

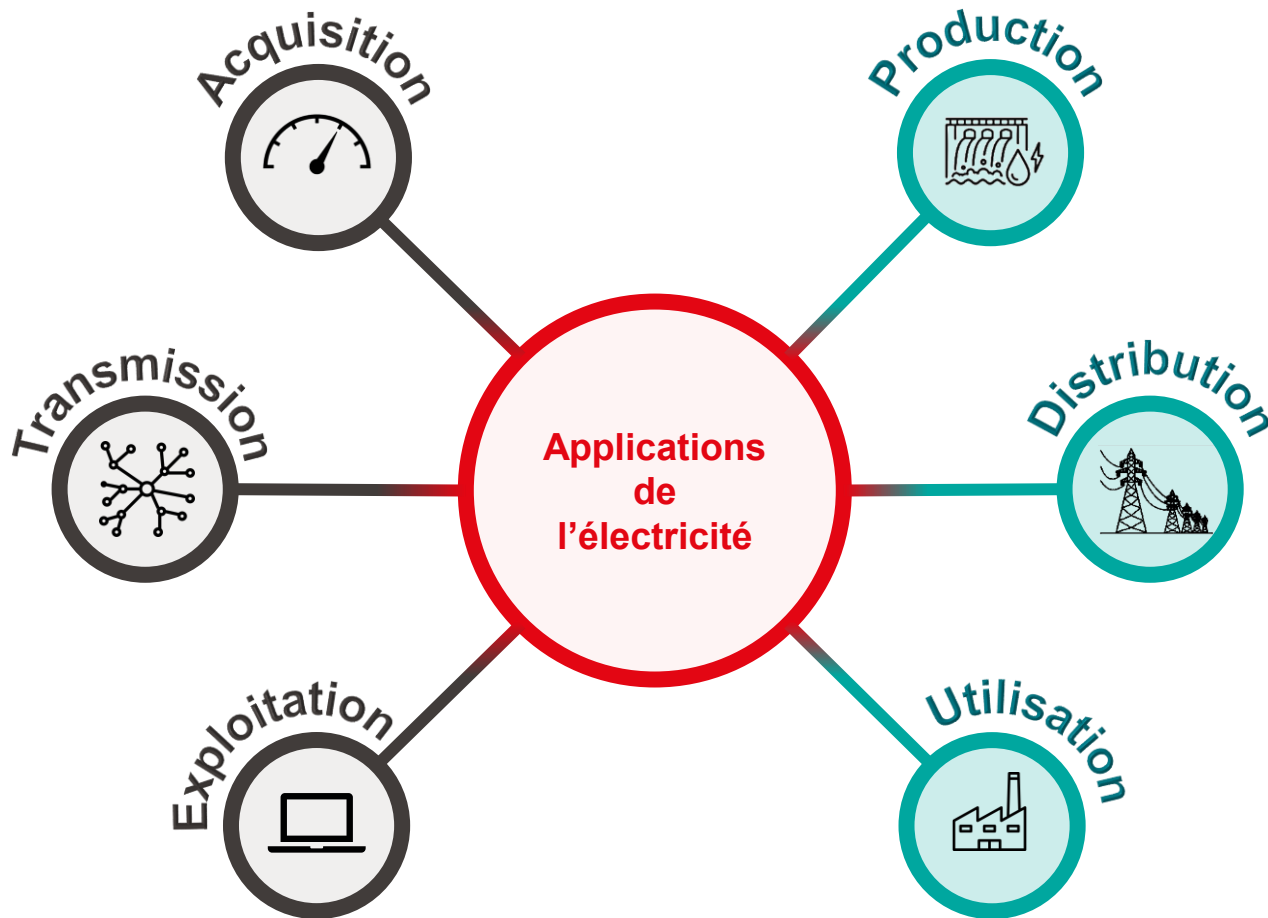
# Cours 14: Révisions

EE 106 – Sciences et  
technologies de  
l'électricité  
Automne 2025

R. Dufy. Musée d'art moderne Paris

# A quoi sert l'électricité?

Information



ENERGIE

# Définitions de base

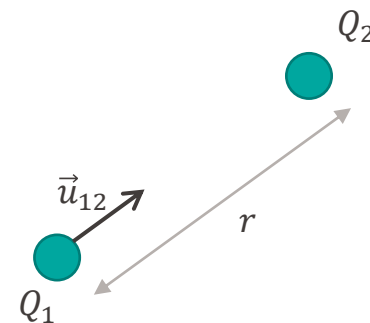
- Loi de Coulomb:

Valeur des charges électriques

Vecteur unitaire

$$\vec{F}_{12} = \frac{Q_1 Q_2}{4\pi\epsilon r^2} \vec{u}_{12}$$

Unité: newton (N)



Force subie par  $Q_2$  due à  $Q_1$

Distance entre les charges

Permittivité diélectrique

- La permittivité est une propriété du matériau. Dans le vide, elle vaut:  
 $\epsilon_0 \simeq 8.85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$
- Dans un matériau diélectrique, elle s'écrit:  $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$

# Force électrostatique – champ électrique

- Comment représenter l'influence d'un environnement sur une charge?

$$\vec{F}_{12} = Q_2 \cdot \frac{Q_1}{4\pi\epsilon r^2} \vec{u}_{12}$$

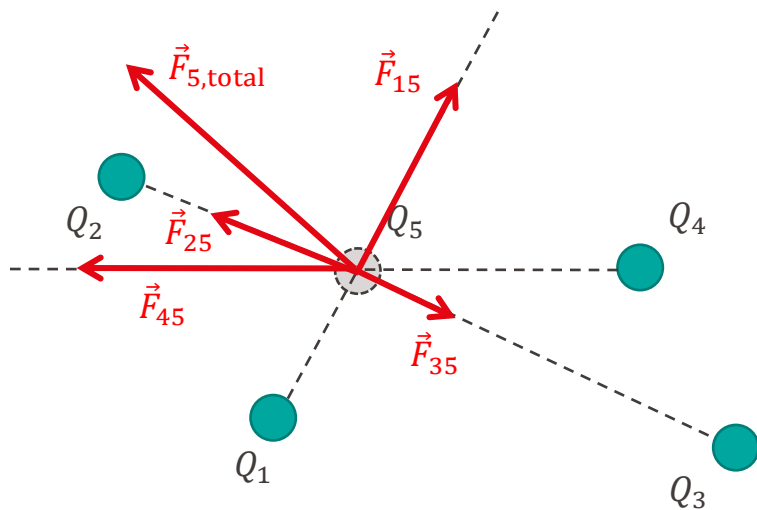
Dépend de la particule étudiée    Dépend de l'environnement

- Le champ électrique d'une charge ponctuelle:

$$\vec{E}_1 = \frac{\vec{F}_{12}}{Q_2} = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon r^2} \vec{u}_1$$

Unité: volt par mètre (V/m)

- Que se passe-t-il lorsqu'il y a plusieurs charges?
  - Les forces de plusieurs sources s'additionnent (et donc les champs électriques aussi!)



$$\vec{F}_{j,\text{total}} = \sum_{k=1}^N \vec{F}_{kj} = Q_j \sum_{k=1}^N \frac{Q_k}{4\pi\epsilon r_k^2} \vec{u}_{kj}$$

$$\vec{E}_j = \frac{\vec{F}_{j,\text{total}}}{Q_j} \Rightarrow \vec{E}_j = \sum_{k=1}^N \frac{Q_k}{4\pi\epsilon r_k^2} \vec{u}_{kj}$$

- Le travail mécanique correspond à une variation d'**énergie potentielle**
- L'énergie potentielle dépend de la charge et du champ électrique environnant
- On définit la différence de **potentiel électrique** comme la circulation du champ électrique entre  $A$  et  $B$

$$V_A - V_B = \int_{r_A}^{r_B} E(r) dr$$

- Potentiel électrique d'une charge ponctuelle à une distance  $r$ :

$$V(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon r} + V_{\text{ref}}$$

Unité: volt (V)

$$V(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon r} + V_{\text{ref}}$$

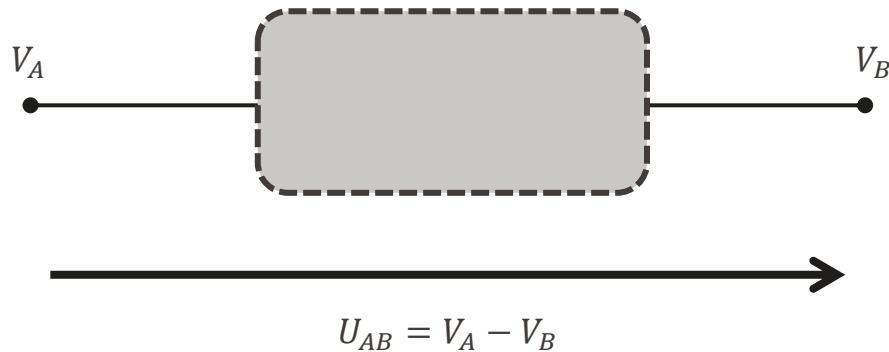
- Le potentiel est défini par rapport à une référence.
  - En électromagnétisme, on prend l'infini comme référence, en posant:

$$\lim_{r \rightarrow +\infty} V(r) = 0$$

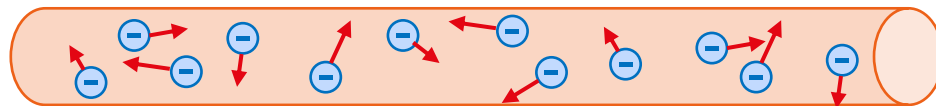
$$V(r) = \frac{Q}{4\pi\epsilon r}$$

- Dans un circuit, on choisit un point arbitraire comme référence, appelé « masse ».

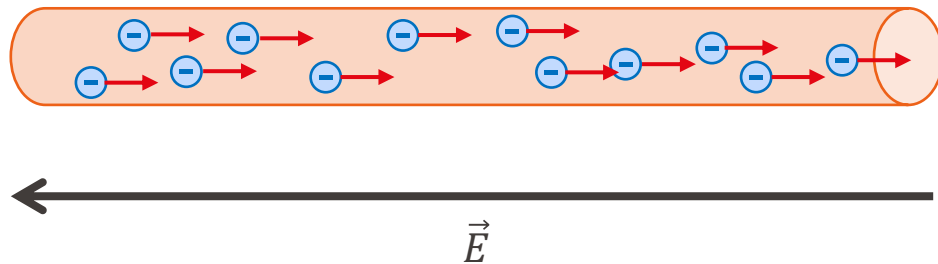
- La tension est la différence de potentiel électrostatique aux bornes d'un composant



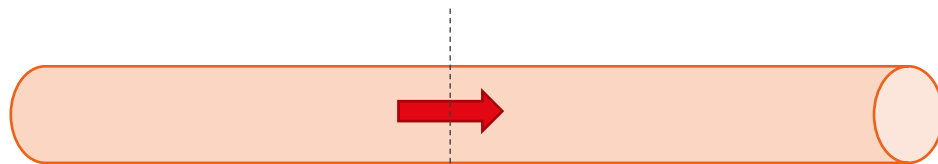
- Pas de champ électrique: pas de déplacement moyen des charges



- Champ électrique: déplacement directionnel des charges



- On définit le courant électrique comme le flux de charges traversant le matériau (combien de charges passent à un endroit donné pendant un temps donné)

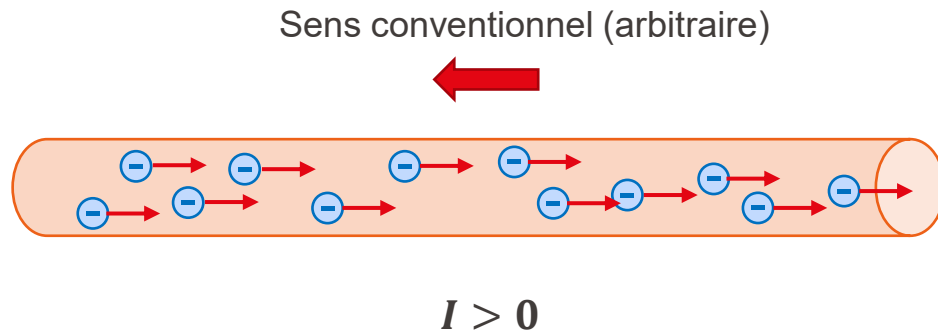


$$I = \frac{dq}{dt}$$

Unité: ampère (A)

# Courant électrique

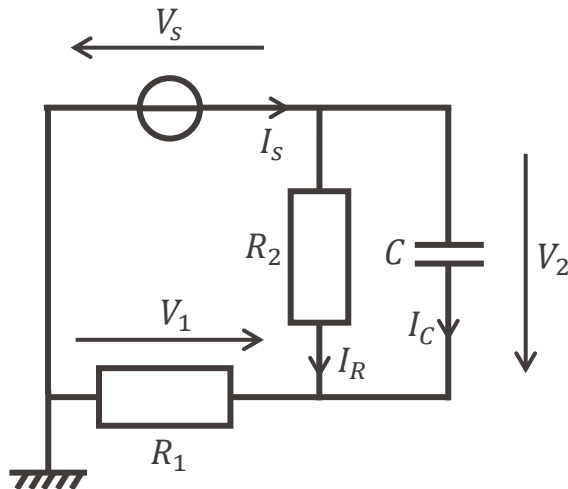
- Par convention, le courant électrique est défini comme le **flux de charges positives**
- On définit un sens conventionnel pour représenter le courant graphiquement
  - Le sens conventionnel n'est pas forcément le sens physique de déplacement des charge!



- Le courant électrique définit le flux de charge traversant un composant



# Exemple de schéma électrique



- Chaque grandeur peut être positive ou négative
- Le choix des sens conventionnels est arbitraire et libre

- Un dipôle électrique a deux bornes

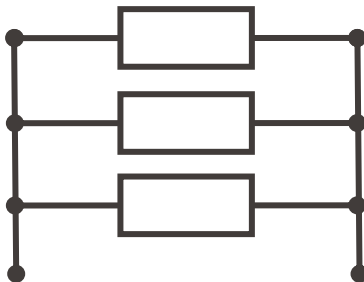


- Connexion en série: les éléments sont connectés les uns à la suite des autres

*Les éléments sont parcourus par le même courant*

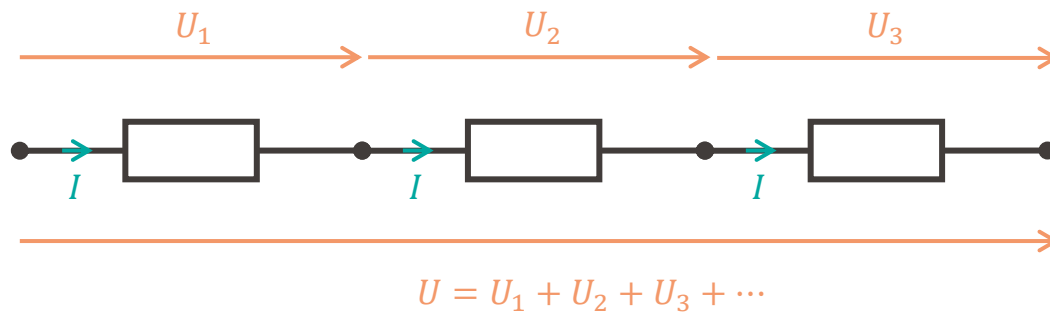


- Connexion en parallèle: les éléments sont connectés aux mêmes bornes



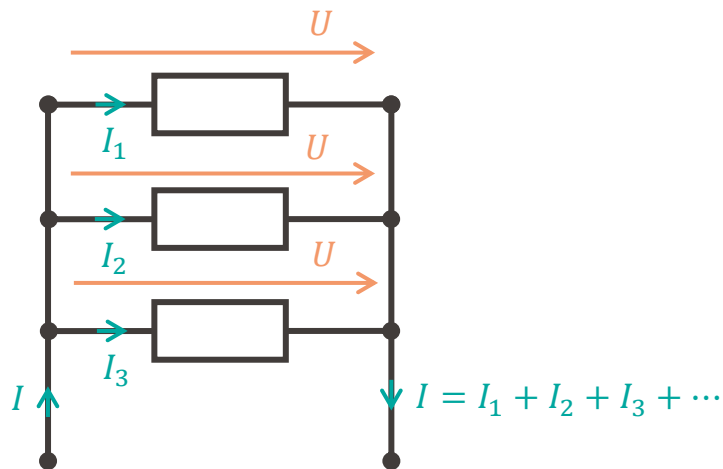
*Les éléments partagent la même tension à leurs bornes*

- Connexion en série: les éléments sont connectés les uns à la suite des autres
  - Le courant est le même dans chaque élément (pas de courant sortant)
  - La tension totale est la somme des tensions individuelles





- Connexion en parallèle: les éléments sont connectés aux mêmes bornes
  - Le courant total est la somme des courants individuels
  - La tension est la même aux bornes de chaque élément individuel (même différence de potentiel)





- La puissance électrique est une grandeur relative à la capacité qu'un composant ou un circuit a à fournir de l'énergie


- Elle est simplement donnée par:

$$P = UI$$

- Plus généralement, on peut écrire:

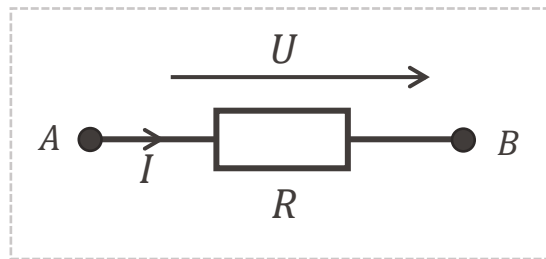
$$p(t) = u(t)i(t)$$

# Composants passifs

Symbole	Signification	Grandeur	Unité
	Résistance	$R$ (résistance)	ohm ( $\Omega$ )

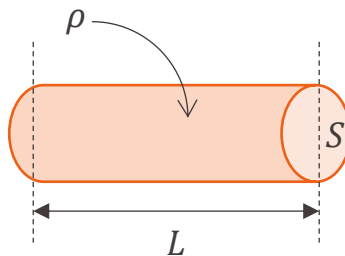
- La résistance est un composant de base utilisé pour:
  - Contrôler tension/courant
  - Convertir l'énergie électrique en chaleur
  - ...
- C'est un dipôle passif

Loi d'Ohm:  $U = RI$



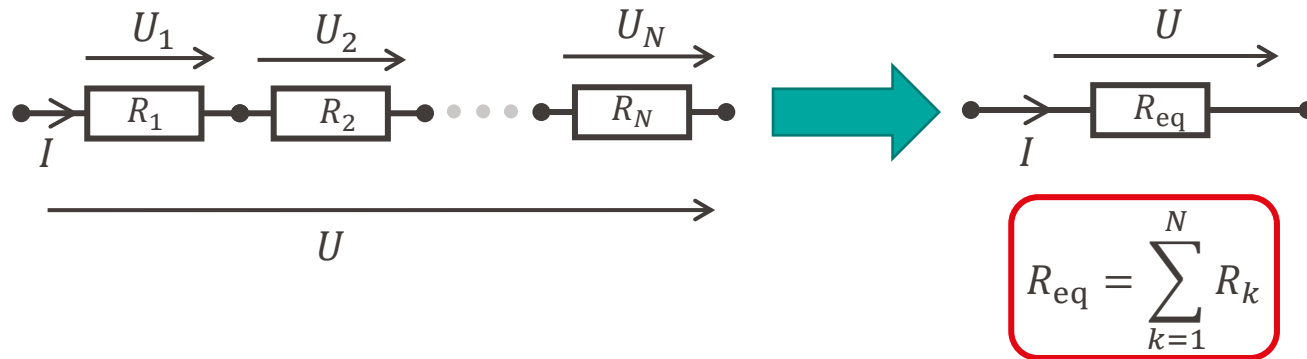
- La résistance dépend:
  - Du matériau → **résistivité**  $\rho$  (unité:  $\Omega \cdot \text{m}$ )
  - De la distance parcourue → **longueur**  $L$  (unité: m)
  - De la section transversale → **surface**  $S$  (unité:  $\text{m}^2$ )

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



# Agencement en série

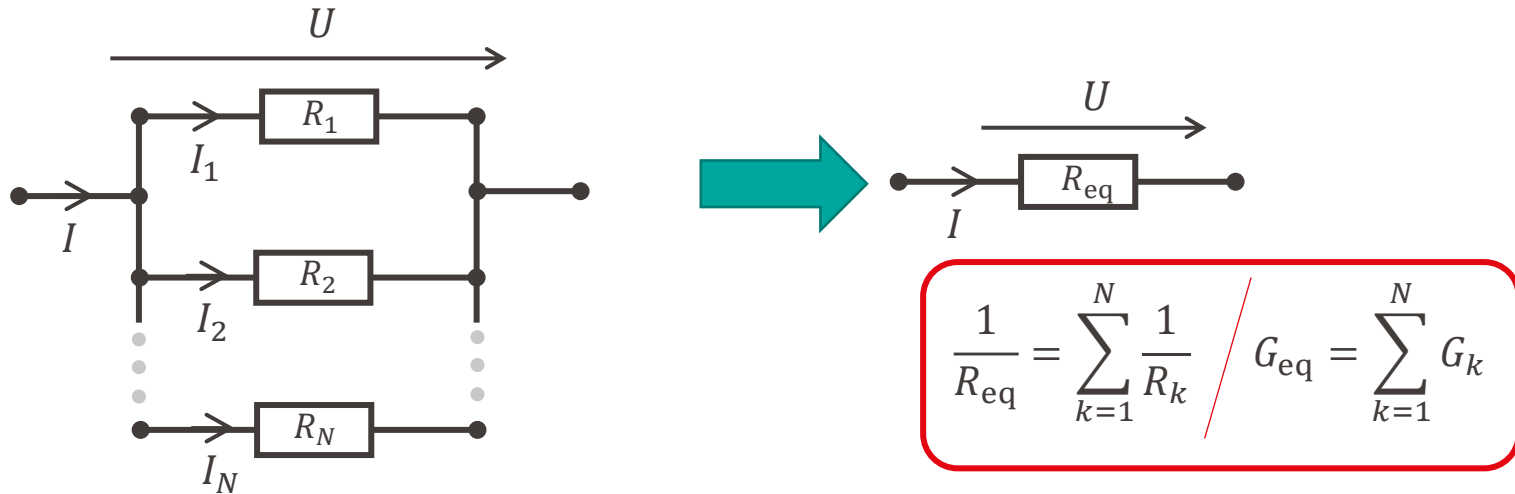
- Plus généralement:



- Remarque:** la résistance équivalente est plus grande que la plus grande des résistances individuelles en série

# Agencement en parallèle

- Plus généralement:



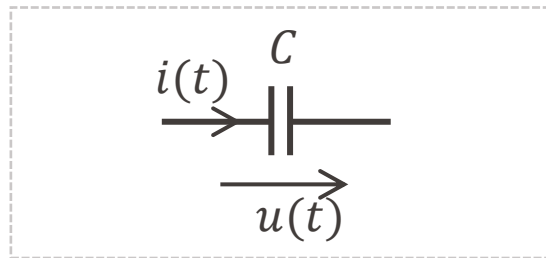
- Remarque:** la résistance équivalente est plus petite que la plus petite des résistances individuelles en parallèle

Symbole	Signification	Grandeur	Unité
	Condensateur	$C$ (capacité)	farad (F)

- Le condensateur est un composant de base utilisé pour:
  - Le stockage d'énergie
  - Le filtrage de signaux parasites
  - La protection de systèmes électriques sensibles
  - ...
- C'est un dipôle passif

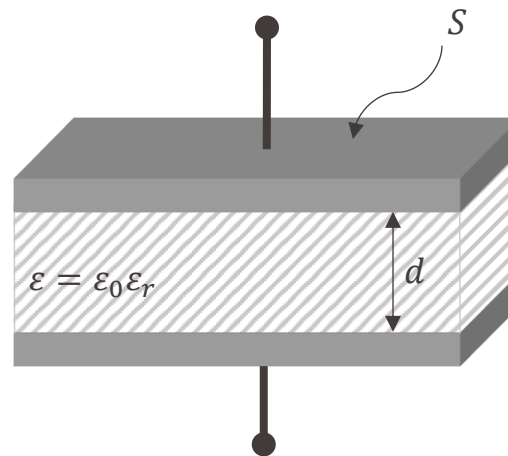


$$\text{Equation: } i(t) = C \frac{du}{dt}(t)$$

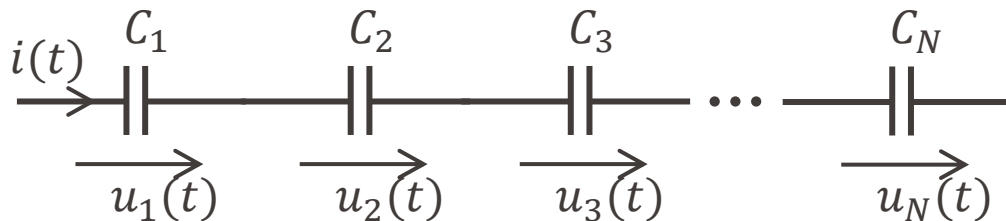


- Le condensateur est caractérisé par:
  - Une surface  $S$
  - Une séparation  $d$
  - Une permittivité diélectrique  $\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$

$$C = \frac{\varepsilon S}{d}$$

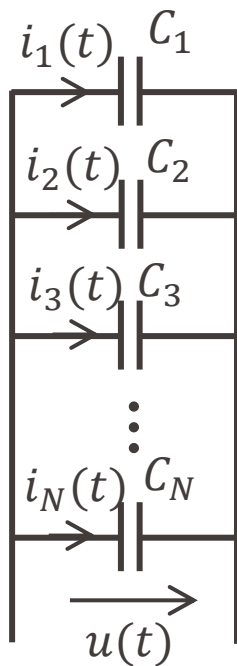


## Condensateurs en série




$$\frac{1}{C_{\text{eq}}} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{C_k}$$

## Condensateurs en parallèle



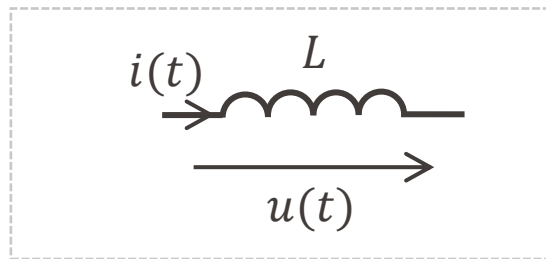
$$C_{\text{eq}} = \sum_{k=1}^N C_k$$

Symbole	Signification	Grandeur	Unité
	Inductance, bobine	$L$ (inductance)	henry (H)

- L'inductance est un composant de base utilisé pour:
  - Le stockage d'énergie
  - Le filtrage de signaux parasites
  - La protection de systèmes électriques sensibles
  - ...
- C'est un dipôle passif



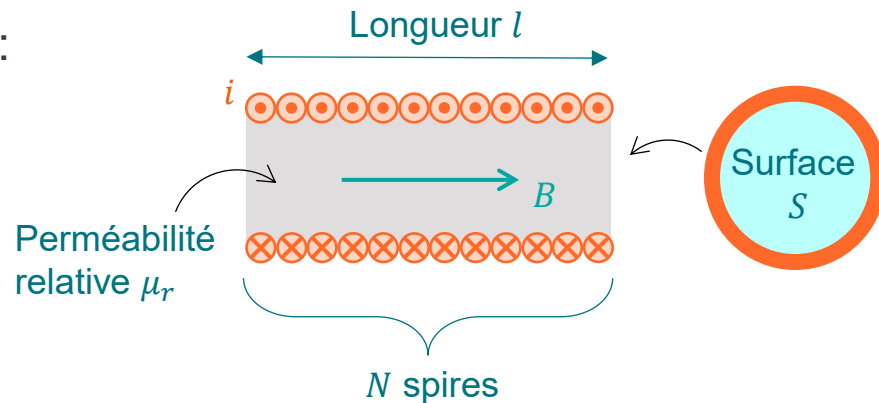
$$\text{Equation: } u(t) = L \frac{di}{dt}(t)$$



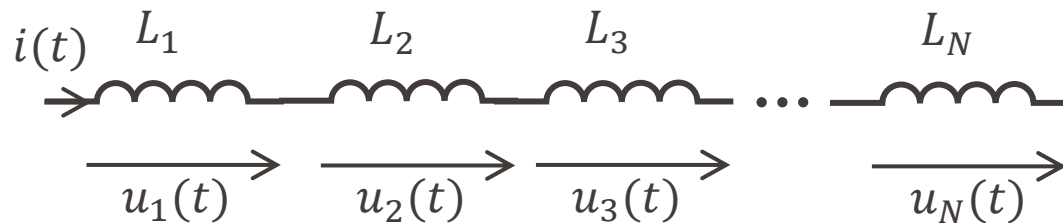
- L'inductance est caractérisée par:

- Sa longueur  $l$
- Son nombre de spire  $N$
- Sa surface (d'une spire)  $S$
- Le matériau de son cœur

$$L = \frac{\mu N^2 S}{l}$$

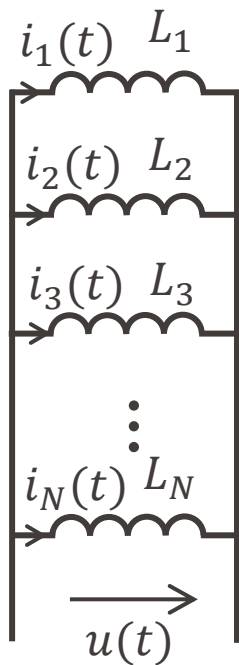


inductances en série



$$L_{\text{eq}} = \sum_{k=1}^N L_k$$

## Inductances en parallèle



$$\frac{1}{L_{\text{eq}}} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{L_k}$$

# Lois et théorèmes

- Les lois de Kirchhoff complètent la définition mathématique du problème
- Deux lois sont formulées:
  - Loi des nœuds
  - Loi des mailles
- Il est important de faire un schéma clair pour ne pas s'emmêler les pinceaux!

$N$  branches

$$\sum_{k=1}^N i_k(t) = 0$$

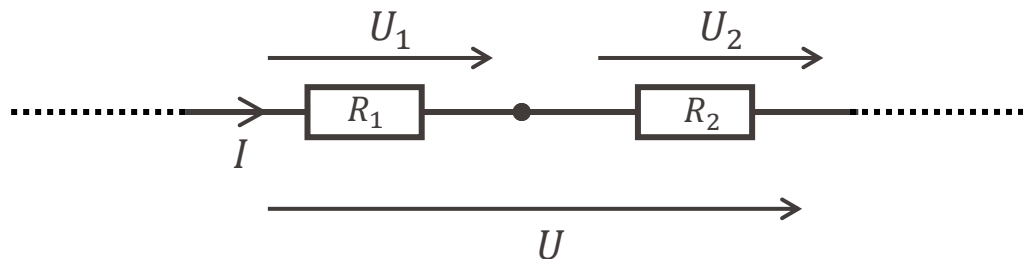
Courant dans la  
branche  $k$

$N$  dipôles dans la  
maille

$$\sum_{k=1}^N u_k(t) = 0$$

Tension aux bornes  
du dipôle  $k$

- On fixe  $U$ . Que valent  $U_1$  et  $U_2$ ?



Loi des mailles:

$$U = U_1 + U_2$$

Loi d'Ohm:

$$U_1 = R_1 I$$

$$U_2 = R_2 I$$

Résistance équivalente:

$$U = (R_1 + R_2) I$$

$$\Rightarrow I = \frac{U}{R_1 + R_2}$$

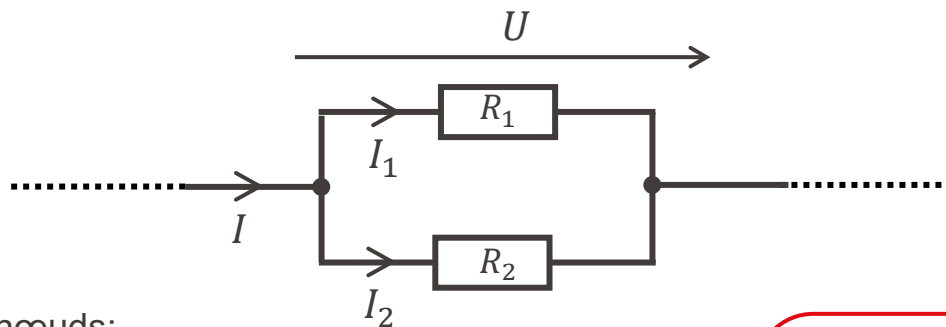
En substituant:

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U$$

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



- On fixe  $I$ . Que valent  $I_1$  et  $I_2$ ?



Loi des nœuds:

$$I = I_1 + I_2$$

Loi d'Ohm:

$$U = R_1 I_1$$

$$U = R_2 I_2$$

Résistance équivalente:

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

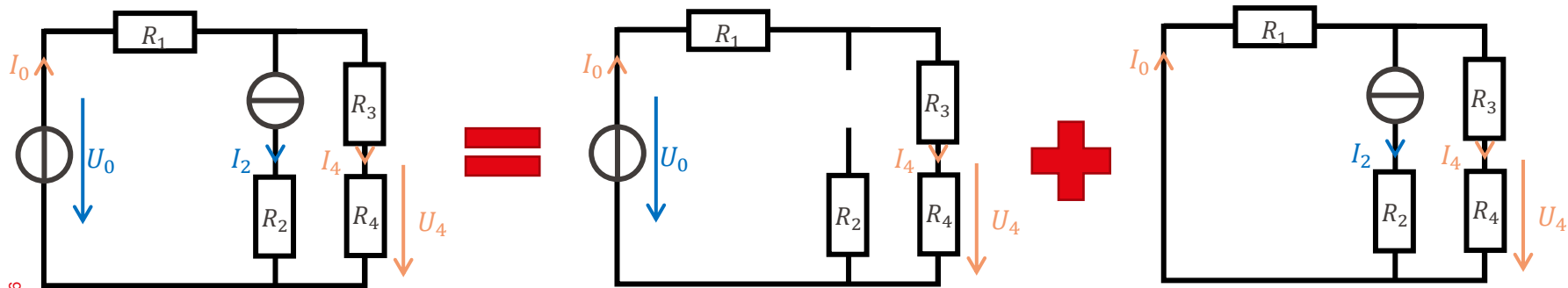
En substituant:

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I$$

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

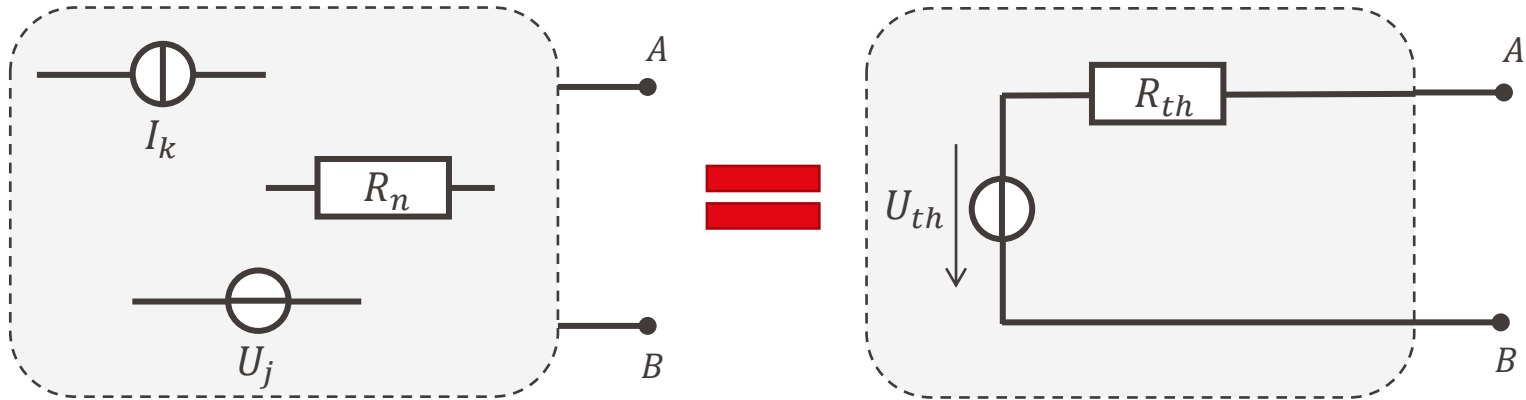


- Le principe de superposition permet de séparer un problème à  $N$  sources en  $N$  problèmes à une source
  - Particulièrement utile pour résoudre les systèmes à plusieurs sources
- Une source de tension éteinte est un « court-circuit »
- Une source de courant éteinte est un « circuit ouvert »



# Théorème de Thévenin

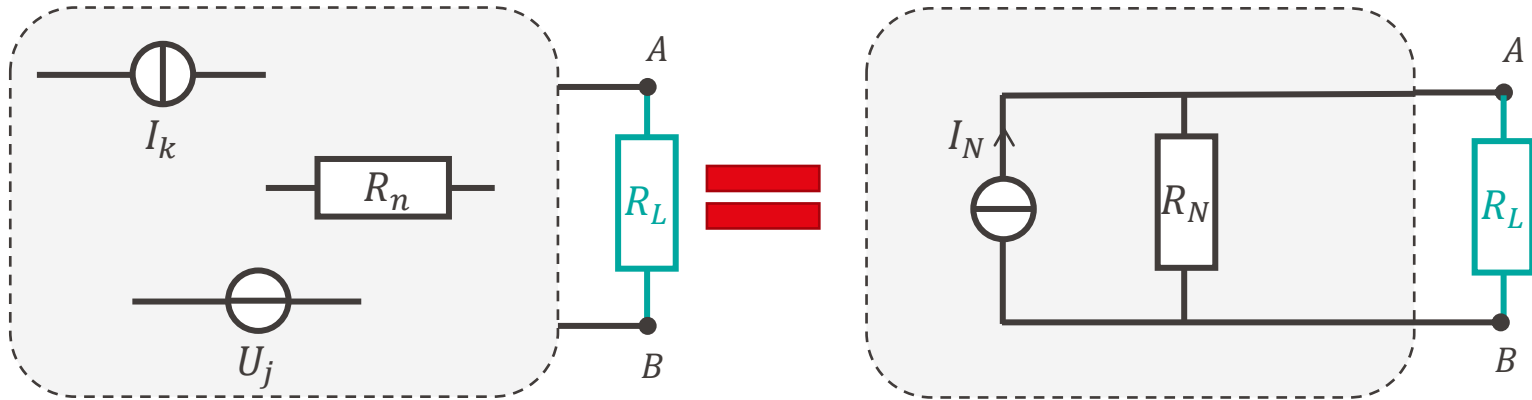
- **Objectif:** Remplacer un circuit complexe par une source de tension et une résistance en série



# Théorème de Thévenin

- **Objectif:** Remplacer un circuit complexe par une source de tension et une résistance en série
  
- **Procédure:**
  - Identifier clairement les bornes de sortie du circuit à remplacer
  - Calculer ou mesurer la **tension à vide** (tensions entre A et B **sans charge**)
  - Calculer ou mesurer la résistance **vue par les bornes A et B** (en éteignant toutes les sources)

- **Objectif:** Remplacer un circuit complexe par une source de courant et une résistance en parallèle

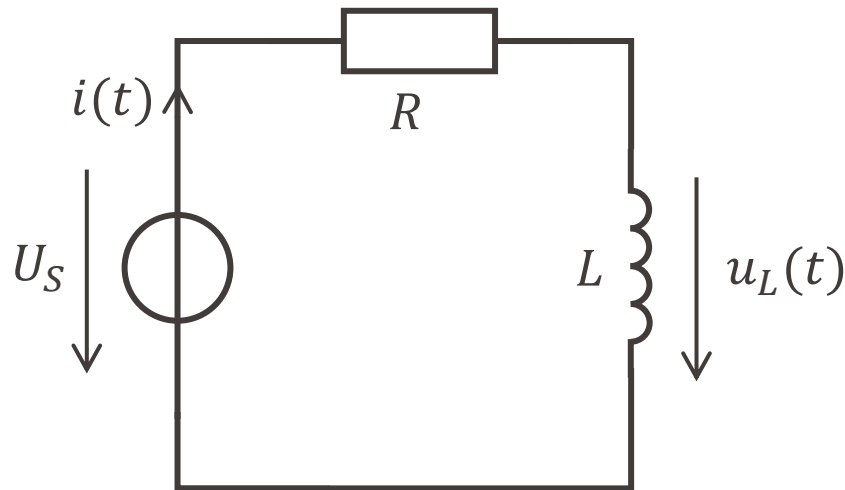


- **Objectif:** Remplacer un circuit complexe par une source de courant et une résistance en parallèle
  
- **Procédure:**
  - Identifier clairement les bornes de sortie du circuit à remplacer
  - Calculer ou mesurer le **courant de court-circuit** (courant dans la branche AB pour une **charge nulle**)
  - Calculer ou mesurer la résistance **vue par les bornes A et B** (en éteignant toutes les sources)

# Régime transitoire

- Les condensateurs et inductances ont une réaction dynamique: les évolutions de courant et tension ne sont pas instantanées
- Les circuits sont régis par des équations différentielles

- On modélise un circuit dépendant du temps  $t$ :



Loi des mailles:

$$U_S = Ri(t) + u_L(t)$$

Relation caractéristique de l'inductance

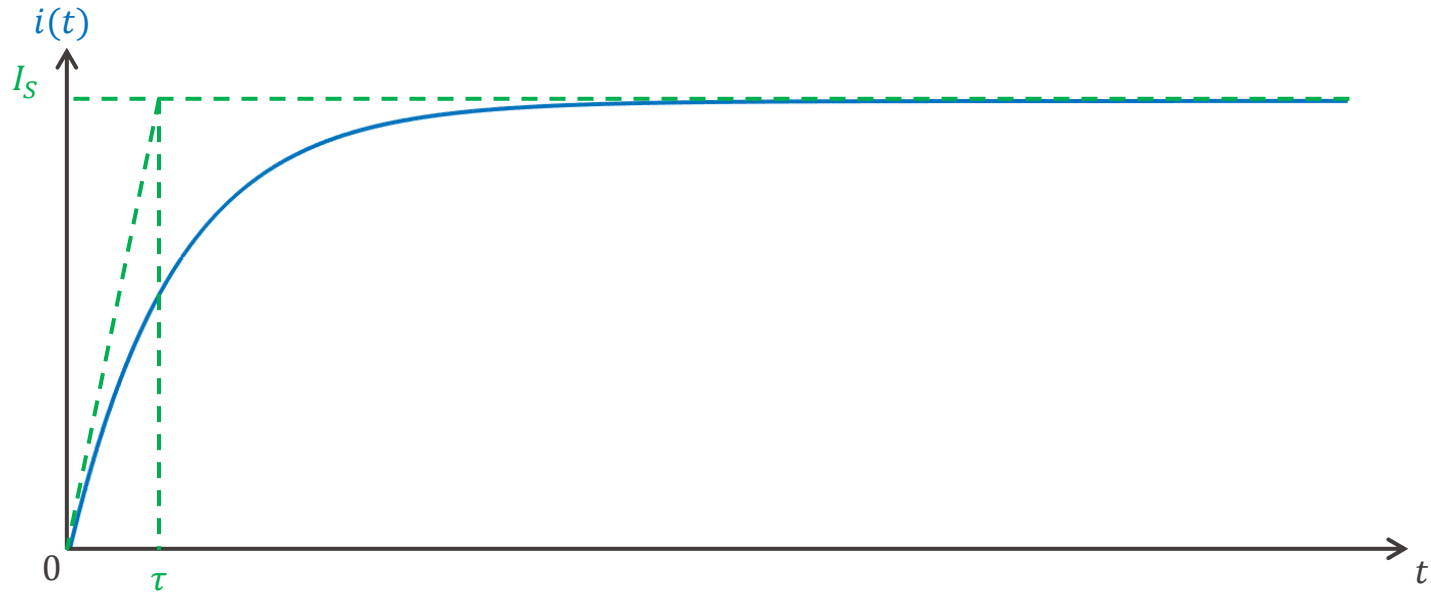
$$u_L(t) = L \frac{di}{dt}(t)$$

Donc on obtient:

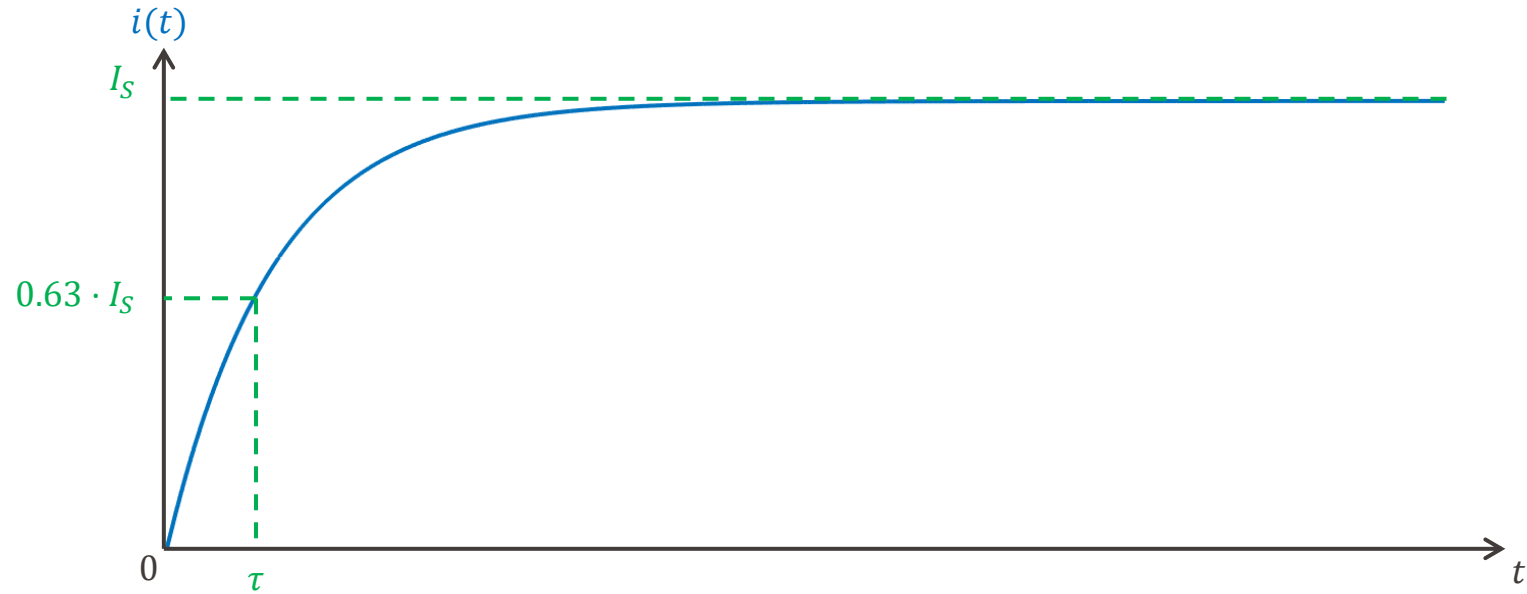
$$U_S = L \frac{di}{dt}(t) + Ri(t)$$

$$\frac{di}{dt}(t) + \frac{R}{L}i(t) = \frac{1}{L}U_S$$

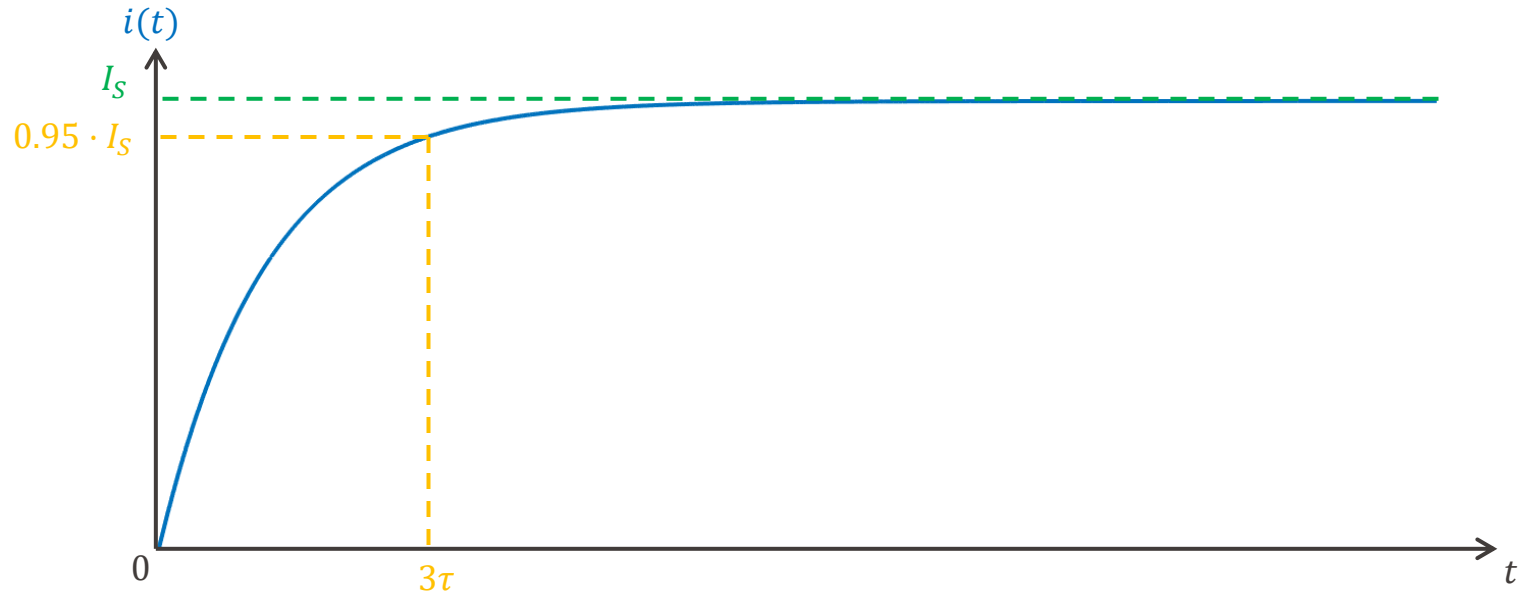
$$i(t) = I_s(1 - e^{-t/\tau})$$



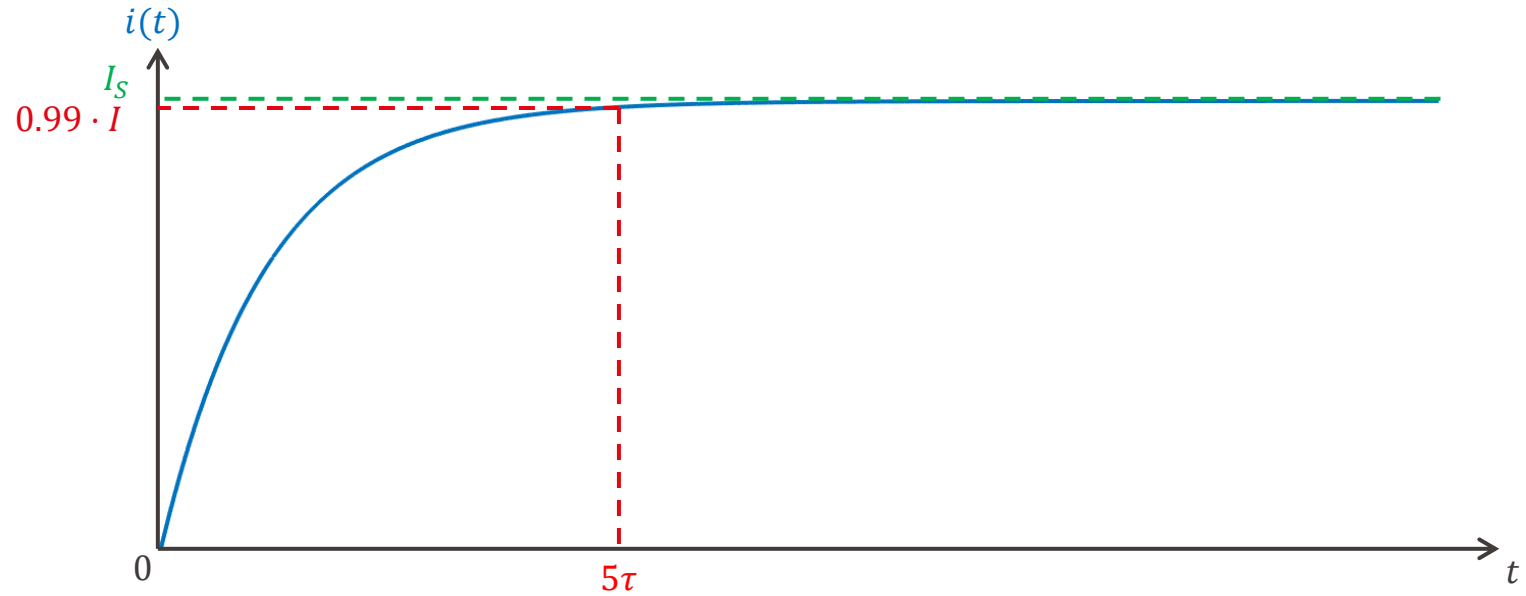
$$i(t) = I_s(1 - e^{-t/\tau})$$



$$i(t) = I_s(1 - e^{-t/\tau})$$



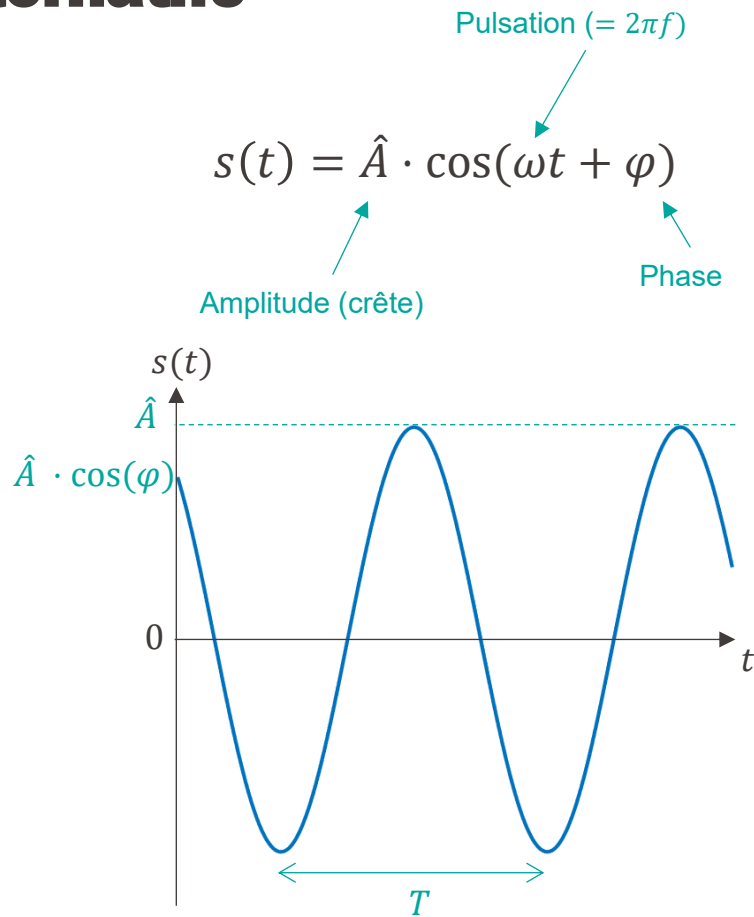
$$i(t) = I_s(1 - e^{-t/\tau})$$



# Régime permanent sinusoïdal

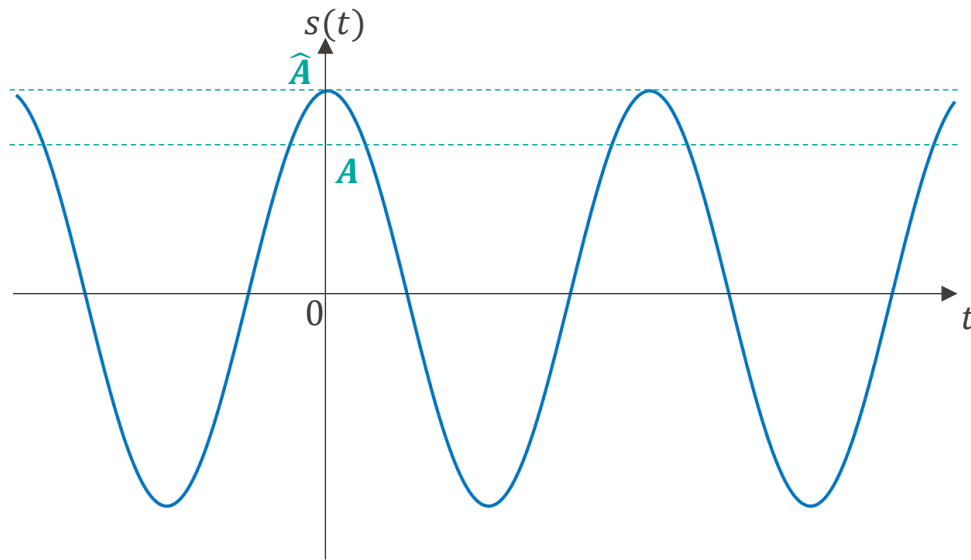
- **Définition:** On appelle régime permanent sinusoïdal un régime dans lequel courants et tensions évoluent périodiquement sous forme de signaux sinusoïdaux **une fois le régime transitoire passé.**
  - Par exemple, dans les circuits vus précédemment, le régime transitoire est passé lorsque  $t > 5\tau$

# Signaux alternatifs



- L'amplitude:
  - Aussi appelée valeur crête
  - Correspond à la valeur maximale du signal
- Autre paramètre lié: la valeur efficace

$$A = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T s(t)^2 dt} = \frac{\hat{A}}{\sqrt{2}}$$

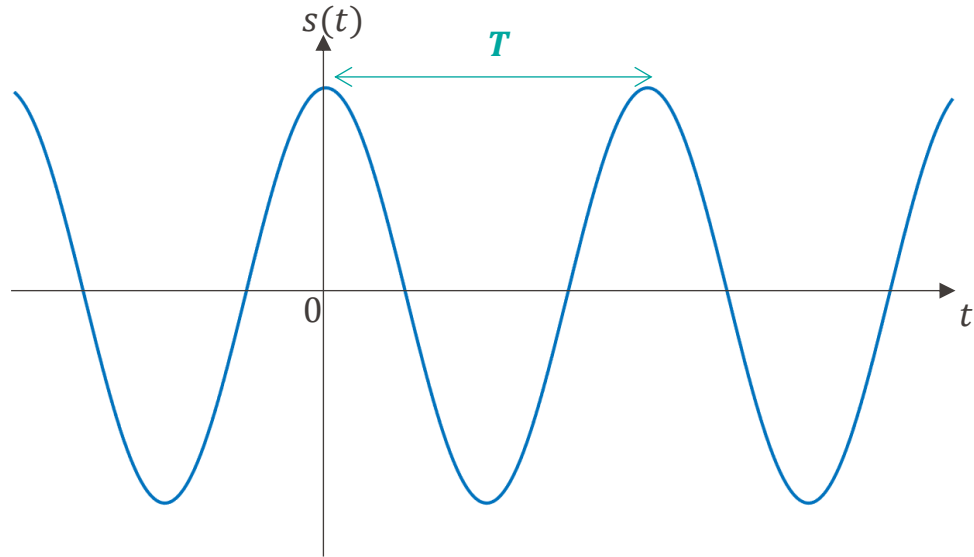


- La pulsation:

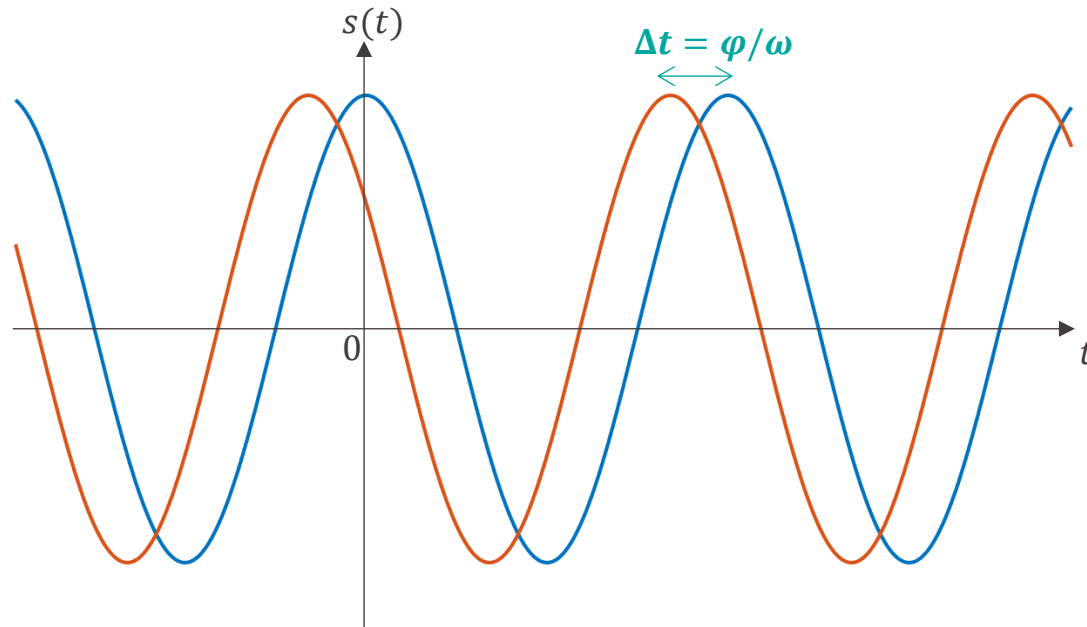
- Liée à la périodicité du signal

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$$

- $T$  s'exprime en seconde (s)
- $f$  s'exprime en hertz (Hz)
- $\omega$  s'exprime en radian par seconde (rad/s, ou  $s^{-1}$ )



- La phase:
  - Traduit le retard d'un signal
  - $\varphi$  s'exprime en radian (rad)



- Que pouvons-nous faire?
  - Les fonctions trigonométriques ont d'autres propriétés intéressantes...
  - ... liées aux **nombres complexes**
  
- Nombres complexes:
  - On considère  $\underline{x} \in \mathbb{C}$
  - Le cours de maths nous dit que  $\underline{x} = \hat{X}(\cos(\theta) + j \sin(\theta)) = \hat{X}e^{j\theta}$
  - Donc  $Re[\underline{x}] = \hat{X} \cos(\theta) = Re[\hat{X}e^{j\theta}]$
  - En appliquant à notre cas:  $\hat{A} \cos(\omega t + \varphi) = Re[\hat{A}e^{j(\omega t + \varphi)}]$

- Exemple:

- $u(t) = \hat{U} \cos(\omega t + \varphi)$


- On définit une tension complexe associée:

$$\underline{u}(t) = \hat{U} e^{j(\omega t + \varphi)}$$

- On a alors:

$$u(t) = \text{Re}[\underline{u}(t)]$$

- On peut alors étudier les circuits avec les grandeurs sous forme complexe, et on prend la partie réelle du résultat.

- 
- On voit qu'en régime permanent sinusoïdal il y a deux grandeurs à déterminer:
    - L'amplitude  $\hat{X}$
    - La phase  $\varphi$
  - On définit alors les **phaseurs**:

Phaseur instantané:

$$\underline{x}(t) = \hat{X}e^{j(\omega t + \varphi)}$$

Phaseur crête:

$$\underline{\hat{X}} = \hat{X}e^{j\varphi}$$

Phaseur efficace:

$$\underline{X} = Xe^{j\varphi}$$

- On remarque que dans tous les cas, tension et courant **sous leur forme de phaseur** sont proportionnels
  - En formalisme complexe, on obtient aussi une forme de loi d'Ohm!
  - Cette loi s'écrit  $\underline{U} = \underline{Z} \underline{I}$

- $\underline{Z}$  est appelée **impédance**

- Pour une résistance:

$$\underline{Z} = R$$

- Pour un condensateur:

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

- Pour une inductance:

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

- Propriétés

- L'impédance  $\underline{Z}$  **est un nombre complexe**
- Elle depend de la pulsation (et donc de la fréquence)
- Elle est homogène à des ohms ( $\Omega$ )

- Grandeurs associées:

- On peut aussi écrire




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

$$\underline{Y} = \frac{1}{\underline{Z}}$$

- $\underline{Y}$  est appelée **admittance**
- L'impédance  $\underline{Z}$  peut avoir une partie réelle et/ou une partie imaginaire

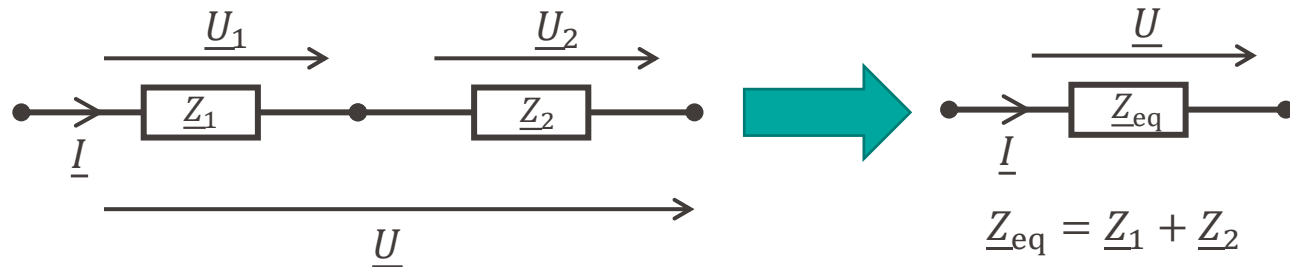
$$\underline{Z} = R + jX$$

- La partie réelle  $R$  est appelée **résistance**
- La partie imaginaire  $X$  est appelée **réactance**

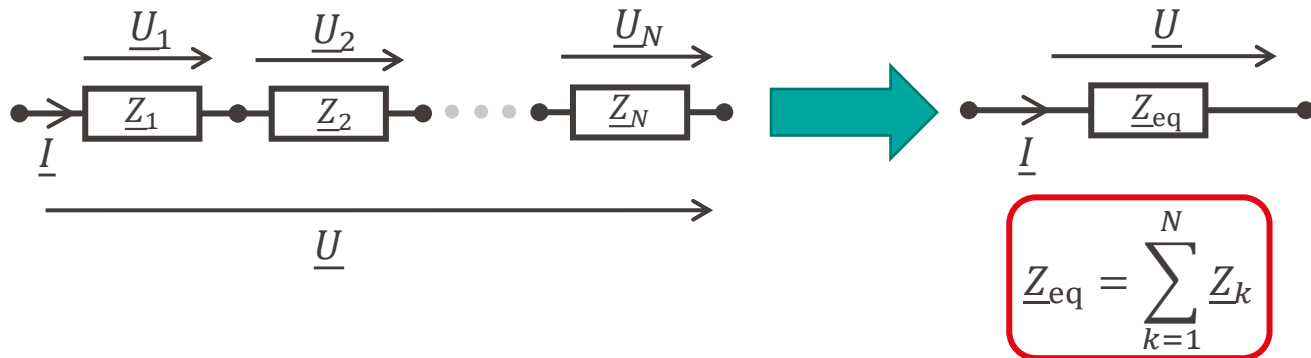
Composant	Loi	$\underline{Z}$	$ \underline{Z} $	$\arg(\underline{Z})$
Résistance  $R$	$u(t) = Ri(t)$	$R$	$R$	$0$
Condensateur  $C$	$i(t) = C \frac{du}{dt}(t)$	$\frac{1}{jC\omega}$	$\frac{1}{C\omega}$	$-\frac{\pi}{2}$
Inductance  $L$	$u(t) = L \frac{di}{dt}(t)$	$jL\omega$	$L\omega$	$\frac{\pi}{2}$

# Agencement en série

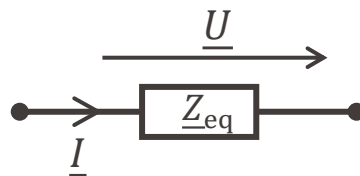
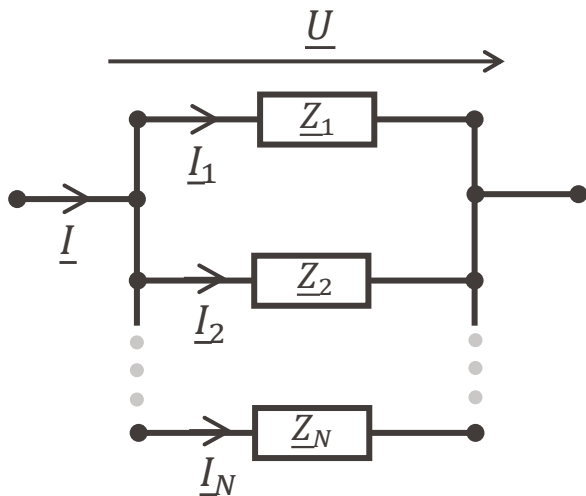
- Deux impédances en série s'additionnent:



- Plus généralement:



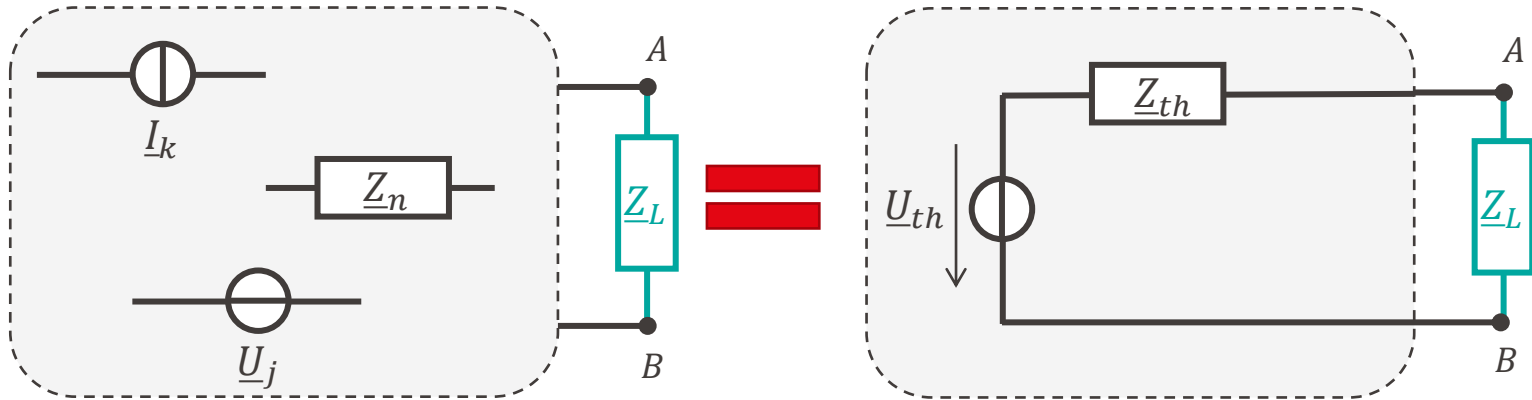
# Agencement en parallèle



$$\frac{1}{\underline{Z}_{eq}} = \sum_{k=1}^N \frac{1}{\underline{Z}_k} \quad / \quad \underline{Y}_{eq} = \sum_{k=1}^N \underline{Y}_k$$

# Théorème de Thévenin

- **Objectif:** Remplacer un circuit (à une fréquence donnée) par une source de tension et une impédance en série



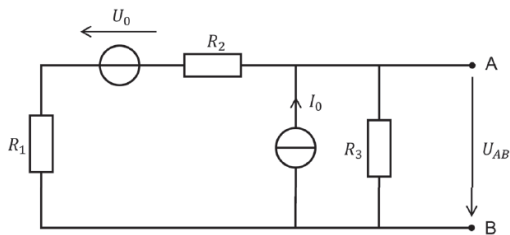
# Théorème de Thévenin

- **Objectif:** Remplacer un circuit (à une fréquence donnée) par une source de tension et une impédance en série
  
- **Procédure:**
  - Identifier clairement les bornes de sortie du circuit à remplacer
  - Calculer ou mesurer la **tension à vide** (tensions entre A et B **sans charge**)
  - Calculer ou mesurer l'impédance **vue par les bornes A et B** (en éteignant toutes les sources)

Question 31: Cette question est notée sur 10 points.

0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10

On considère le circuit suivant en régime statique:

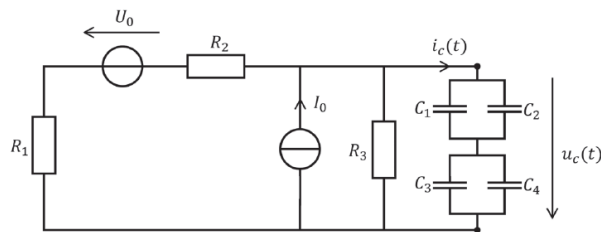


On souhaite déterminer les équivalents de Thévenin et de Norton de ce circuit vu des bornes A et B.  
Données:  $R_1 = 127 \Omega$ ,  $R_2 = 373 \Omega$ ,  $R_3 = 2000 \Omega$ ,  $U_0 = 9 \text{ V}$ ,  $I_0 = 20 \text{ mA}$ .

Question 32: Cette question est notée sur 10 points.

0  1  2  3  4  5  6  7  8  9  10

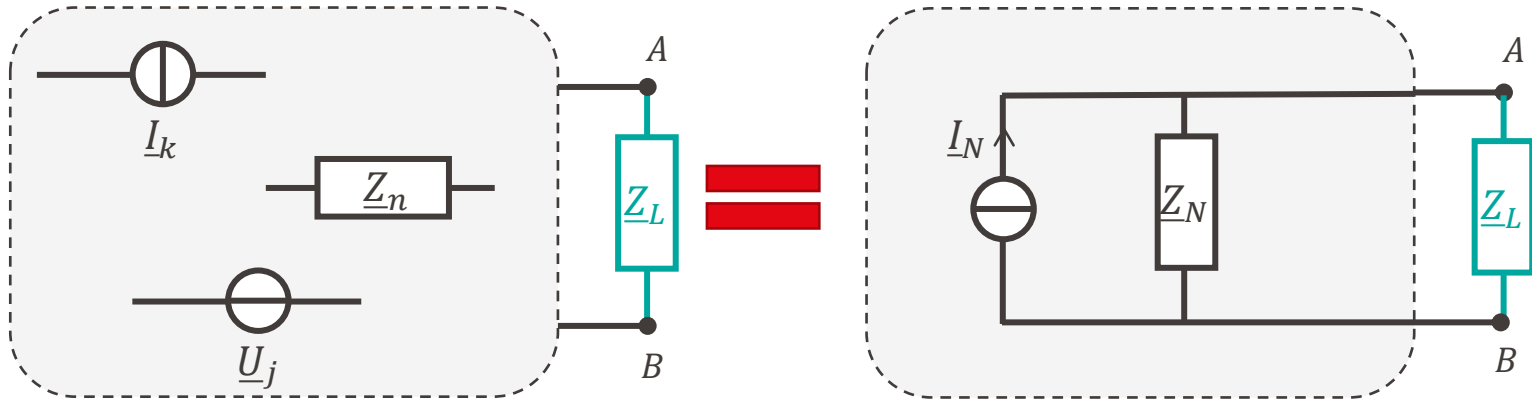
On branche un ensemble de condensateurs initialement déchargés aux bornes du circuit précédent comme représenté ci-dessous.



On souhaite déterminer l'évolution dans le temps de la tension  $u_c(t)$  définie sur le schéma.  
Données:  $C_1 = 61 \text{ nF}$ ,  $C_2 = 64 \text{ nF}$ ,  $C_3 = 35 \text{ nF}$ ,  $C_4 = 90 \text{ nF}$ .



- **Objectif:** Remplacer un circuit (à une fréquence donnée) par une source de courant et une impédance en parallèle

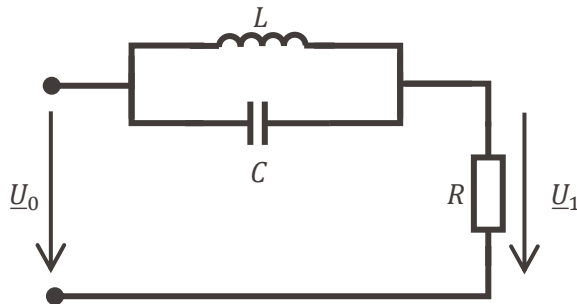


- **Objectif:** Remplacer un circuit (à une fréquence donnée) par une source de courant et une impédance en parallèle
  
- **Procédure:**
  - Identifier clairement les bornes de sortie du circuit à remplacer
  - Calculer ou mesurer le **courant de court-circuit** (courant dans la branche AB pour une **charge nulle**)
  - Calculer ou mesurer l'impédance **vue par les bornes A et B** (en éteignant toutes les sources)



# Méthodes de résolution en régime permanent sinusoïdal

- Les mêmes méthodes qu'en régime statique sont applicables en régime sinusoïdal:
  - Agencement d'impédances
  - Théorèmes de Thévenin et de Norton
  - Equivalence de sources
  - Principe de superposition
- Les grandeurs dans le circuit dépendent de la fréquence

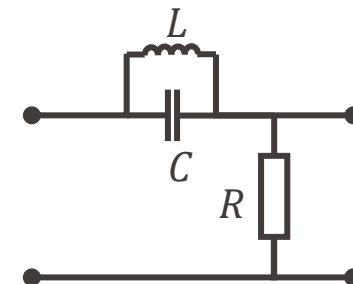
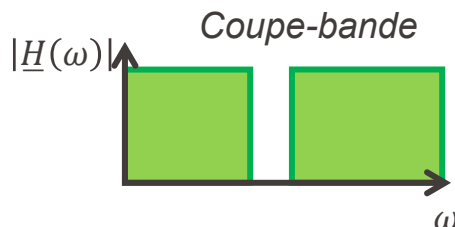
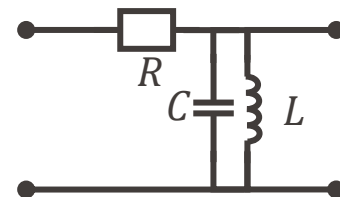
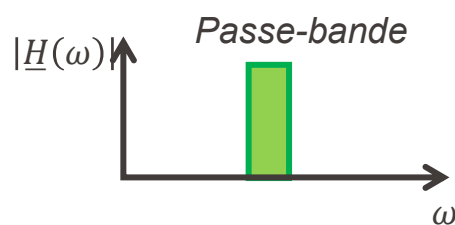
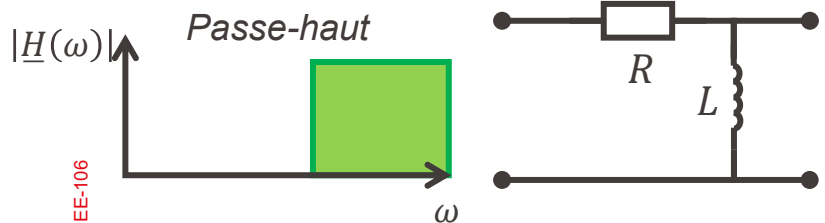
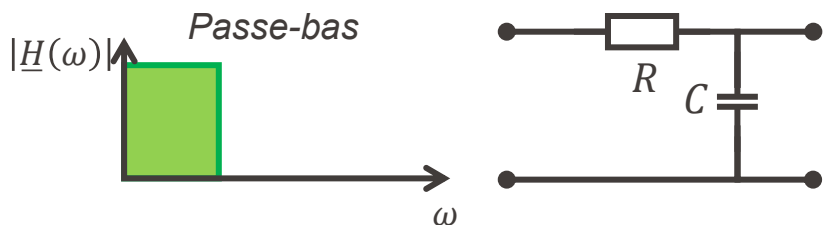


$$\underline{U}_1 = \frac{R(1 - LC\omega^2)}{R + jL\omega - RLC\omega^2} \underline{U}_0$$

- On a étudié avant des dipôles:
  - Résistance
  - Condensateur
  - Inductance
- Les Quadripôles sont des systèmes avec 4 bornes
  - 2 bornes d'entrée
  - 2 bornes de sortie

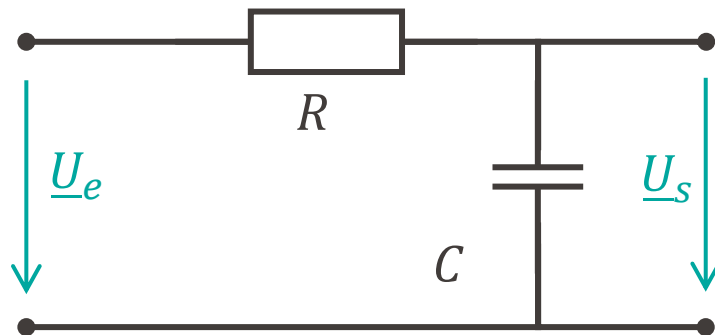


- Il est possible de créer n'importe quelle forme de filtre avec des résistances, des condensateurs et des inductances
- Il y a 4 familles principales de filtres



- Les fonctions de transfert peuvent rapidement être compliquées
  
- Le diagramme de Bode est un moyen de représenter le comportement fréquentiel d'un système
  - Il permet une résolution graphique simplifiée
  - Il sert à visualiser rapidement le gain et la phase en fonction de la fréquence
  - Il se trace en échelle logarithmique

# Diagramme de Bode - Exemple



$$\underline{H}(\omega) = \frac{1}{1 + jRC\omega} \Rightarrow \begin{cases} |\underline{H}(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}} \\ \phi(\omega) = -\arctan(RC\omega) \end{cases}$$

# Diagramme de Bode - Exemple

$$\underline{H}(\omega) = \frac{1}{1 + jRC\omega} \Rightarrow \begin{cases} |\underline{H}(\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + (RC\omega)^2}} \\ \phi(\omega) = -\arctan(RC\omega) \end{cases}$$

Diagramme réel

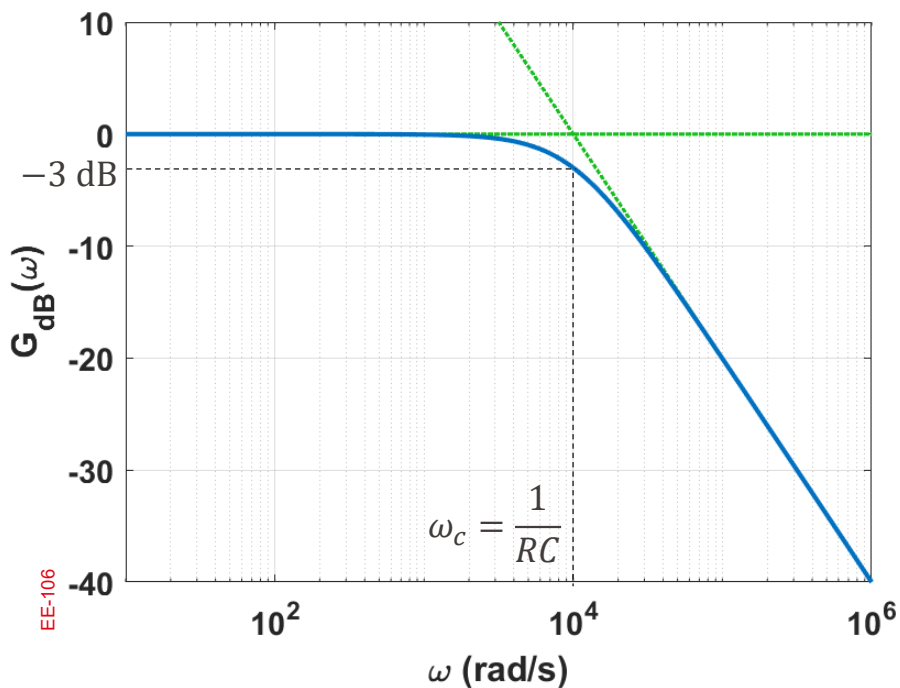
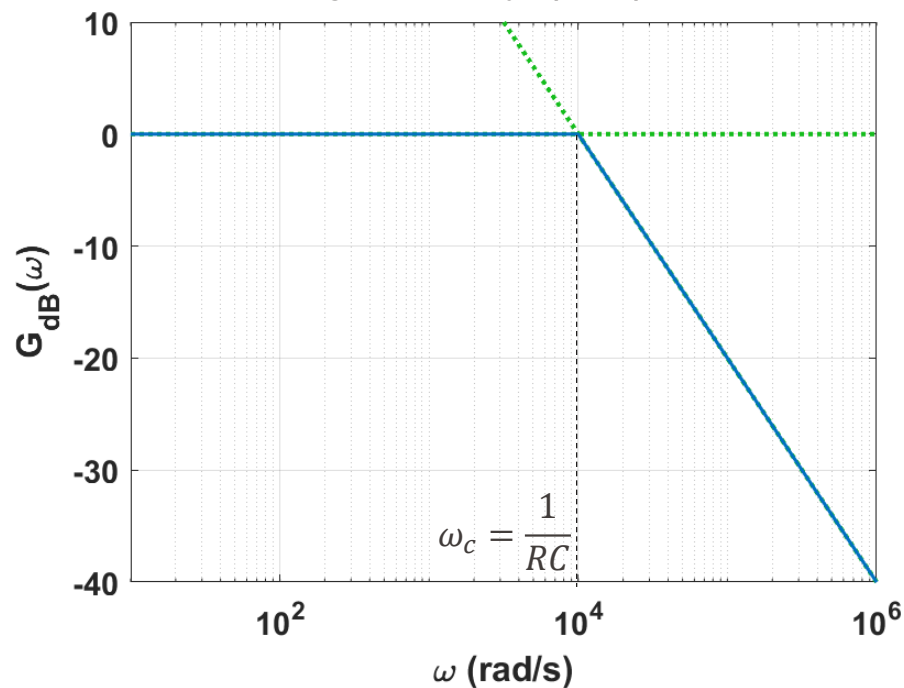


Diagramme asymptotique



# Puissance active

$$p(t) = \underbrace{UI \cos(\phi) [1 + \cos(2\omega t + 2\alpha)]}_{\text{Composante pulsée}} + \underbrace{UI \sin(\phi) \sin(2\omega t + 2\alpha)}_{\text{Composante alternative}}$$

- On appelle **puissance active  $P$**  la valeur moyenne de la puissance instantanée
- En régime sinusoïdal, on a donc:
$$P = UI \cos(\phi)$$
- L'unité est le watt (W)
- Elle correspond à l'énergie convertible en travail ou en chaleur
  - Elle est maximale pour  $\phi = 0$
  - Elle est nulle pour  $\phi = \pm\pi/2$

# Puissance réactive

$$p(t) = \underbrace{UI \cos(\phi) [1 + \cos(2\omega t + 2\alpha)]}_{\text{Composante pulsée}} + \underbrace{UI \sin(\phi) \sin(2\omega t + 2\alpha)}_{\text{Composante alternative}}$$

- On appelle **puissance réactive  $Q$**  l'amplitude de composante alternative
- En régime sinusoïdal, on a donc:
$$Q = UI \sin(\phi)$$
- L'unité est le volt-ampère réactif (VAr)
- Elle correspond une énergie non convertible
  - Elle est maximale pour  $\phi = \pm\pi/2$
  - Elle est nulle pour  $\phi = 0$

# Puissance apparente

$$p(t) = \underbrace{UI \cos(\phi) [1 + \cos(2\omega t + 2\alpha)]}_{\text{Composante pulsée}} + \underbrace{UI \sin(\phi) \sin(2\omega t + 2\alpha)}_{\text{Composante alternative}}$$

- On appelle **puissance apparente**  $S$  l'amplitude de des fluctuations de la puissance instantanée par rapport à sa valeur moyenne

- En régime sinusoïdal, on a donc:

$$S = UI$$

- L'unité est le volt-ampère (VA)

- Elle est liée à  $P$  et  $Q$  par:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

- On définit la puissance complexe par:

$$\underline{S} = P + jQ$$

- On peut aussi écrire:

$$\underline{S} = UI \cos(\phi) + jUI \sin(\phi) = UI e^{j\phi}$$

- Cette grandeur contient toutes les informations sur la puissance instantanée:
  - $\operatorname{Re}(\underline{S}) = P$  ;  $\operatorname{Im}(\underline{S}) = Q$
  - $|\underline{S}| = \sqrt{P^2 + Q^2} = S$
  - $\arg(\underline{S}) = \phi$

# Puissance complexe

- Enfin, on a aussi:

$$\underline{S} = \underline{U} \underline{I}^*$$

- Pour une impédance  $\underline{Z}$ :

$$\underline{S} = \underline{Z} I^2 = \frac{U^2}{\underline{Z}^*}$$

- En posant  $\underline{Z} = R + jX$ :

$$\underline{S} = RI^2 + jXI^2$$

# Facteur de puissance

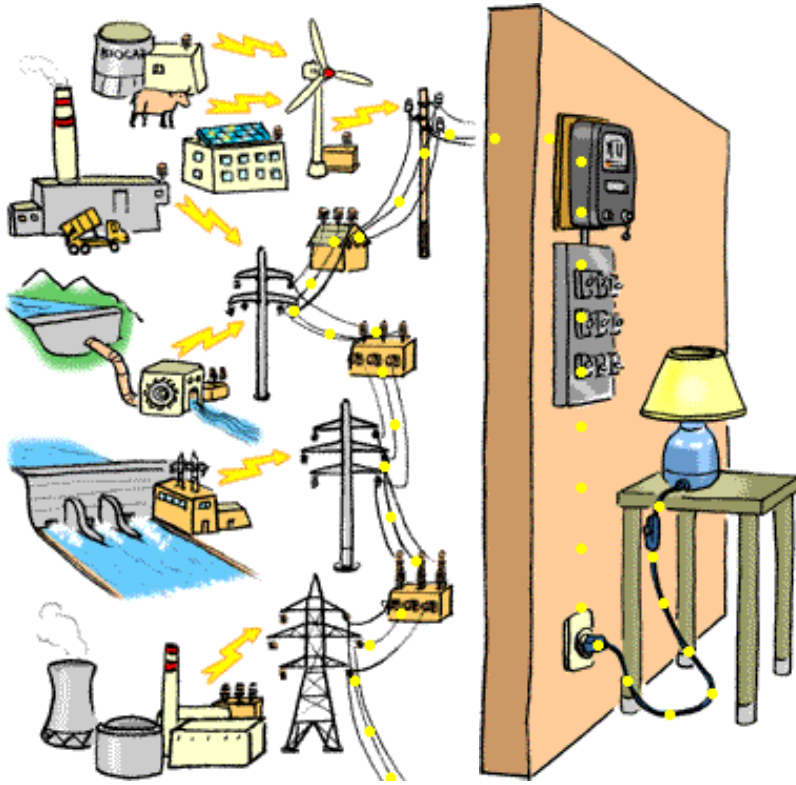
- Le facteur de puissance est le rapport de la puissance active et de la puissance apparente:

$$FP = \frac{P}{S} = \cos(\phi)$$

- Pour une charge purement résistive,  $\phi = 0$  donc  $FP = 1$
- En présence d'une charge réactive, le facteur de puissance diminue
- Cela augmente les pertes au niveau du réseau électrique (et peut alors augmenter les coûts de l'électricité)

# Réseau électrique

# Systemes de production d'électricité



- Il existe de nombreux moyens de produire de l'électricité
- La majorité des systèmes sont basés sur des machines tournantes
- L'ingénierie des systèmes de production joue un rôle majeur dans notre société
  - Demande de plus en forte
  - Doit être stable
  - Doit polluer le moins possible

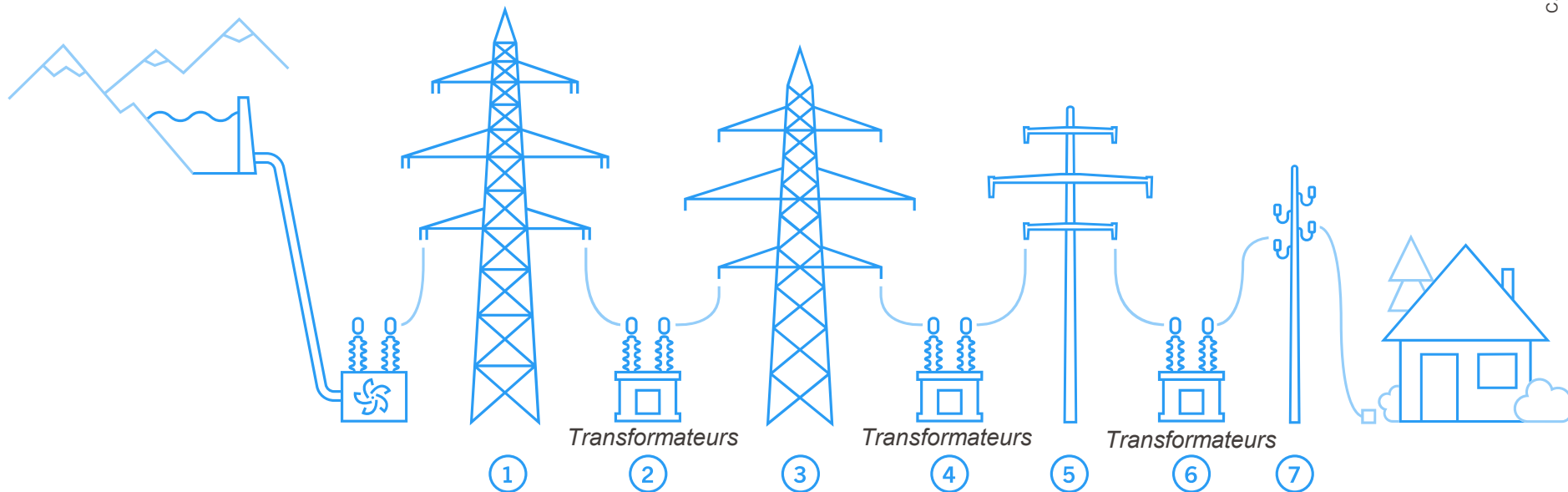
- La puissance instantanée  $p(t)$  définit l'énergie que le système peut donner (ou consommer) pendant un instant infinitésimal à un instant donné
- L'énergie traduit la consommation de puissance pendant une certaine durée  $T$

$$E = \int_0^T p(t) dt$$

Unité: joule (J), ou watt-heure (Wh)

- La puissance moyenne  $P$  est l'énergie consommée (ou fournie) divisée par la durée

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{E}{T}$$



## 1) Réseau très haute tension

Transport de l'électricité depuis les grandes centrales et l'étranger

Tension: 380/220 kV

## 3) Réseau haute tension

Transport de l'électricité suprarégional

Tension: de 36 kV à 220 kV

## 5) Réseau moyenne tension

Transport de l'électricité régional

Tension: de 1 kV à 36 kV

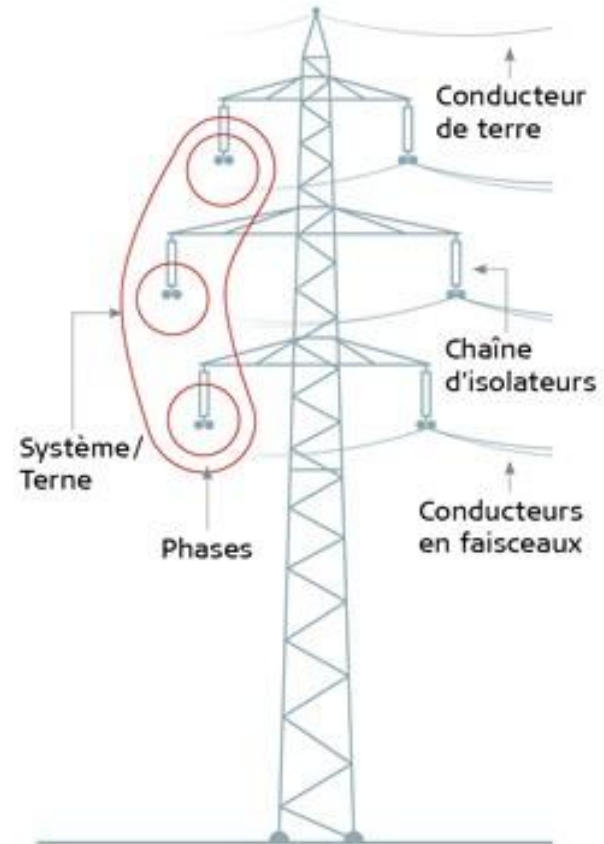
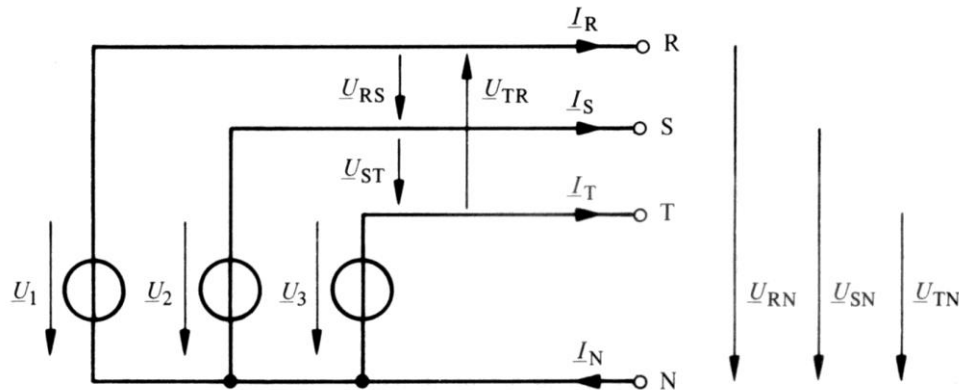
## 7) Réseau basse tension

Acheminement domestique

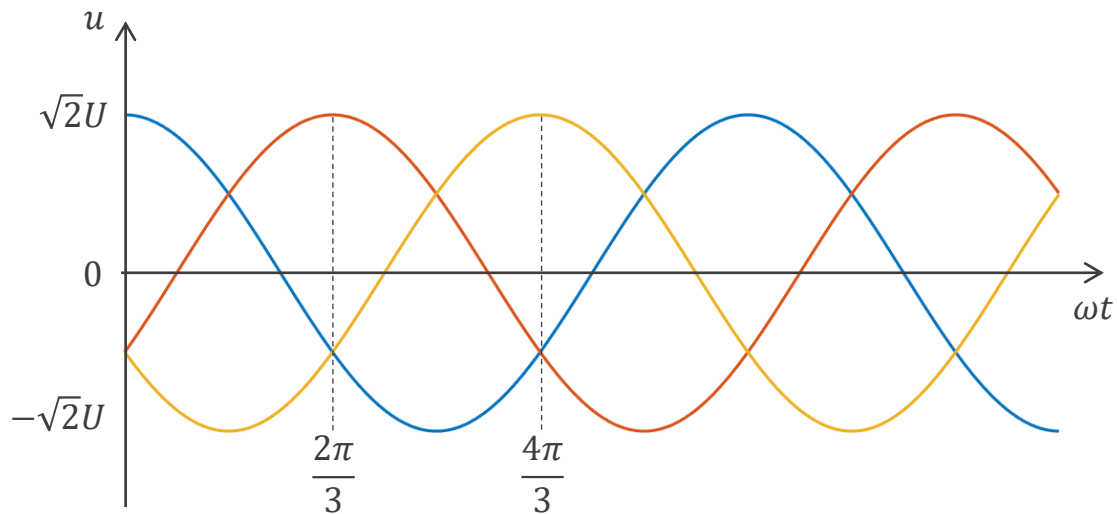
Tension: 220/400 V

- On utilise un réseau triphasé
  - Les machines électriques ont un fonctionnement optimal en polyphasé
  - On peut montrer que dans ce cas la puissance instantanée totale est constante

Schéma d'une source triphasée:



- Systeme triphasé **direct** d'ordre 1 ( $m = 3, k = 1$ ).

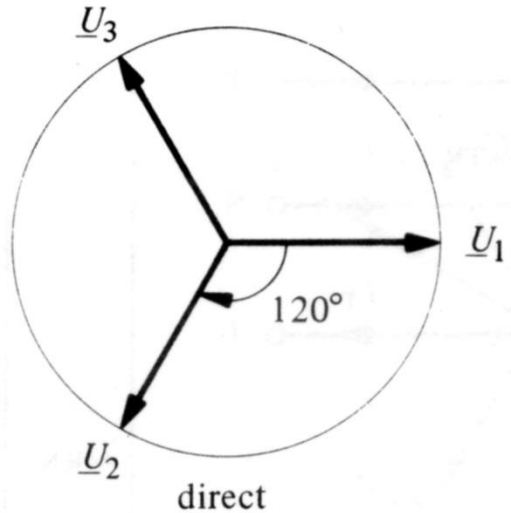


$$u_1(t) = \sqrt{2}U \cos(\omega t)$$

$$u_2(t) = \sqrt{2}U \cos\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$

$$u_3(t) = \sqrt{2}U \cos\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

- Système triphasé **direct** d'ordre 1 ( $m = 3, k = 1$ )



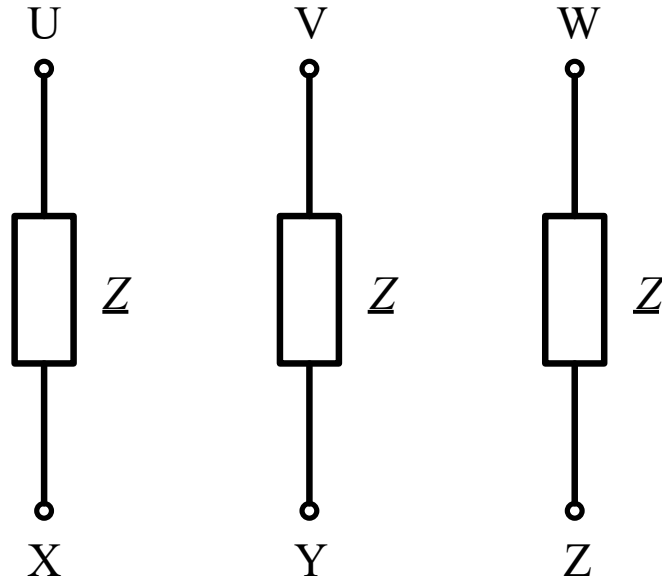
$$\underline{U}_1 = U$$

$$\underline{U}_2 = U e^{-j\frac{2\pi}{3}}$$

$$\underline{U}_3 = U e^{-j\frac{4\pi}{3}}$$

$$\underline{U}_1 + \underline{U}_2 + \underline{U}_3 = 0$$

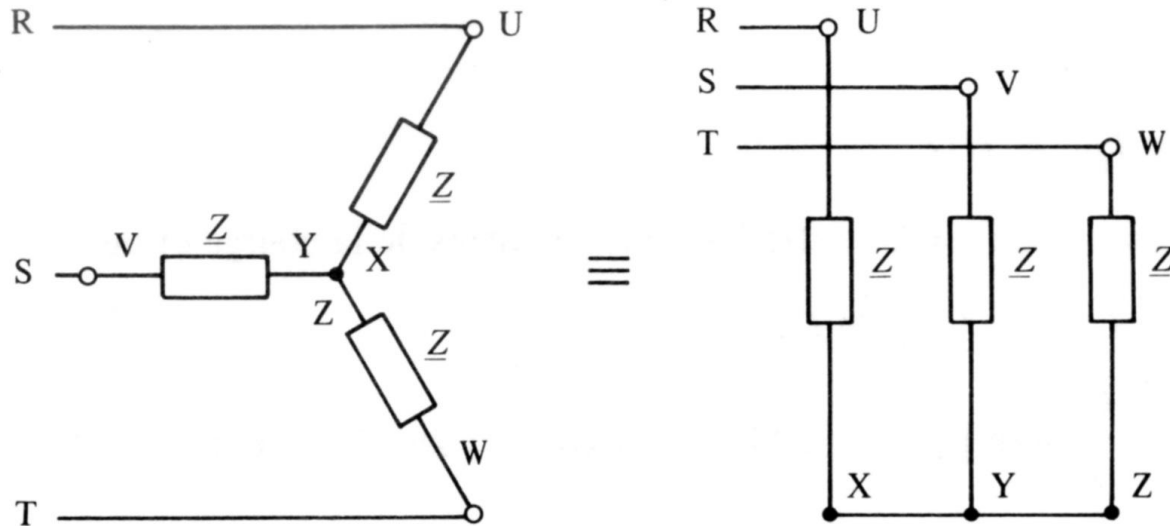
# Charge triphasée équilibrée



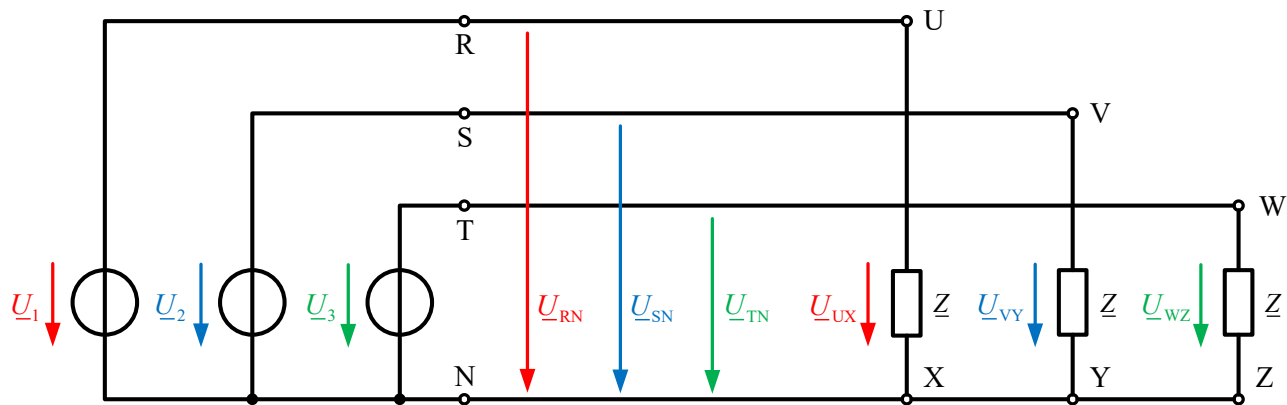
- Trois impédances identiques
- Ces trois impédances peuvent être connectées en **étoile** ou en **triangle**

# Connexion en étoile

- Montage symbolisé par le signe **Y**
- Le point commun (XYZ) est appelé **point neutre de la charge**

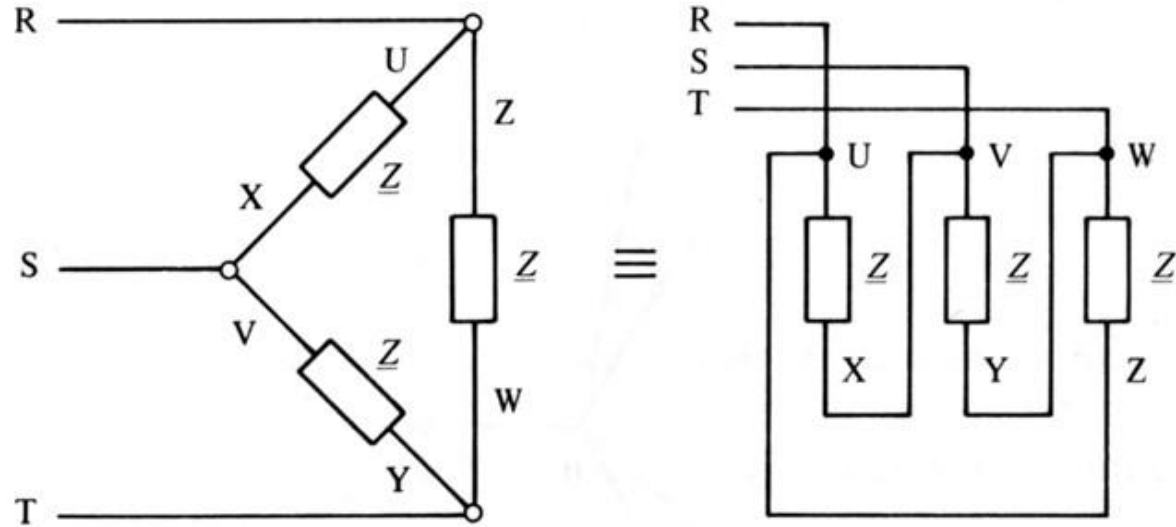


# Connexion en étoile

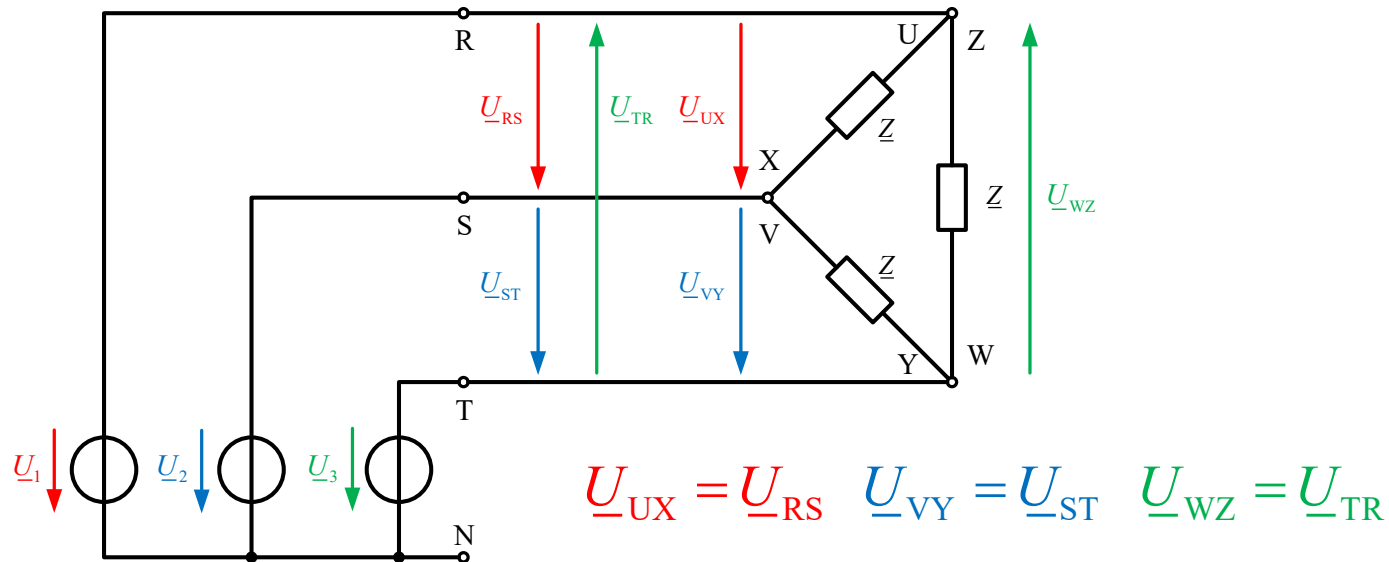


# Connexion en triangle

- Montage symbolisé par le signe  $\Delta$



# Connexion en triangle



# Conversion triangle - étoile

Le passage d'un montage en *triangle* à celui en *étoile* d'une charge d'impédances est utilisé pour :

- Obtenir une réduction momentanée de la puissance.  
Technique largement utilisée pour le démarrage de moteurs asynchrones
- Permettre l'adaptation à un réseau ayant une tension plus élevée.

R. Dufy, « La fée électricité »  
Musée d'art moderne, Paris



**Merci pour votre  
attention**