

Chapitre 1

Réseaux électriques en régime continu

1. Définitions

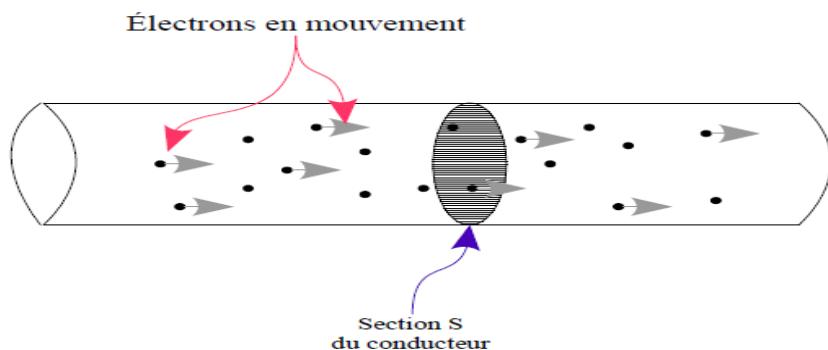
1.1. L'intensité électrique :

Le courant électrique correspond au déplacement des charges dans les conducteurs.

Dans les métaux, les charges sont les électrons notés (e^-) ; dans les solutions, les conducteurs sont les ions (cations et anions).

Prenons un fil conducteur, on appelle S la section de ce fil.

L'intensité I correspond aux nombres de charges (électrons) Δq qui traversent cette section pendant une durée Δt déterminée.



L'intensité I est définie par : $I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$ $\left\{ \begin{array}{l} \Delta q \text{ représente la charge en Coulomb [C]} \\ \text{charge d'un électron: } -e = 1,6 \times 10^{19} \text{ coulomb} \\ \Delta t \text{ représente la durée en seconde [s]} \end{array} \right.$

L'intensité I s'exprime en Ampère [A].

L'intensité I est une grandeur algébrique (elle peut être positive ou négative).

Exemple : $I_1 = 3\text{A}$ et $I_2 = -10\text{ mA}$.

1.2. Sens conventionnel du courant :

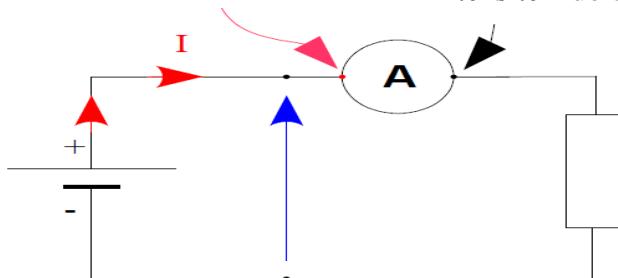
Par convention, le courant électrique sort de la borne positive du générateur vers la borne négative.

1.3. Mesure de l'intensité électrique :

Pour mesurer l'intensité I , on doit placer un ampèremètre **en série** dans le montage. Un ampèremètre ne perturbe pas le montage; c'est-à-dire qu'il se comporte comme un fil conducteur.

La borne (●) par laquelle l'intensité \mathbf{I} doit entrer

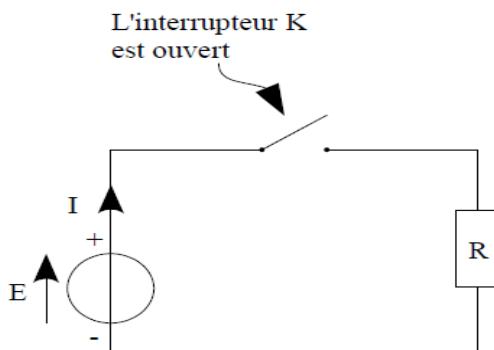
La borne (●) par laquelle l'intensité \mathbf{I} doit sortir



1.4. Circuit électrique :

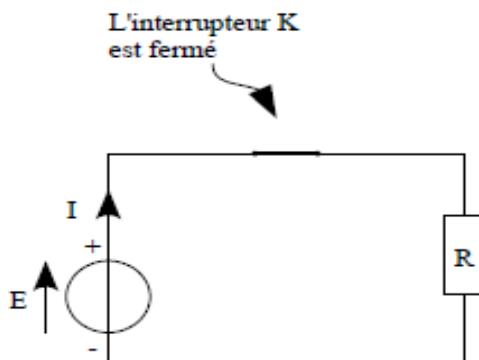
Un courant électrique ne peut s'établir que dans un circuit fermé. Celui-ci doit au moins contenir un générateur électrique et un récepteur reliés entre-eux par des conducteurs (fils).

a). **Circuit ouvert**: On dit qu'un circuit est ouvert lorsqu'il n'y a pas de circulation de courant dans le montage.



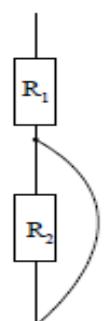
L'interrupteur K étant ouvert, le courant I ne peut pas traverser la résistance R; c'est un circuit ouvert.
 $I = 0$.

b). **Circuit fermé**: On dit qu'un circuit est fermé lorsque le courant peut circuler dans le montage.



L'interrupteur K est fermé, le courant I peut traverser la résistance R; c'est un circuit fermé.

c). **Court-circuit** : Un court-circuit est la mise en contact directe des deux bornes d'un dipôle.



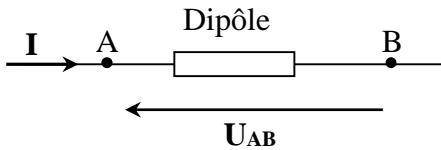
La résistance R_2 est court-circuitée.

Le schéma est équivalent à



1.5. Dipôle

Un dipôle est un circuit accessible par deux bornes A et B, il peut être caractérisé par, un courant **I** qui le traverse et la tension **U**, entre ses bornes.



I : courant électrique circulant de A à B.

U_{AB} = V_A - V_B : tension (différence de potentiel / ddp) entre A et B, s'exprime en **volt (V)**.

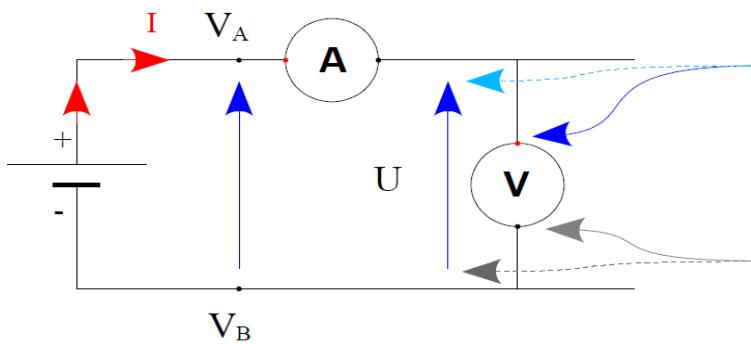
- La **caractéristique** d'un dipôle est la relation entre **U** et **I**, elle est écrite sous la forme **U (I)**.
- Un dipôle peut être un récepteur ou un générateur :

récepteur	les flèches du courant et de la tension sont en sens inverse	
générateur	les flèches du courant et de la tension sont dans le même sens	

1.6. Mesure de la tension électrique

On mesure la tension électrique avec un voltmètre placé en parallèle (ou dérivation) aux bornes du dipôle dont on veut mesurer la tension électrique.

Le voltmètre, placé en parallèle ne modifie pas les caractéristiques du montage.



La borne (●) représente l'extrémité de la tension fléchée (le potentiel haut).

La borne (●) représente le potentiel bas.

1.7. Régimes électriques

Un circuit électrique linéaire est alimenté par des générateurs. Il existe deux types de sources (générateurs) continues et alternatives :

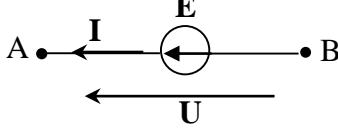
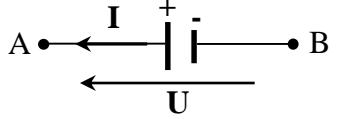
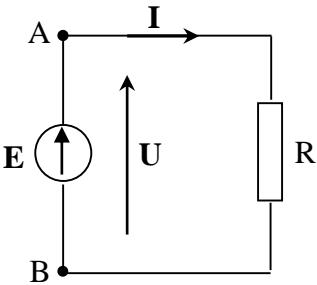
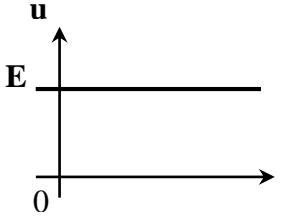
- **Régime continu (statique)** : les grandeurs électriques (tensions et courant) sont invariantes dans le temps.
- **Régime variable (dynamique)** : les grandeurs électriques évoluent dans le temps, les sources sont dites alternatives.

1.8. Générateurs de tension et courant en régime continu

1.8.1. Générateur de tension idéal

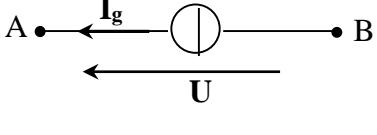
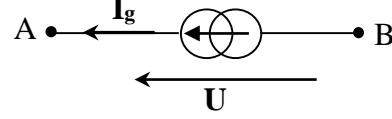
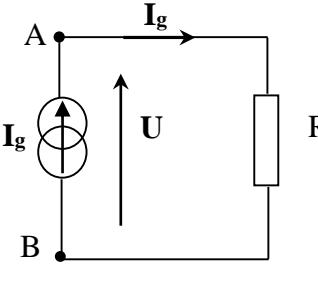
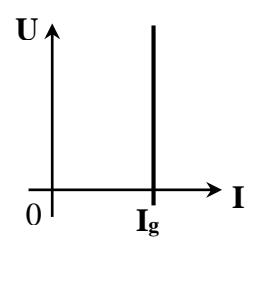
Un générateur (source) de tension continue est un dipôle capable d'imposer une tension à ses bornes constante quelle que soit l'intensité du courant qui le traverse. Ses deux représentations sont :

E : est la force électromotrice du générateur (f.e.m)

représentations	dans un circuit	la caractéristique
 		

1.8.2. Générateur de courant idéal

Un tel générateur délivre un courant, indépendant de la tension présente à ses bornes. Ses deux représentations sont :

représentations	dans un circuit	la caractéristique
 		

1.8.3. Générateur de tension réel (ohmique)

Dans la réalité, les générateurs ne sont pas parfaits et on considère qu'un modèle plus proche de la réalité consiste à associer un générateur de tension idéal en série avec une résistance. Cette résistance est appelée « résistance interne » du générateur.

représentation	dans un circuit	la caractéristique

L'équation de la caractéristique : $U = E - r I$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{E : est la force électromotrice du générateur (f.e.m)} \\ \text{r : la résistance interne} \end{array} \right.$

1.8.4. Générateur de courant réel (ohmique)

Dans ce cas, on associe un générateur de courant idéal en parallèle avec une résistance.

représentations	dans un circuit	la caractéristique

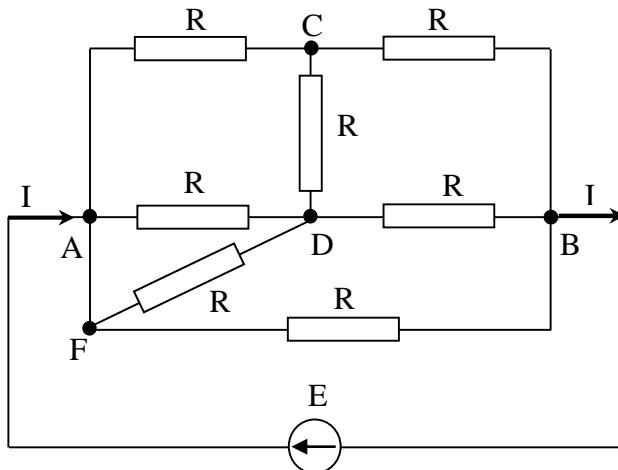
L'équation de la caractéristique du générateur de courant réel est : $I = I_s - \frac{U}{\rho}$

2. Réseaux électriques linéaires en régime continu

2.1. Réseau électrique linéaire

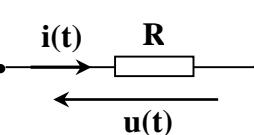
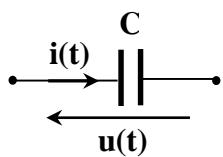
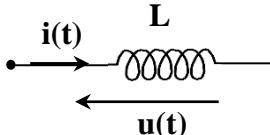
Un réseau électrique linéaire est une association d'éléments passifs (résistances, condensateurs et inductances) et d'éléments actifs (générateurs de tension et de courant), connectés entre eux par des conducteurs supposés sans résistance (parfaits).

- On appelle **nœud** d'un réseau, un point du circuit où aboutissent au moins trois conducteurs (A, B, C...)
- Une **branche** du réseau est une portion de circuit, situé entre deux nœuds consécutifs (AC, AD, CB, ...)
- Une **maille** est une boucle fermée délimitée par des branches du réseau électrique (ACDA), (CBDC) ...

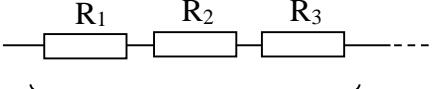
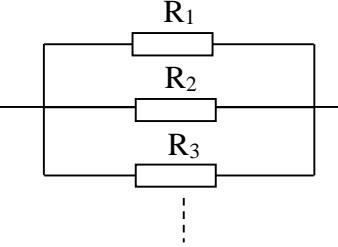
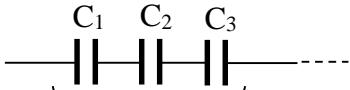
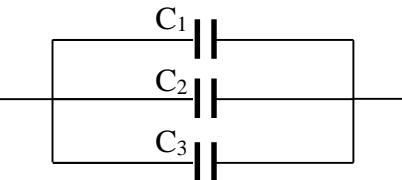


2.2. Dipôles passifs linéaires

Trois dipôles passifs sont couramment utilisés dans les circuits électriques.

Dipôle passif	Loi fondamentale	Représentation	En régime continu
<ul style="list-style-type: none"> Résistance R (Ω) Conductance $G=1/R$ (S) [siemens : (Ω^{-1})] 	$u(t)=R.i(t)$ $i(t)=G.u(t)$ (Loi d'Ohm)		u et i sont constants : <ul style="list-style-type: none"> $U=R I$ $P(t)=U.I=R.I^2=U^2/R$ en watt (W)
<ul style="list-style-type: none"> Condensateur <p>C : Capacité (F / Farad)</p>	$i(t)=C \cdot \frac{d u(t)}{d t}$		u est constante et i est nul : <ul style="list-style-type: none"> le condensateur est un interrupteur ouvert.
<ul style="list-style-type: none"> Inductance <p>L : inductance de la bobine (H / Henry)</p>	$u(t)=L \cdot \frac{d i(t)}{d t}$		i est constant et u est nulle : <ul style="list-style-type: none"> la bobine parfaite est équivalente à un fil.

2.3. Groupement des dipôles passifs

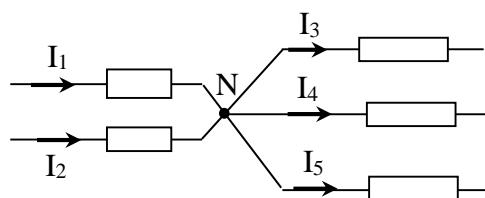
Dipôle	Groupement en série	Groupement en parallèle
Résistance	 $R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$	 $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$ $G_{eq} = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$
Condensateur	 $\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$	 $C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$
Inductance	<p>Les inductances vérifient les mêmes règles d'association que les résistances, à condition qu'il n'existe aucun couplage entre elles.</p>	

2.4. Lois de Kirchhoff

2.4.1. Loi de Kirchhoff des nœuds

La première loi de Kirchhoff est la loi des nœuds : La somme des intensités des courants entrants dans un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui en sortent.

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

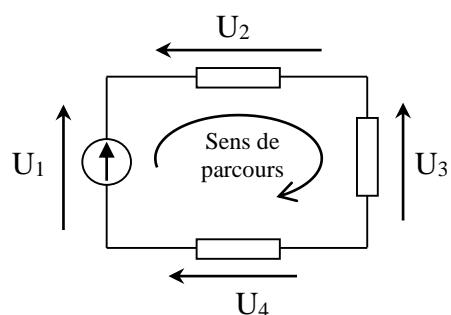


2.4.2. Loi de Kirchhoff des mailles

La deuxième loi de Kirchhoff stipule : La somme algébrique des différences de potentiel (ou tension) le long d'une maille quelconque est nulle :

$$U_1 - U_2 - U_3 + U_4 = 0$$

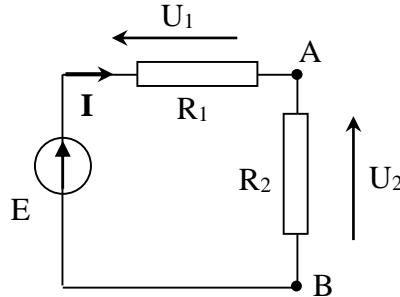
Toutes les tensions U_i sont orientées en fonction du sens de parcours sur la maille.



2.5. Théorèmes fondamentaux

2.5.1. Pont diviseur de tension

- Le schéma d'un pont diviseur de tension est donné à la figure suivante :



- Il s'agit d'une application directe de la mise en série de deux résistances :

$$E = U_1 + U_2 = R_1 I + R_2 I \quad \text{d'où} \quad I = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

La tension aux bornes de la résistance R_2 vaut :

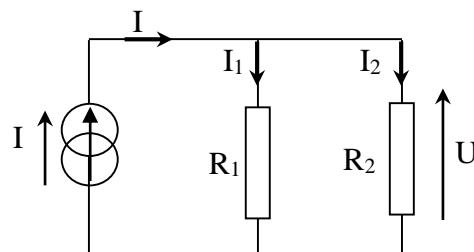
$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} E$$

- D'une façon générale, la tension aux bornes d'une résistance placée dans un circuit comportant n résistances **en série**, alimenté par une source de tension E est :

$$U_i = \frac{R_i}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} E$$

2.5.2. Pont diviseur de courant

- Le schéma d'un pont diviseur de courant est donné à la figure suivante (résistances en parallèle) :



- Appelons U la différence de potentiel qui se trouve aux bornes des différents éléments en parallèle, nous obtenons :

$$U = R_2 I_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} I \quad \text{d'où} \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

- Si maintenant, nous divisons le numérateur et le dénominateur par le produit ($R_1 R_2$), nous

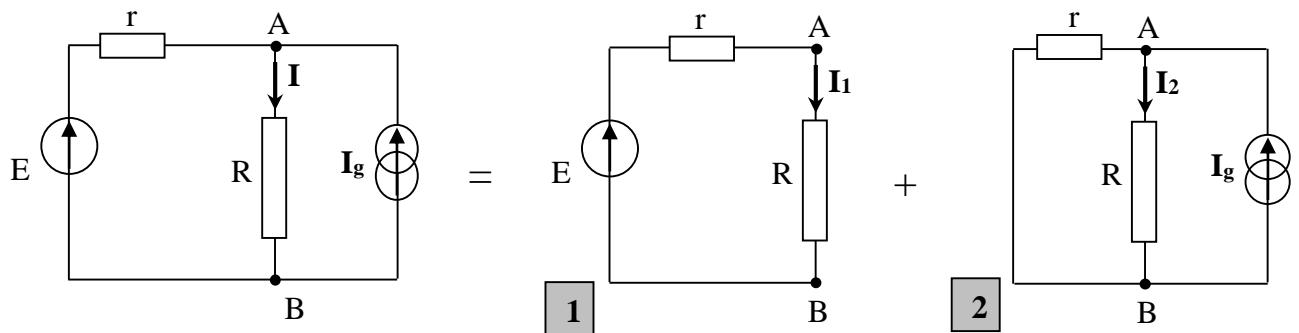
obtenons la relation suivante : $I_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} I$

- D'une façon générale, le courant traversant une résistance R_i placée dans un circuit comportant n résistances en parallèle, alimenté par une source idéale de courant I , est :

$$I_i = \frac{G_i}{G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n} I$$

2.5.3. Théorème de superposition

Prenons par exemple le montage de la figure suivante (circuit alimenté par deux sources indépendantes) :



- montage 1** : la source de courant I_g étant neutralisée, le générateur (E, r) débite un courant I_1 dans la branche AB du circuit : $I_1 = \frac{E}{(R+r)}$
- montage 2** : le générateur (E, r) étant neutralisé (remplacé par sa résistance interne), la source de courant activait seule. Le courant dans la résistance R serait I_2 : $I_2 = \frac{r}{(R+r)} I_g$

Le courant \mathbf{I} dans la branche AB dû à la contribution des deux sources sera : $\mathbf{I} = \mathbf{I}_1 + \mathbf{I}_2$

$$I = I_1 + I_2 = \frac{E + I_g r}{(R+r)}$$

2.5.4. Théorèmes de Thévenin et de Norton

2.5.4.1. Théorème de Thévenin

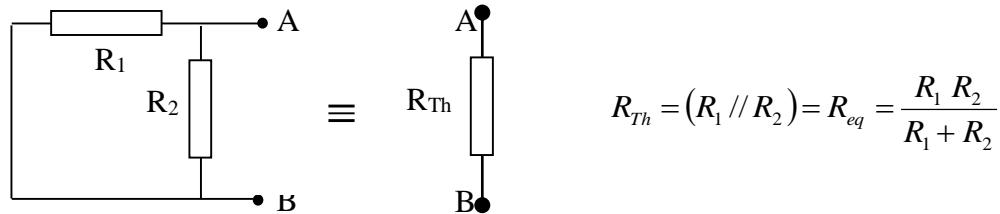
Il est possible de remplacer une portion de réseau électrique linéaire, considérée entre deux bornes A et B, par un **générateur de tension**, dit « **générateur de Thévenin** », ayant les caractéristiques suivantes :

- Sa résistance interne R_{Th} (résistance de Thevenin) est la résistance équivalente entre les bornes A et B lorsque chaque générateur indépendant est passivé (remplacé par sa résistance interne).
- Sa f.e.m E_{Th} est la tension mesurée entre A et B à vide (le dipôle n'est pas connecté à d'autres éléments externes)

Prenons par exemple le montage de la figure suivante :



- La résistance \mathbf{R}_{Th} est obtenue en passivant la source de tension E :



- La tension \mathbf{E}_{Th} est la tension obtenue entre A et B (tension aux bornes de R_2) :

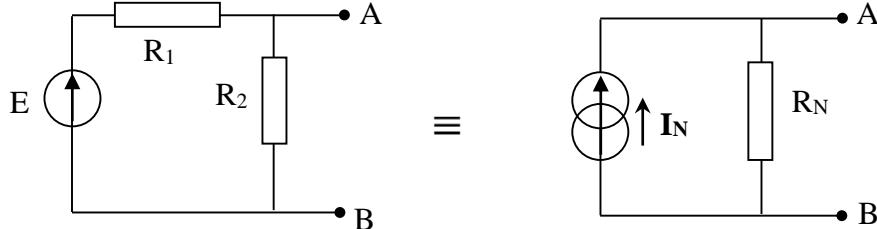


2.5.4.2. Théorème de Norton

Il est possible de remplacer une portion de réseau électrique, considérée entre deux bornes A et B, par un **générateur de courant**, dit « *générateur de Norton* », ayant les caractéristiques suivantes :

- Sa résistance interne \mathbf{R}_N (résistance de Norton) est la résistance équivalente entre les bornes A et B lorsque chaque générateur indépendant est passivé (remplacé par sa résistance interne).
- Son courant \mathbf{I}_N est égal à l'intensité de court-circuit lorsque l'on relie les points A et B par un fil.

Prenons par exemple le montage de la figure suivante :



- La résistance \mathbf{R}_N est obtenue en passivant la source de tension E : $R_N = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
- Le courant \mathbf{I}_N est le courant obtenu en court-circuitant la résistance R_2 : $I_N = \frac{E}{R_1}$

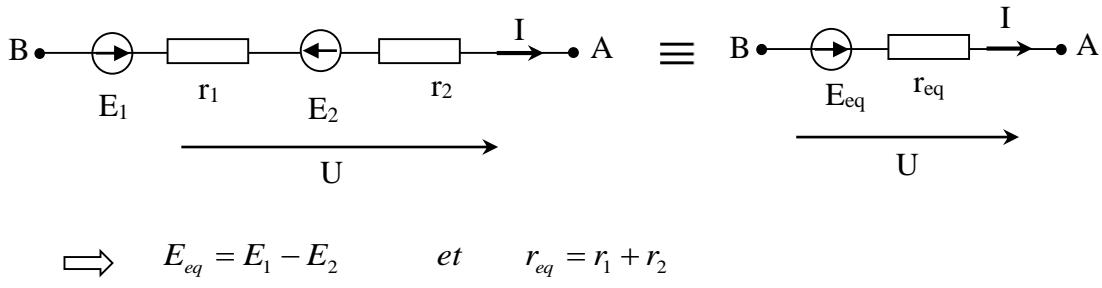
Remarque : Le passage du modèle d'un générateur de Thévenin à celui d'un générateur de Norton conduit à trouver : $R_{Th} = R_N$ et $I_N = \frac{E_{Th}}{R_{Th}}$

2.5.5. Association des générateurs de tension en série

Le dipôle équivalent à l'association en série de **n** générateurs de tension de résistances internes r_k et de force électromotrice E_k est un générateur de tension unique, dont :

- la résistance équivalente est $r_{eq} = \sum_{k=1}^n r_k$;
- la force électromotrice équivalente est $E_{eq} = \sum_{k=1}^n E_k$.

Exemple :

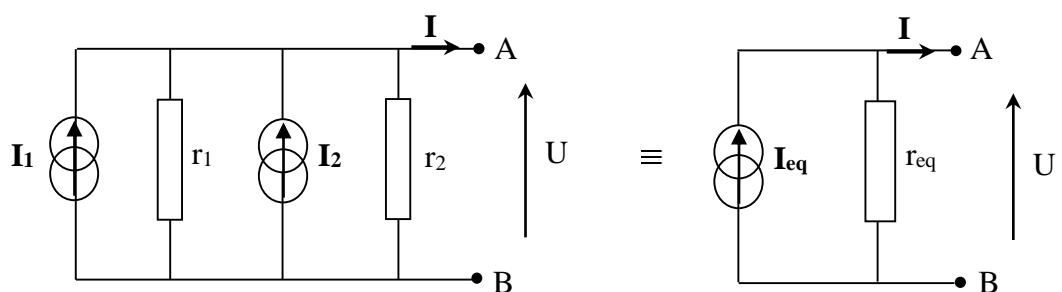


2.5.6. Association des générateurs de courant en parallèle

Le dipôle équivalent à l'association en parallèle de **n** générateurs de courant de résistances internes r_k et de courant I_k est un générateur de courant unique, dont :

- la conductance équivalente est : $G_{eq} = \sum_{k=1}^n G_k$;
- le courant équivalent est égal à : $I_{eq} = \sum_{k=1}^n I_k$

Exemple :



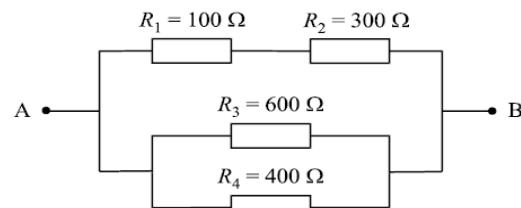
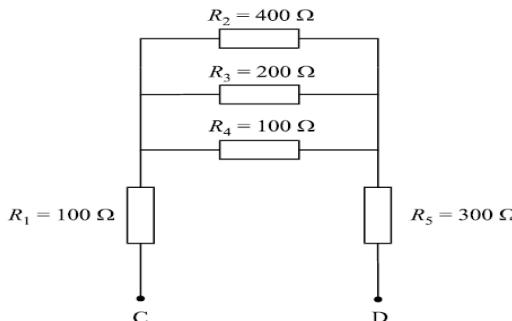
$$I_{eq} = I_1 + I_2$$

$$\Rightarrow G_{eq} = \frac{1}{r_{eq}} = G_1 + G_2$$

TD N° 1 : Réseaux électriques en régime continu

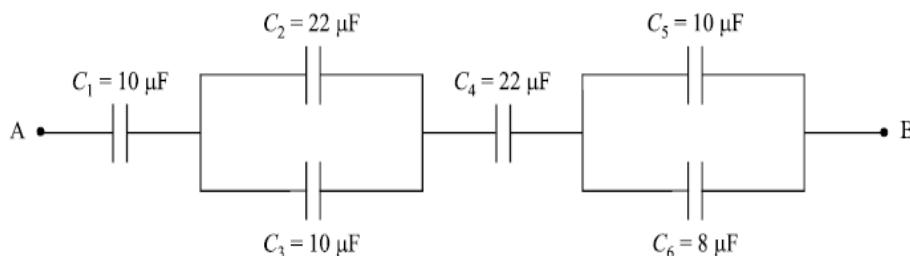
Exercice 1 :

Déterminer la résistance équivalente R_{eq} des dipôles représentés sur les figures suivantes :



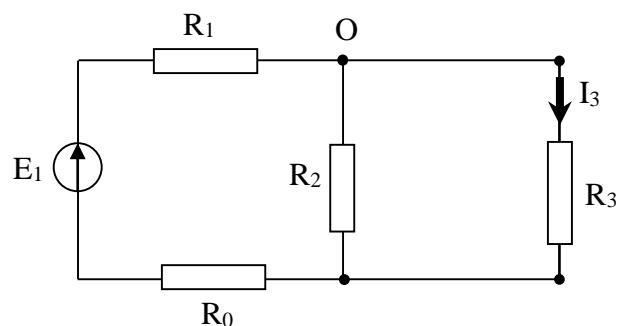
Exercice 2 :

Calculer la capacité équivalente du dipôle AB représenté sur la figure ci-dessous :



Exercice 3 :

Déterminer l'intensité du courant I_3 circulant à travers la résistance R_3 , en utilisant les Lois de Kirchhoff.



Application numérique :

$$E_1 = 20 \text{ V} ;$$

$$R_0 = R_1 = R_3 = 10 \Omega ; R_2 = 20 \Omega .$$

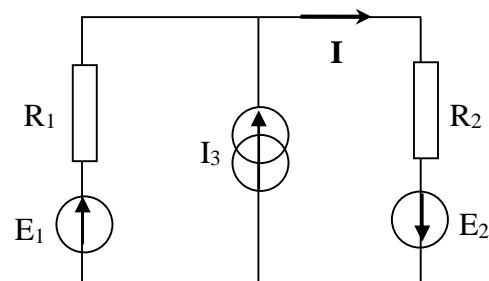
Exercice 4 :

Déterminer le courant I circulant dans la résistance R_2 en appliquant le principe de superposition :

Application numérique :

$$E_1 = 10 \text{ V} ; E_2 = 20 \text{ V} ; I_3 = 0.1 \text{ A}$$

$$R_1 = 10 \Omega ; R_2 = 5 \Omega .$$

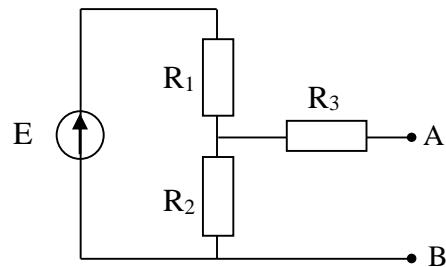


Exercice 5 :

1. Déterminer le schéma équivalent de Thévenin du circuit suivant vu des bornes A et B
2. Déterminer le schéma équivalent de Norton du circuit suivant vu des bornes A et B.

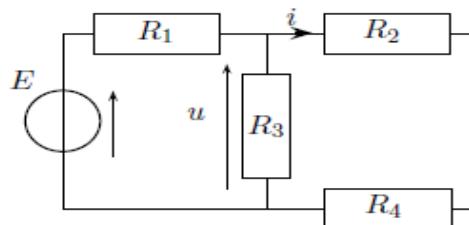
Application numérique :

$$R_1 = 1\Omega \quad ; \quad R_2 = 2\Omega \quad ; \quad R_3 = 3\Omega \quad ; \quad E = 2V$$

**Exercice 6 :**

Déterminer, pour le circuit ci-contre, l'intensité \mathbf{i} qui traverse la résistance R_2 et la tension \mathbf{u} aux bornes de la résistance R_3 :

- 1) en faisant des associations de résistances et en appliquant le pont diviseur de tension.
- 2) en faisant une transformation Thévenin → Norton et en appliquant le pont diviseur de courant.



Données : $E = 6 \text{ V}$, $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = R_3 = R_4 = 50 \Omega$