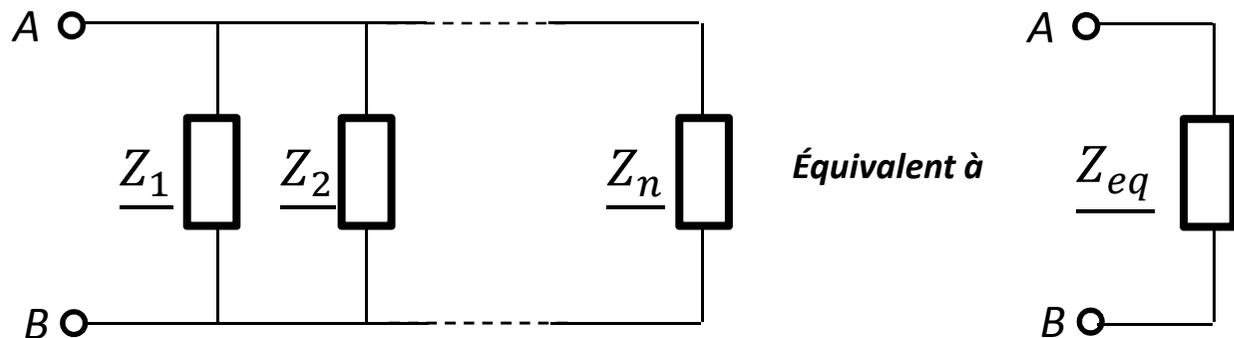
→ Impédance équivalente d'impédances en série

$$Z_{eq} = \sum_{k=1}^n Z_k$$

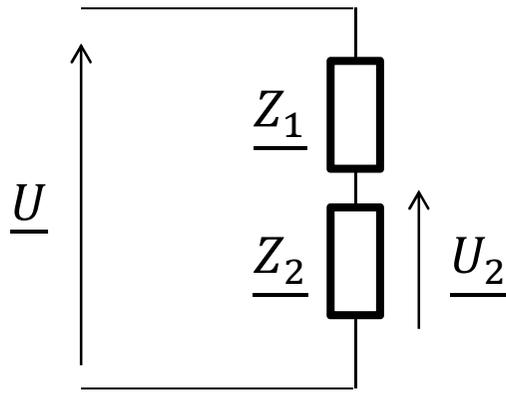


→ Impédance équivalente d'impédances en parallèle

$$\frac{1}{Z_{eq}} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{Z_k}$$

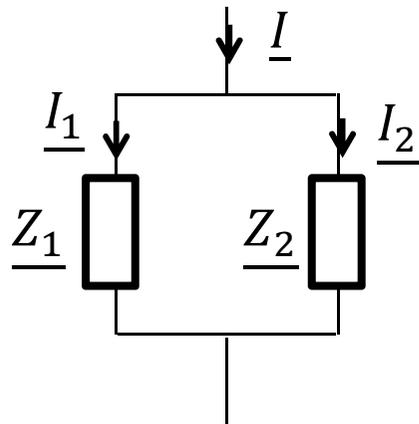


- **Pont diviseur de tension**



$$\underline{U}_2 = \frac{\underline{Z}_2}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \underline{U}$$

- **Pont diviseur de courant**



$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_1 + \underline{Z}_2} \underline{I}$$

Règles du calcul complexe

Forme cartésienne

$$\underline{Z} = a + jb$$

Module $\rho = \sqrt{a^2 + b^2}$

Argument $\theta = \text{atan}\left(\frac{b}{a}\right)$

Forme polaire

$$\underline{Z} = \rho e^{j\theta}$$

Partie réelle $a = \rho \cos \theta$

Partie imaginaire $b = \rho \sin \theta$

Produit de nombres complexes :

Exemple :

$$\underline{Z}_1 = \rho_1 e^{j\varphi_1}$$

$$\underline{Z}_2 = \rho_2 e^{j\varphi_2}$$

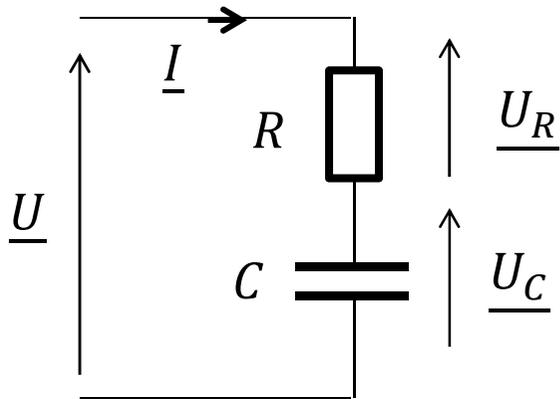
$$\underline{Z} = \underline{Z}_1 \cdot \underline{Z}_2 = (\rho_1 \cdot \rho_2) e^{j(\varphi_1 + \varphi_2)}$$

Produit des modules

Somme des arguments

Exemples d'exercices en régime sinusoïdal (AC)

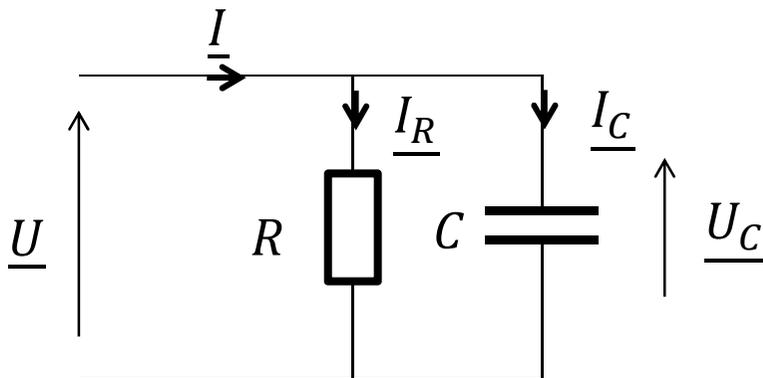
Exemple 1 : Circuit RC série



$$u(t) = U_{eff} \sqrt{2} \sin(\omega t)$$

- ✓ Expression de $i(t)$
- ✓ Représentation de FRESNEL

Exemple 2 : Circuit RC //



$$u(t) = U_{eff} \sqrt{2} \sin(\omega t)$$

- ✓ Expression de $i(t)$
- ✓ Représentation de FRESNEL

Calcul des puissances

En régime sinusoïdal \longrightarrow 3 puissances

P : puissance active en Watt [W]

Q : puissance réactive en Voltampères réactifs [VAR]

S : puissance apparente en Voltampères [VA]

Définitions :

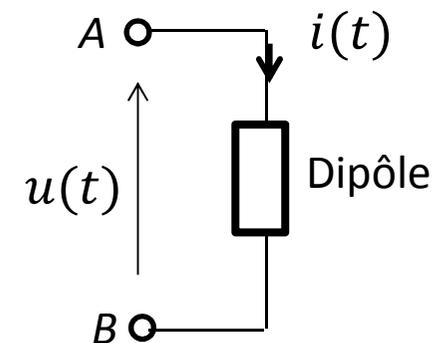
$$u(t) = U_{eff} \sqrt{2} \sin(\omega t)$$

$$i(t) = I_{eff} \sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$$

$$P = U_{eff} I_{eff} \cos(\varphi)$$

$$Q = U_{eff} I_{eff} \sin(\varphi)$$

$$S = U_{eff} I_{eff}$$



Relation de Boucherot :

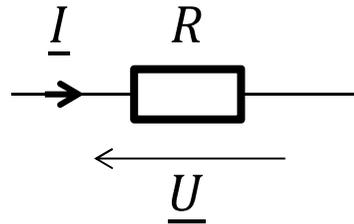
$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Puissances dans une résistance :

$$\varphi = 0 \rightarrow Q = 0$$

$$P = R I_{eff}^2 = \frac{U_{eff}^2}{R}$$

$$Q = 0$$



$$\underline{Z}_R = R$$

$$\arg(\underline{Z}_R) = \varphi = 0$$

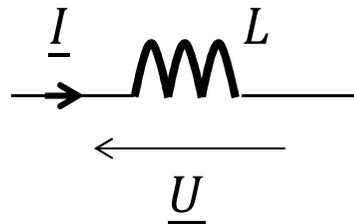
Puissances dans une inductance :

$$\varphi = +\frac{\pi}{2} \rightarrow \sin \varphi = 1$$

Q > 0 : Puissance réactive consommée

$$P = 0$$

$$Q = L\omega I_{eff}^2 = \frac{U_{eff}^2}{L\omega}$$



$$\underline{Z}_L = jL\omega$$

$$\arg(\underline{Z}_L) = \varphi = +\frac{\pi}{2}$$

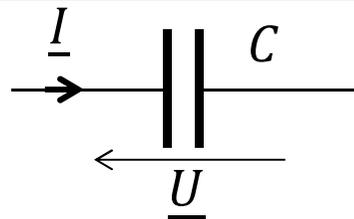
Puissances dans un condensateur :

$$\varphi = -\frac{\pi}{2} \rightarrow \sin \varphi = -1$$

Q < 0 : Puissance réactive fournie

$$P = 0$$

$$Q = -\frac{I_{eff}^2}{C\omega} = -C\omega U_{eff}^2 =$$



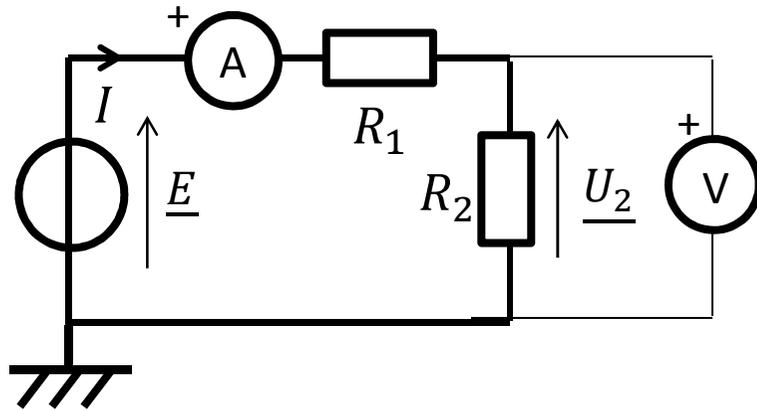
$$\underline{Z}_C = \frac{1}{jC\omega}$$

$$\arg(\underline{Z}_C) = \varphi = -\frac{\pi}{2}$$

VIII. Câblage et mesures en électricité

Câblage et Schéma de câblage

Câblage d'un circuit avec mesures (tension et courant) au multimètre



Ampèremètre : câblage en série
Voltmètre : câblage en parallèle

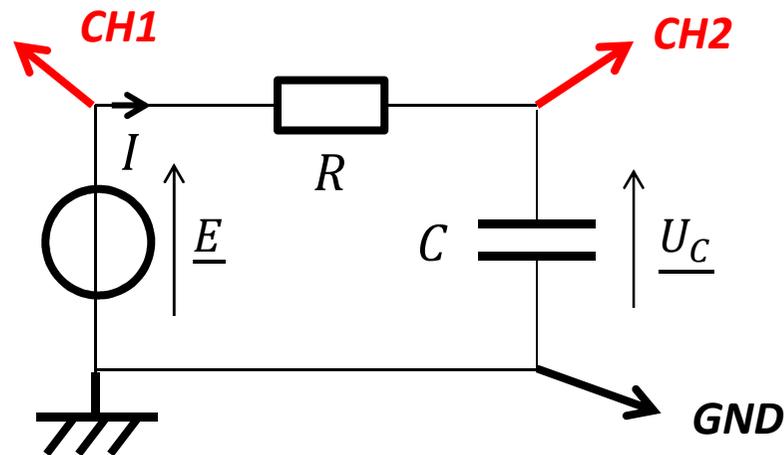
En position DC : mesure d'une tension ou d'un courant continu
En position AC : mesures d'une tension ou d'un courant efficace



Choisir le calibre
Pas de changement de calibre montage sous tension

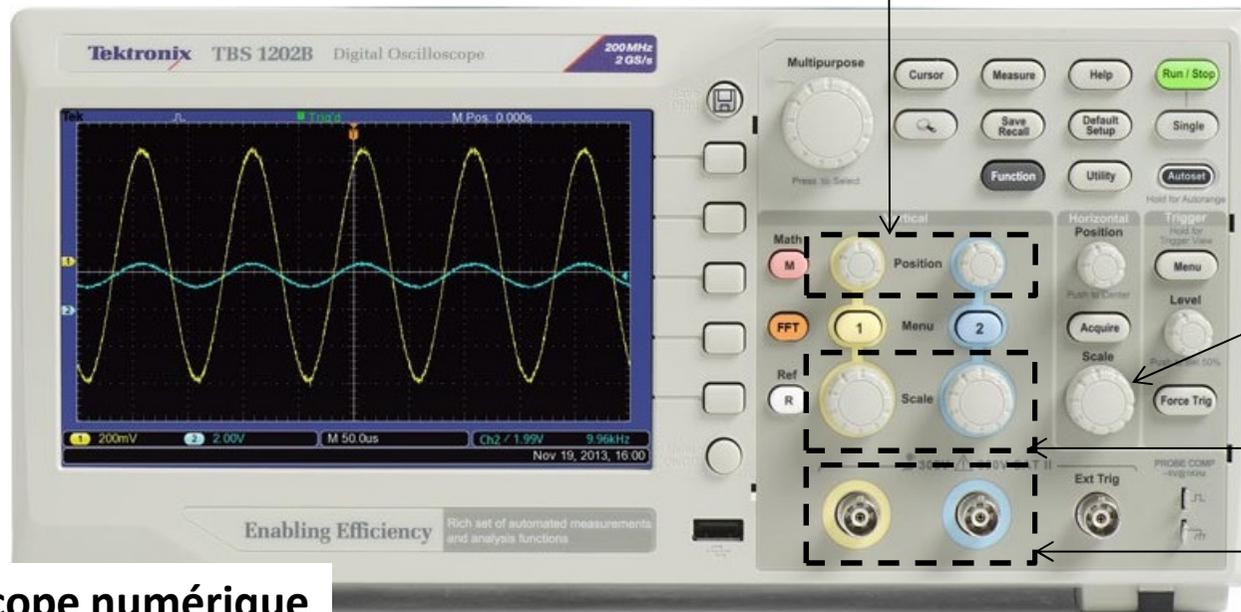


Cablage d'un circuit avec visualisation de tension à l'oscilloscope :



CH1 : visualisation de $E(t)$ sur la voie 1 de l'oscilloscope

CH2 : visualisation de $U_C(t)$ sur la voie 2 de l'oscilloscope



Réglage du « 0 »

base de temps
Nbre s/carreaux

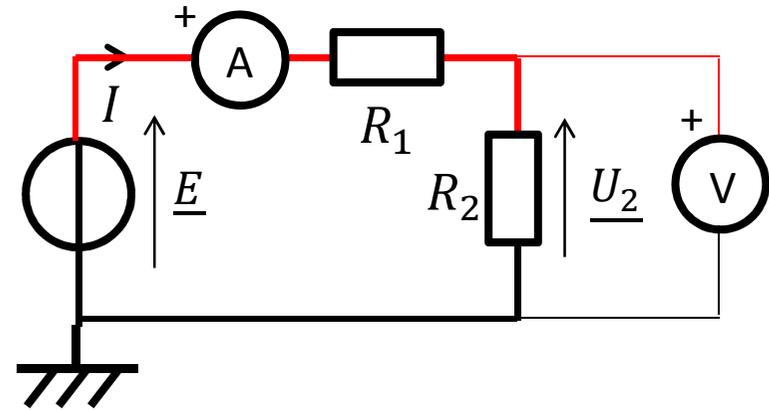
Réglage
Nbre Volt/carreaux

Ch1 et Ch2
(connecteurs BNC)

Oscilloscope numérique

Cordons

Cordons sécurisés



Utiliser les couleurs de cordons pour faciliter la visibilité du montage

Cordons BNC (ou coaxial)



Principe

