

Chapitre 0 : Lois et théorèmes d'électricité

I. Introduction

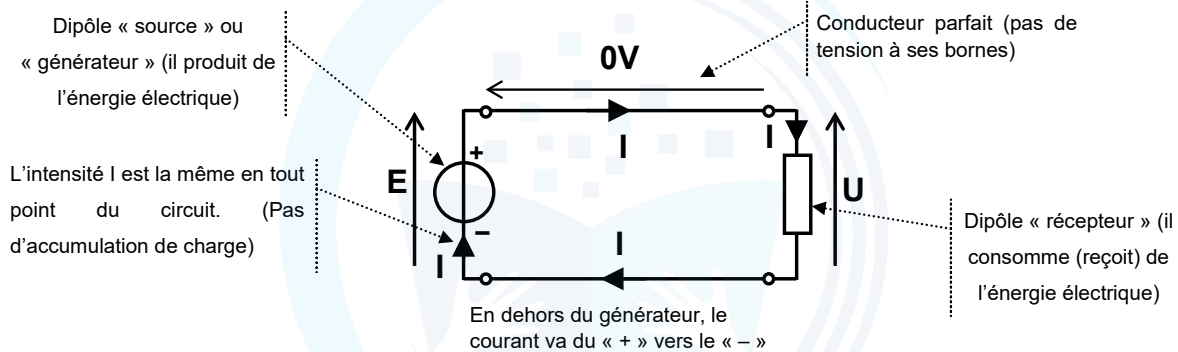
Dans l'ensemble des dispositifs électriques, l'électricité est régie par des lois naturelles. Ces lois ont été mises en évidence progressivement grâce à de nombreuses expériences. Aujourd'hui, il est indispensable pour les électriciens et les électroniciens de maîtriser ces principes fondamentaux ainsi que le vocabulaire associé.

Lors de l'étude de ce cours, il est conseillé de repérer et de souligner les termes nouveaux. L'apprentissage des lois de l'électricité constitue une étape essentielle et nécessite une bonne mémorisation.



II. Circuit électrique de base

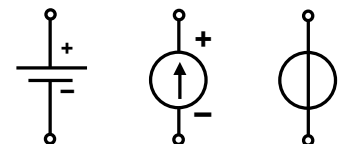
Un circuit électrique de base est constitué d'une **source** de courant ou de tension, chargée de **fournir l'énergie** électrique, et d'un dipôle électrique, qui **utilise** ou **reçoit** cette énergie comme illustré dans la figure ci-dessous.



1. Sources électriques continues

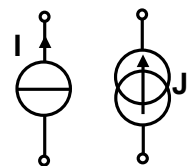
☑ Source idéale de tension :

Une source idéale de tension est un dipôle actif qui impose une tension constante entre ses bornes, quelles que soient les variations du courant débité.



☑ Source idéale de courant :

Une source idéale de courant est un dipôle actif qui impose un courant constant, quelles que soient les variations de la tension à ses bornes.



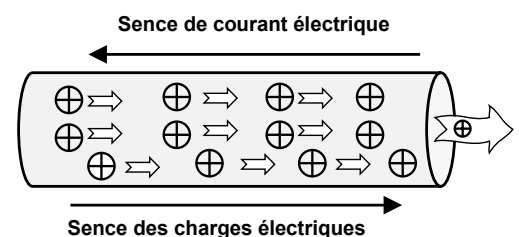
2. Grandeurs électriques

💡 Courant électrique :

Le courant électrique correspond au déplacement ordonné de charges électriques dans un conducteur. Lorsque le courant conserve une valeur constante au cours du temps, on dit qu'il est continu. Dans ce cas, l'intensité du courant électrique est égale à la quantité de charge électrique ΔQ traversant une section du conducteur pendant un intervalle de temps Δt , divisée par cet intervalle de temps :

$$i = \frac{dq}{dt} \rightarrow I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

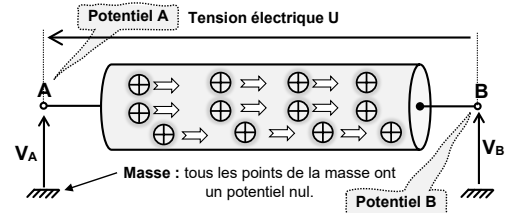
L'unité de l'intensité du courant électrique est l'ampère (A).



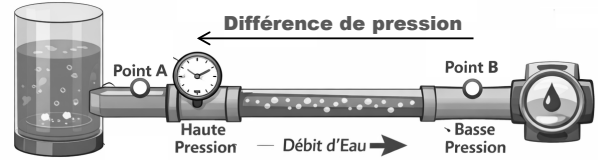
💡 Tension électrique :

La tension électrique représente la **différence de potentiel** entre deux points d'un circuit. Elle est responsable de la mise en mouvement des charges électriques dans le conducteur. La tension est généralement notée **U** et son unité est le **volt (V)**.

Entre deux points **A** et **B**, la tension s'écrit : $U = V_A - V_B$

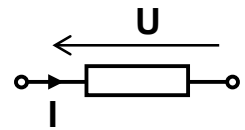
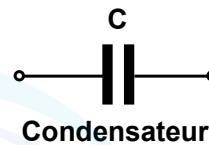
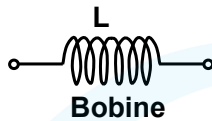
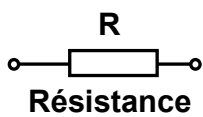


Remarque : Par analogie hydraulique, la tension peut être comparée à une différence de pression, tandis que le courant électrique peut être assimilé à un débit d'eau.



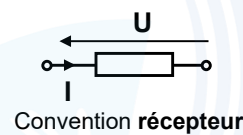
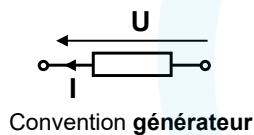
3. Dipôles électriques

On appelle **dipôle électrique** tout composant électrique possédant **deux bornes** ou **deux extrémités** de connexion.



4. Conventions

- **Convention génératrice :** les flèches de la tension et du courant sont orientées dans le même sens.
- **Convention récepteur :** les flèches de la tension et du courant sont orientées en sens contraires.



Remarque importante : La convention choisie pour représenter un dipôle ne détermine pas à elle seule son mode de fonctionnement. Celui-ci dépend du signe de la puissance : $P = U.I$.

- Si le dipôle absorbe de la puissance, il fonctionne en **récepteur**.
- S'il fournit de la puissance, il fonctionne en **générateur**.

III. Lois et théorèmes de base en électricité

Les lois et théorèmes de base en électricité regroupent les principes fondamentaux permettant d'analyser et d'étudier le fonctionnement des circuits électriques. Ils sont utilisés pour déterminer différentes grandeurs électriques, telles que la tension, le courant, ainsi que les caractéristiques de certains dipôles comme la résistance **R**, le condensateur **C** ou la bobine **L**.

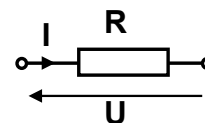
1. Loi d'ohm

La loi d'Ohm exprime la relation entre la tension **U** aux bornes d'un conducteur ohmique et le courant **I** qui le traverse. Cette tension est proportionnelle au courant, le coefficient de proportionnalité étant la résistance **R**.

La loi d'Ohm s'écrit alors : $U = R \cdot I$

Où :

- **U** : la tension aux bornes du dipôle, en volt (V);
- **I** : l'intensité du courant qui le traverse, en ampère (A);
- **R** : la résistance électrique, en ohm (Ω).



Georg Ohm

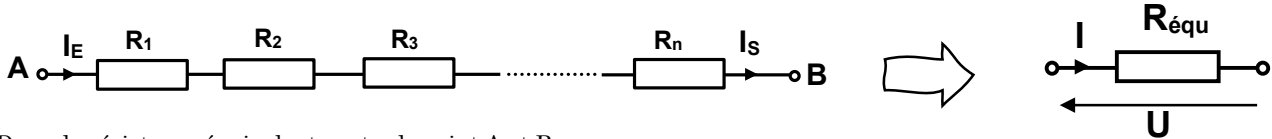
2. Loi d'association des résistances

L'association de résistances permet de déterminer la **résistance équivalente** d'un ensemble de résistances reliées entre elles dans un circuit électrique.

Cette loi est fondamentale pour l'analyse et la simplification des circuits, notamment lorsque les résistances sont montées **en série** ou **en parallèle**.

✓ Association en série :

Lorsque plusieurs résistances sont montées en série, elles sont traversées par le même courant ($I_s = I_E$). Leur résistance équivalente est égale à la somme de leurs résistances.

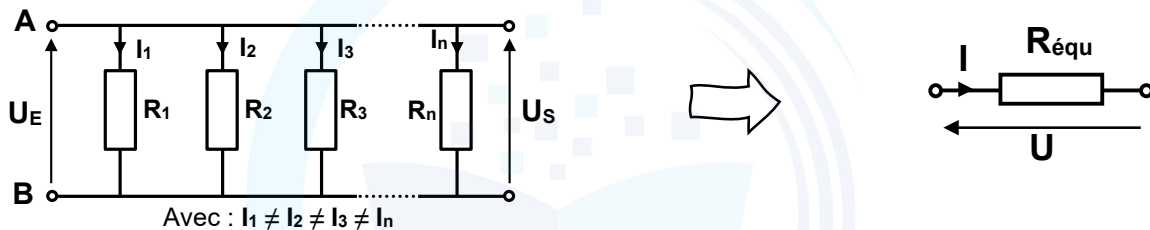


Donc, la résistance équivalente entre le point A et B :

$$R_{\text{équi}} = \sum_{i=1}^n R_i \Rightarrow R_{\text{équi}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

✓ Association en parallèle :

Lorsque plusieurs résistances sont montées en parallèle, elles sont soumises à la même tension ($U_E = U_1 = U_2 = \dots = U_s$). L'inverse de la résistance équivalente est égal à la somme des inverses des résistances associées.



Donc, la résistance équivalente entre le point A et B :

$$R_{\text{équi}} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \right)^{-1} \Rightarrow R_{\text{équi}} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)^{-1}$$

Remarque : L'inverse de la résistance électrique est appelé **conductance**. Elle se note **G** et s'exprime en **siemens** (S): $G = \frac{1}{R}$

3. Lois de KIRCHHOFF

Les lois de Kirchhoff regroupent deux lois fondamentales utilisées pour l'étude des circuits électriques : la **loi des nœuds** et la **loi des mailles**. Ces lois permettent d'établir des relations entre les courants et les tensions dans un circuit électrique.



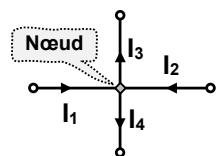
Gustav KIRCHHOFF

✓ Loi des nœuds :

Dans un **nœud**, la somme des courants entrants est égale à la somme des courants sortants.

Si l'on adopte une convention de signe adaptée, on peut écrire :

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4$$



✓ Loi des mailles :

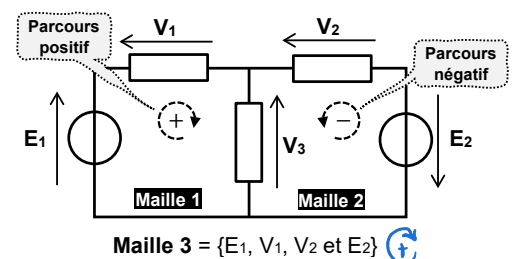
Dans une **maille fermée**, la somme algébrique des tensions est nulle : les tensions de même sens que le parcours sont positives, et celles de sens contraire sont négatives.

A partir de ce schéma ci-après :

○ Expression de la maille 1 : $E_1 - V_1 - V_3 = 0$ ou $E_1 = V_1 + V_3$

○ Expression de la maille 2 : $V_3 - V_2 + E_2 = 0$

○ Expression de la maille 3 : $E_1 - V_1 - V_2 + E_2 = 0$



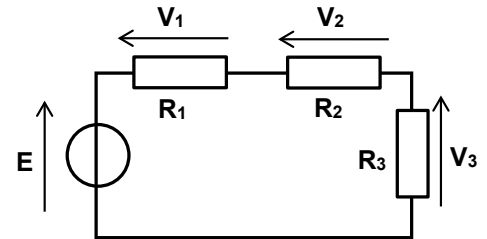
4. Loi du diviseur de tension et du diviseur de courant

Le diviseur de tension et le diviseur de courant constituent deux relations fondamentales de l'électricité. Ils permettent de déterminer la manière dont la tension ou le courant se répartissent dans un circuit selon les valeurs des résistances, ou plus généralement des impédances.

💡 Diviseur de tension

La loi du diviseur de tension s'applique à des résistances **montées en série**. Dans une association en série, la tension totale U se répartit entre les résistances proportionnellement à leurs valeurs : $U_k = \frac{R_k}{\sum R} U$

Tension V_1	Tension V_2	Tension V_3
$V_1 = E \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3}$	$V_2 = E \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3}$	$V_3 = E \frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}$



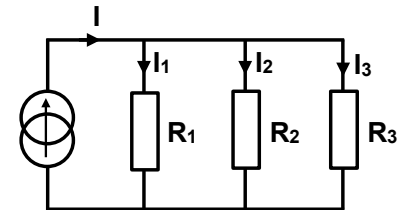
💡 Diviseur de courant

La loi du diviseur de courant s'applique à des résistances montées en parallèle. Dans une association en parallèle, le courant total se répartit dans les différentes branches en fonction des résistances ou plus généralement des impédances.

Remarque : il est souvent préférable d'utiliser les conductances pour simplifier les calculs : $I_k = \frac{Y_k}{\sum Y} I$

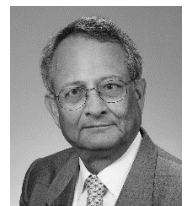
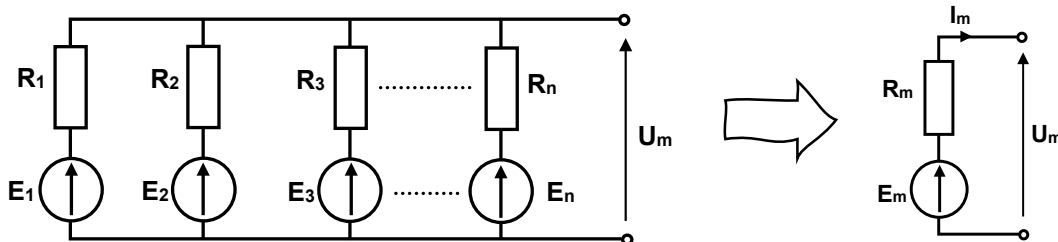
Pour le schéma ci-après, on pose : $Y_1 = \frac{1}{R_1}$, $Y_2 = \frac{1}{R_2}$ et $Y_3 = \frac{1}{R_3}$

Courant I_1	Courant I_2	Courant I_3
$I_1 = I \cdot \frac{Y_1}{Y_1 + Y_2 + Y_3}$	$I_2 = I \cdot \frac{Y_2}{Y_1 + Y_2 + Y_3}$	$I_3 = I \cdot \frac{Y_3}{Y_1 + Y_2 + Y_3}$



5. Théorème de MILLMAN

Le théorème de Millman permet de calculer la tension d'un nœud relié à plusieurs branches en parallèle, chaque branche étant constituée d'une source de tension (f.é.m) E_k et d'une résistance en série R_k .



Jacob MILLMAN

Cet ensemble de branches parallèles peut être ramené à une seule source de tension équivalente, de résistance interne R_m et de f.é.m. E_m , avec :

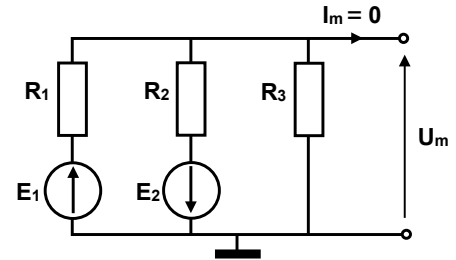
$$\text{Résistance interne : } R_m = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}} \text{ et la force électromotrice : } E_m = R_m \sum_{k=1}^n \frac{E_k}{R_k}$$

Si le courant qui traverse la résistance R_m est nul ($I_m = 0$) : $U_m = E_m$

$$U_m = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{E_k}{R_k}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}} \Rightarrow U_m = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{E_2}{R_2} + \frac{E_3}{R_3} + \dots + \frac{E_n}{R_n}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Calculer U_m (le potentiel d'un point par rapport à la masse) :

Tension U_m
$U_m = \frac{\frac{E_1}{R_1} + \frac{(-E_2)}{R_2} + \frac{0}{R_3}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \Rightarrow U_m = \frac{\frac{E_1}{R_1} - \frac{E_2}{R_2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$



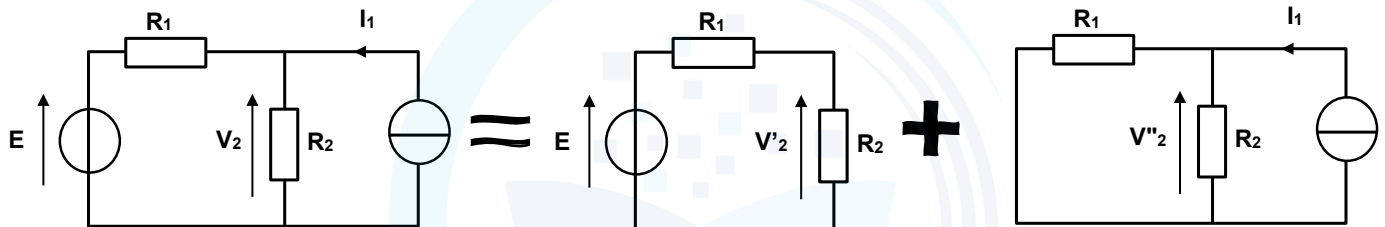
6. Théorème de superposition

Le théorème de superposition s'applique aux **circuits électriques linéaires** comportant plusieurs sources indépendantes. Il énonce que le courant ou la tension dans un élément d'un circuit est égal à la **somme algébrique** des effets produits par chacune des sources indépendantes agissant séparément.

Pour appliquer ce théorème, on considère une seule source indépendante à la fois, tandis que les autres sources indépendantes sont remplacées par leurs impédances internes :

- Une **source idéale de tension** est remplacée par un **court-circuit** ;
- Une **source idéale de courant** est remplacée par un **circuit ouvert**.

Exemple : la tension V_2 aux bornes de la résistance R_2



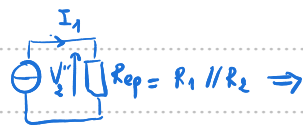
La tension V_2 aux bornes de R_2 est égale à la somme algébrique des tensions V_2' et V_2'' : $V_2 = V_2' + V_2''$

- **Question 1** : Exprimer la tension V_2' produite par la source de tension E seule, en fonction de E , R_1 et R_2 .

Appliquons le diviseur de tension :

$$V_2' = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

- **Question 2** : Exprimer la tension V_2'' produite par la source de courant I_1 seule, en fonction de I_1 , R_1 et R_2 .



Appliquons la loi d'Ohm $\Rightarrow V_2'' = R_{eq} \cdot I_1 \Rightarrow$

$$V_2'' = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} I_1$$

- **Question 3** : En déduire l'expression de la tension totale V_2 en fonction de E , I_1 , R_1 et R_2 .

d'après le théorème de superposition :

$$V_2 = V_2' + V_2''$$

$\Rightarrow$ donc :

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} (E - R_1 \cdot I_1)$$

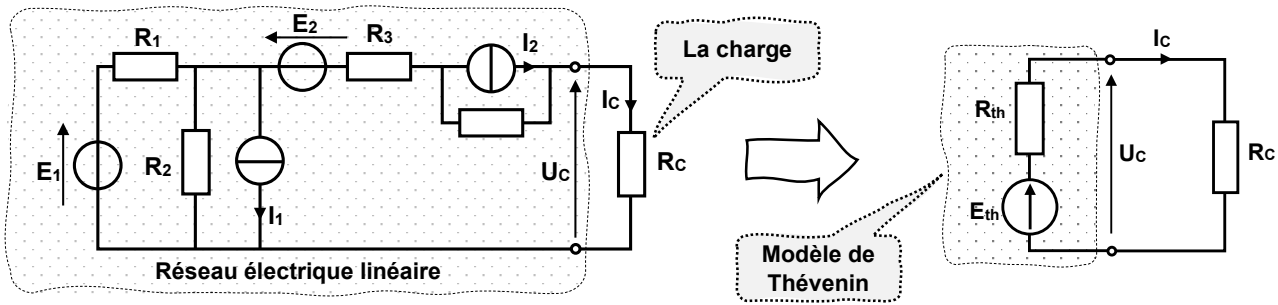
7. Théorème de Thévenin

Tout réseau électrique linéaire, vu entre deux bornes, peut être remplacé par un **dipôle équivalent de Thévenin** constitué :

- D'une **source idéale de tension** E_{th} ,
- En **série** avec une **résistance** R_{th} .



Léon Charles Thévenin



➤ Détermination des éléments du modèle de Thévenin

- E_{th} : la tension à vide mesurée entre les deux bornes du réseau, c'est-à-dire lorsque la charge est débranchée.
- R_{th} : la résistance équivalente vue entre les deux bornes du réseau, lorsque toutes les sources indépendantes sont remplacées par leurs modèles internes :
 - Les sources **idéales de tension** sont remplacées par **des courts-circuits** ;
 - Les sources **idéales de courant** sont remplacées par **des circuits ouverts**.

➤ Règles de passage au modèle de Thévenin

La détermination du modèle de Thévenin d'un réseau linéaire s'effectue selon les étapes suivantes :

1. **Débrancher la charge** et calculer la tension à vide E_{th} entre les deux bornes du réseau.
2. **Annuler toutes les sources indépendantes** du circuit :
 - Court-circuiter les sources de tension ;
 - Ouvrir les sources de courant.
3. **Calculer la résistance équivalente** vue entre les deux bornes du réseau, c'est-à-dire aux **bornes où la charge a été déconnectée** : cette résistance correspond à R_{th} .
4. **Remplacer le réseau initial** par son modèle de Thévenin, puis **rebrancher la charge** afin d'effectuer les calculs souhaités.

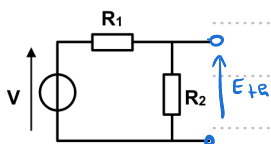
Exemple :

- **Question** : Exprimer puis calculer le courant I_0 par l'application de théorème de Thévenin

Données : $V = 10\text{ V}$, $R_1 = 10\ \Omega$, $R_2 = 5\ \Omega$ et $R_3 = 56\ \Omega$.

* cherchons la charge : puisque, on cherche le courant qui traverse $R_3 \Rightarrow$ donc la résistance R_3 est la charge

* calcul E_{th} :

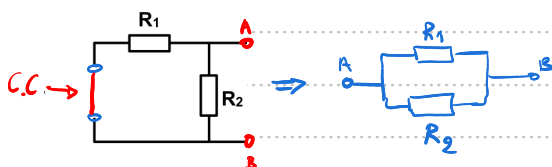


$\Rightarrow$ Appliquons le diviseur de tension :

$$E_{th} = V \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

A.N : $E_{th} = 3.34\text{ V}$

* calcul de la résistance R_{th}

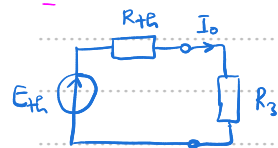


les deux résistances sont en parallèle :

d'où : $R_{th} = R_{AB} \Rightarrow R_{th} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$

A.N : $R_{th} = 3.34\ \Omega$

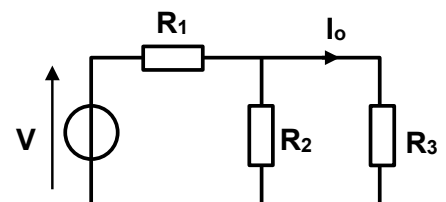
* faire le calculs :



d'après la loi d'ohm :

$$I_0 = E_{th} \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_{th}}$$

A.N : $I_0 = 3.15\text{ A}$

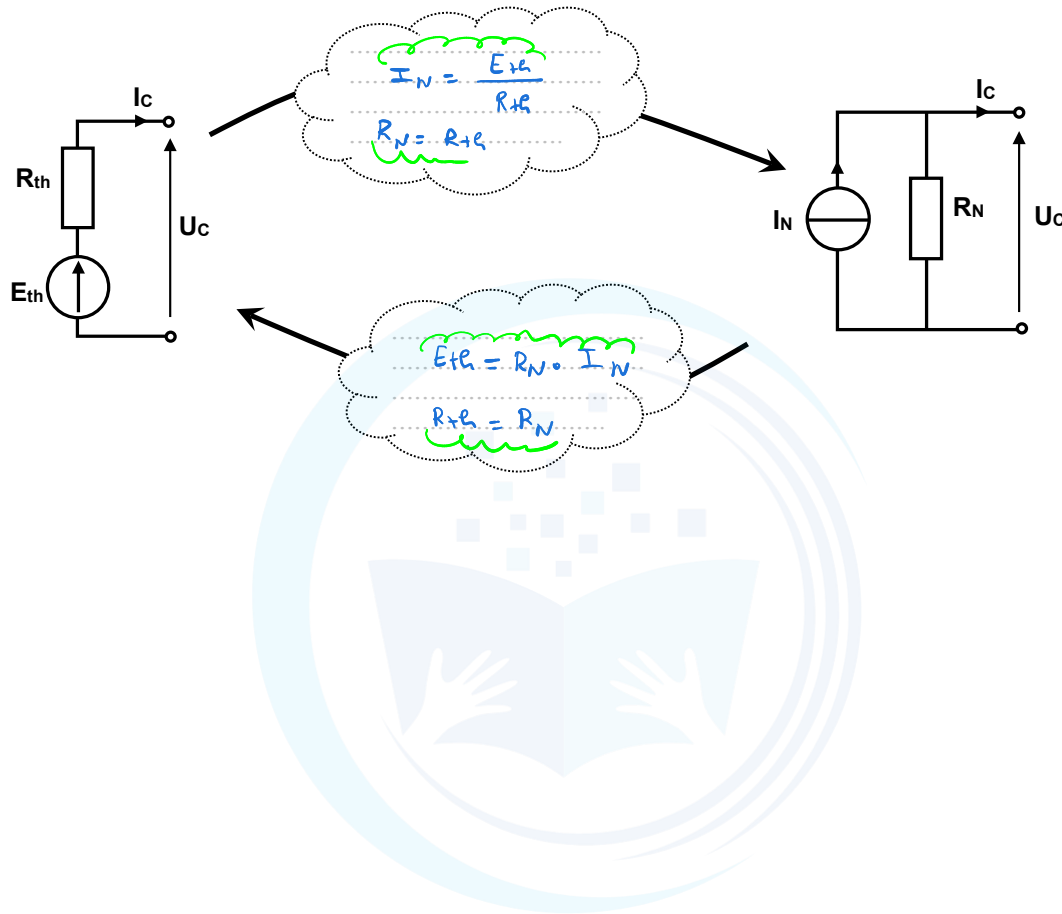


8. Passage de modèle de Thévenin vers le modèle de Norton ou inversement

Le **modèle de Thévenin** et le **modèle de Norton** sont deux représentations équivalentes d'un même réseau électrique linéaire vu entre deux bornes.

On peut passer de l'un à l'autre afin de simplifier les calculs.

- Le **modèle de Thévenin** est constitué d'une source de tension E_{th} en série avec une résistance R_{th} .
- Le **modèle de Norton** est constitué d'une source de courant I_N en parallèle avec une résistance R_N .



Références bibliographiques :

- 📖 C. François, Les grandes fonctions de la chaîne d'énergie - IUT, BTS, CPGE, FRANCE : Ellipses, 2016
- 📖 Y. Granjon, Électricité : Exercices et méthodes, Malakoff, France : Dunod, 2017.
- 📖 Pierre Tréhin, Sciences industrielles de l'ingénieur (SII) - spécial ATS, Ellipses 2019
- 📖 Piou, M. Les bases d'électricité (Baselecpro : Ch0, Ch1, Ch2, Ch3, Ch4 et Ch5) [PDF]. France, 2014.

A. OUAANABI (Version 2026/2027)

Génie électrique (TSI) – CPGE OIJDA