



## Lois et principes généraux de l'électricité

### Compétences de base : Loi d'ohm, Loi des mailles, loi des nœuds, diviseur de tension, association de dipôles

#### *Conventions*

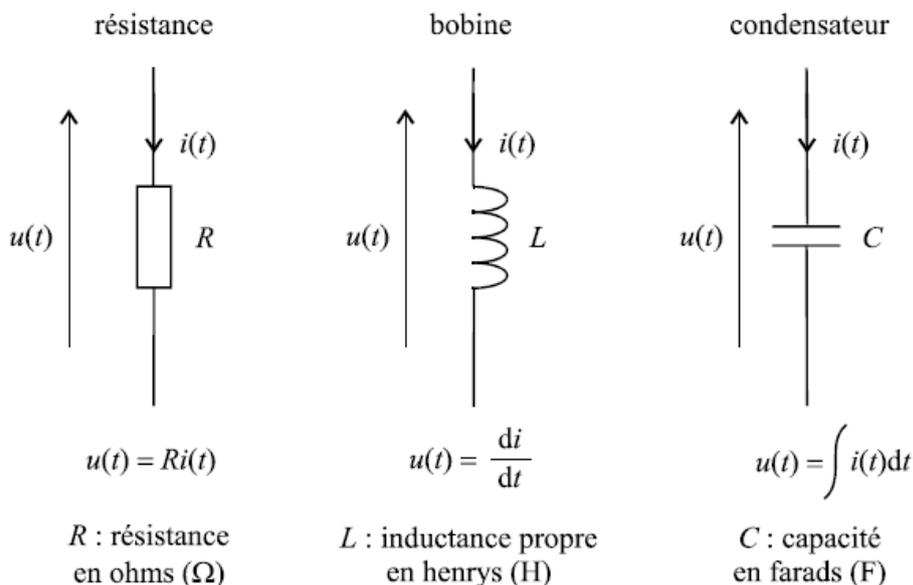
Par convention, nous dirigerons systématiquement les flèches des courants et des tensions dans le même sens pour le générateur (convention générateur), et en sens contraires pour tout récepteur (convention récepteur).

En règle générale, un circuit comprend un seul générateur. Toutefois, certains peuvent en contenir plusieurs. Dans ce cas, si un générateur est considéré comme appartenant à la partie réceptrice du circuit, c'est la convention récepteur qui sera utilisée.

#### *Dipôles passifs linéaires*

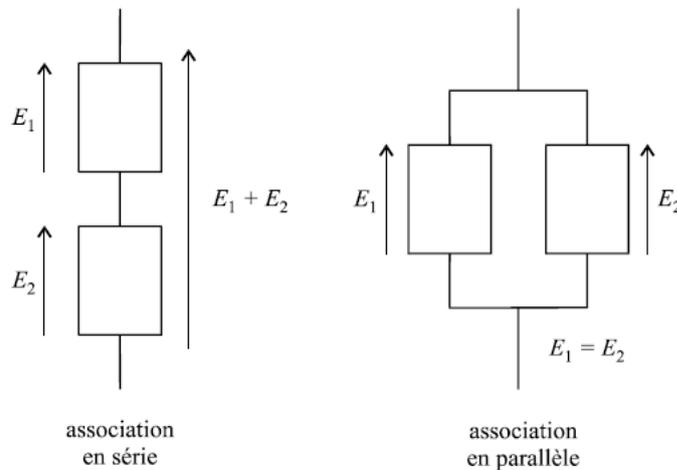
Trois dipôles passifs sont couramment utilisés dans les circuits électriques. Ils ont la particularité de posséder un fonctionnement qui s'exprime sous la forme d'une équation différentielle simple, linéaire, à coefficients constants. L'équation de fonctionnement d'un dipôle lie la tension à ses bornes et le courant qui le traverse. En supposant que, dans le cas le plus général, ces deux grandeurs sont variables dans le temps, les lois de fonctionnement des trois dipôles passifs usuels sont présentées sur la figure.

En supposant que, dans le cas le plus général, ces deux grandeurs sont variables dans le temps, les lois de fonctionnement des trois dipôles passifs usuels sont présentées ci-dessous:



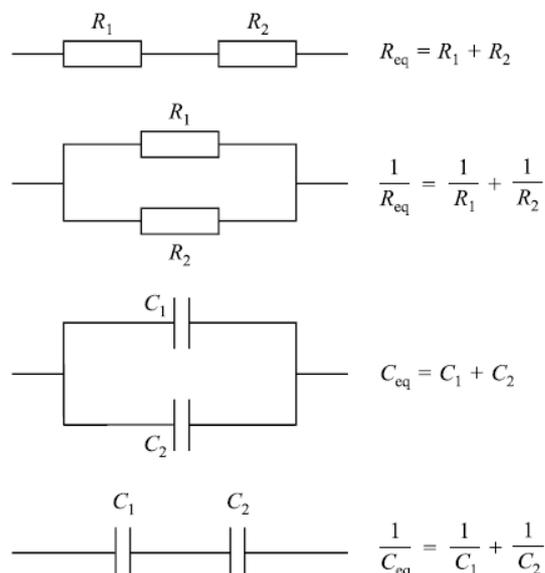
### Associations de dipôles

Deux dipôles quelconques sont dits associés en série si une des bornes de l'un est relié à une des bornes de l'autre, l'ensemble formant un nouveau dipôle. Ils sont dits associés en parallèle si les paires de bornes sont connectées deux à deux.



Dans le cas de l'association en série, les deux dipôles sont parcourus par le même courant. La tension totale aux bornes de l'ensemble est égale à la somme des deux différences de potentiel aux bornes de chacun des deux dipôles. Dans le cas de l'association en parallèle, la même différence de potentiel règne aux bornes de chacun des deux dipôles.

En associant des résistances on forme un dipôle qui se comporte comme une résistance, dont la valeur est appelée résistance équivalente. Il en est de même en associant des condensateurs. La figure suivante présente quelques associations



usuelles très simples. On remarquera que les règles d'associations des résistances et celles d'associations des condensateurs se trouvent inversées.

### **Régimes électriques**

Selon la forme de la tension (ou du courant) délivrée par le générateur qui alimente un circuit, on dit que ce circuit fonctionne selon un certain régime :

- s'il délivre une tension constante, le circuit fonctionne en régime continu. Les grandeurs continues seront notées avec des lettres majuscules (E pour une tension par exemple).
- s'il délivre une tension variable au cours du temps, nous serons dans le cas d'un régime variable et on désignera les grandeurs par des lettres minuscules :  $e(t)$ , par exemple.
- si la tension délivrée est sinusoïdale :  $e(t) = E_0 \cdot \cos \omega t$ , le régime sera dit sinusoïdal ou harmonique.

Les régimes continus et sinusoïdaux font partie des régimes dits permanents ou établis. Souvent, les régimes variables surviennent lorsqu'un circuit passe d'un état permanent à un autre. On parle alors de régimes transitoires. Dans un circuit en régime continu, les tensions et courants dans le circuit sont en général continus. Dans un circuit en régime sinusoïdal, tensions et courants sont tous sinusoïdaux, de même fréquence que la source de tension, mais présentant a priori des déphasages.

### **Lois de Kirchhoff en régime continu**

Réseau électrique : Toute association simple ou complexe de dipôles interconnectés, alimentée par un générateur.

Branche : Partie dipolaire d'un réseau parcourue par un même courant.

Nœud d'un réseau : Tout point du réseau commun à plus de deux branches.

Maille d'un réseau. : Tout chemin constituant une boucle et formé de plusieurs branches. Dans le schéma de la figure suivante, l'association de  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  et  $R_5$  formant le dipôle AC constitue un réseau électrique alimenté par le générateur de tension E. A, B, C et D sont les nœuds de ce réseau. Le schéma montre trois mailles. Il en existe d'autres, par exemple, en partant du point A, on peut définir une maille qui comprend  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_5$ , qui passe par D, puis C et qui rejoint A en incluant  $R_1$ .

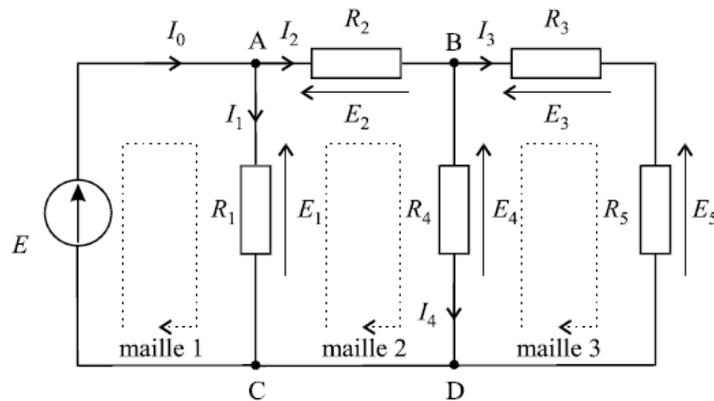
### **Loi des nœuds (première loi de Kirchhoff)**

La somme des courants se dirigeant vers un nœud est égale à la somme des courants qui sortent de ce nœud. Ou encore : la somme algébrique des courants dirigés vers un nœud d'un circuit est nulle (en comptant positivement les courants dirigés vers le nœud et en comptant négativement ceux qui en sortent). Cette loi

exprime le fait qu'il ne peut pas y avoir accumulation de charges en un point quelconque d'un conducteur du réseau. Dans notre exemple, on pourra écrire

$$I_0 = I_1 + I_2$$

$$I_2 = I_3 + I_4$$



### Loi des mailles (deuxième loi de Kirchhoff)

La somme algébrique des différences de potentiel le long d'une maille, obtenue en parcourant la maille dans un sens donné, est nulle. Les différences de potentiel orientées dans le même sens que le sens de parcours de la maille sont comptées positivement. Les différences de potentiel orientées dans le sens opposé au sens de parcours de la maille sont comptées négativement. Ainsi, dans notre exemple :

$$\text{Maille 1 : } E - E_1 = 0$$

$$\text{Maille 2 : } E_1 - E_2 - E_4 = 0$$

$$\text{Maille 3 : } E_4 - E_3 - E_5 = 0$$

Ces lois de Kirchhoff sont présentées ici en régime continu (lettres majuscules pour les tensions et les courants). En réalité, elles restent valables quel que soit le régime. Comme ces lois de Kirchhoff, la plupart des résultats présentés dans ce rappel de cours sont également valables quel que soit le régime.

Toutefois, les exercices qui suivent ne concernent que des circuits en régime continu.

QCM :

1. Un générateur de tension parfait  $E = 10 \text{ V}$  alimente une résistance  $R = 100 \Omega$ . Le courant  $I$  sortant par la borne positive du générateur a pour valeur :

- a.  $I = -100 \text{ mA}$
- b.  $I = -10 \text{ A}$
- c.  $I = 100 \text{ mA}$

- d.  $I = 10 \text{ A}$
2. Lorsque deux résistances sont associées en parallèle, la résistance équivalente à cette association est toujours :
- a. supérieure à la valeur la plus élevée des deux résistances.
- b. inférieure à la valeur la plus faible des deux résistances.
- c. inférieure à la valeur la plus élevée des deux résistances.
- d. supérieure à la valeur la plus faible des deux résistances.
3. Un générateur de tension parfait  $E = 10 \text{ V}$  alimente une résistance  $R$  réglable. On veut que le courant débité par le générateur soit égal à  $I = 50 \text{ mA}$ . À quelle valeur faut-il régler la résistance ?
- a.  $R = 200 \Omega$
- b.  $R = 20 \Omega$
- c.  $R = 500 \Omega$
- d.  $R = 50 \Omega$
4. Un générateur de tension parfait  $E = 10 \text{ V}$  est placé aux bornes d'un condensateur de capacité  $C = 10 \mu\text{F}$ . Soit  $U$  la tension aux bornes du condensateur et  $I$  le courant qui le traverse. On a :
- a.  $U = 10 \text{ V}$  et  $I = 0 \text{ A}$ .
- b.  $U = 0 \text{ V}$  et  $I = 0 \text{ A}$ .
- c.  $U = 10 \text{ V}$  et  $I = 0,1 \text{ mA}$ .
- d.  $U = 0 \text{ V}$  et  $I = 0,1 \text{ mA}$ .
5. Un générateur de tension parfait  $E = 10 \text{ V}$  est placé aux bornes d'une bobine d'auto-inductance  $L = 5 \text{ mH}$ . Soit  $U$  la tension aux bornes de la bobine et  $I$  le courant qui la traverse. On a :
- a.  $U = 10 \text{ V}$  et  $I = 0 \text{ A}$ .
- b.  $U = 0 \text{ V}$  et  $I \rightarrow \infty$ .
- c.  $U = 10 \text{ V}$  et  $I \rightarrow \infty$ .
- d.  $U = 0 \text{ V}$  et  $I = 0 \text{ A}$ .
6. Un générateur de tension parfait  $E = 10 \text{ V}$  est placé aux bornes de l'association série d'une résistance  $R = 100 \Omega$  et d'une bobine d'auto-inductance  $L = 5 \text{ mH}$ . Soit  $U_L$  la tension aux bornes de la bobine,  $U_R$  la tension aux bornes de la résistance et  $I$  le courant qui traverse l'ensemble. On a :

- a.  $U_R = 10 \text{ V}$ ,  $U_L = 0 \text{ V}$  et  $I = 0 \text{ A}$ .
- b.  $U_R = 0 \text{ V}$ ,  $U_L = 10 \text{ V}$  et  $I = 100 \text{ mA}$ .
- c.  $U_R = 0 \text{ V}$ ,  $U_L = 10 \text{ V}$  et  $I = 0 \text{ A}$ .
- d.  $U_R = 10 \text{ V}$ ,  $U_L = 0 \text{ V}$  et  $I = 100 \text{ mA}$ .

7. Un générateur de tension parfait  $E = 10 \text{ V}$  est placé aux bornes de l'association parallèle d'une résistance  $R = 100 \Omega$  et d'une bobine d'auto-inductance  $L = 5 \text{ mH}$ . Soit  $U_L$  la tension aux bornes de la bobine et  $I$  le courant débité par le générateur.

On a :

- a.  $U_L = 0 \text{ V}$  et  $I \rightarrow \infty$ .
- b.  $U_L = 0 \text{ V}$  et  $I = 100 \text{ mA}$ .
- c.  $U_L = 10 \text{ V}$  et  $I \rightarrow \infty$ .
- d.  $U_L = 10 \text{ V}$  et  $I = 100 \text{ mA}$ .

8. Un générateur de tension réel  $E = 10 \text{ V}$ ,  $r = 1 \Omega$  est placé aux bornes d'une résistance  $R$  variable. Soit  $U$  la tension aux bornes du générateur réel, c'est-à-dire de l'ensemble  $(E, r)$ . Laquelle de ces propositions est vraie ?

- a. Plus la valeur de  $R$  est faible plus la valeur de  $U$  augmente.
- b. Plus la valeur de  $R$  est faible plus la valeur de  $U$  diminue.
- c. Lorsque la valeur de  $R$  est voisine de celle de  $r$ , on a  $U = 0 \text{ V}$ .
- d. Lorsque  $R$  tend vers l'infini, on a  $U = 0 \text{ V}$ .

9. Un générateur de tension réel  $E = 10 \text{ V}$ ,  $r = 1 \Omega$  est placé aux bornes d'une résistance  $R = 9 \Omega$ .

Soit  $U$  la tension aux bornes de  $R$ . On a :

- a.  $U = 1 \text{ V}$ .
- b.  $U = 8 \text{ V}$ .
- c.  $U = 9 \text{ V}$ .
- d.  $U = 10 \text{ V}$ .

10. Un générateur de courant parfait alimente une résistance  $R$  quelconque. Une des propositions suivantes est fausse :

- a. La tension  $U$  aux bornes du générateur de courant est nulle.

- b. La tension  $U$  aux bornes du générateur de courant dépend du courant qu'il débite.
- c. La tension  $U$  aux bornes du générateur de courant dépend de la valeur de la résistance.
- d. Le courant dans la résistance est indépendant de la valeur de  $R$ .

11. Un générateur de courant parfait alimente deux résistances  $R_1 = 10 \Omega$  et  $R_2 = 10 \Omega$  placées en parallèle :

- a. Les deux résistances sont parcourues par le même courant et ce courant vaut  $I$ .
- b. Les deux résistances sont parcourues par le même courant et ce courant vaut  $I/2$ .
- c. La tension aux bornes du générateur de courant est nulle.
- d. La tension aux bornes du générateur de courant est indéterminée.

12. Un ensemble de résistances  $R_1 = 5 \Omega$ ,  $R_2 = 10 \Omega$  et  $R_3 = 20 \Omega$  est construit comme suit :  $R_2$  et  $R_3$  sont associées en parallèle et  $R_1$  est placé en série avec cette association. Le tout est alimenté par un générateur de tension parfait  $E = 10 \text{ V}$ .

Quelle est la valeur du courant  $I$  délivré par le générateur ?

- a.  $I = 350 \text{ mA}$
- b.  $I = 670 \text{ mA}$
- c.  $I = 860 \text{ mA}$
- d.  $I = 290 \text{ mA}$

### **Vrai ou Faux ?**

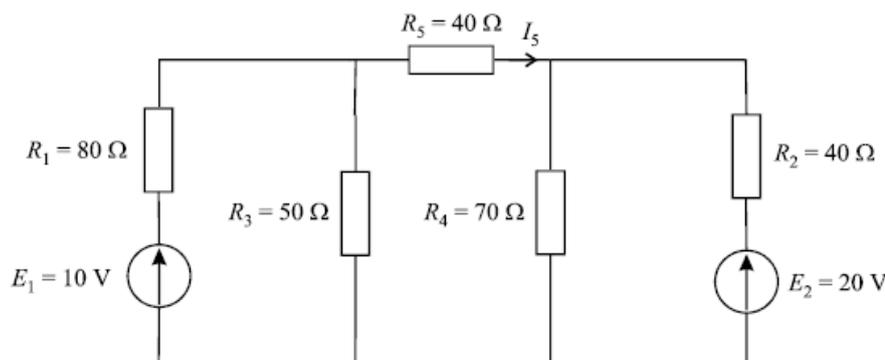
1. Un dipôle est dit linéaire si la tension à ses bornes et le courant qui le traverse sont proportionnels.
2. Le courant électrique circule positivement dans le sens opposé de celui des électrons.
3. La convention récepteur appliquée aux bornes d'un dipôle impose que tension et courant soient matérialisés par des flèches orientées dans le même sens.
4. En régime continu, une bobine est sans effet quelle que soit sa place dans le circuit.
5. En régime continu, un condensateur présente toujours une tension nulle à ses bornes.

6. Un générateur de tension parfait possède une résistance interne infinie.
7. Un générateur de courant parfait possède une résistance interne infinie.
8. Un condensateur chargé présente obligatoirement une tension non nulle à ses bornes.
9. Dans un circuit en régime sinusoïdal, tous les courants et tensions sont sinusoïdaux.
10. Dans un circuit alimenté par un générateur de tension, il ne peut y avoir que des tensions et des courants continus.
11. Deux résistances placées en série sont toujours parcourues par le même courant.
12. Deux condensateurs placés en parallèle sont toujours parcourus par le même courant.
13. Une bobine réelle possède toujours une résistance interne.
14. Un condensateur chargé ne peut perdre sa charge que si on le place aux bornes d'un circuit résistif.
15. La loi des nœuds résulte du fait qu'aucune charge électrique ne peut s'accumuler en un nœud d'un circuit.
16. Dans un circuit possédant 2 nœuds et 3 mailles, l'application des lois de Kirchhoff fournit un système de 5 équations distinctes.

### Exercices d'application

#### Exercice 1 : Calcul d'un courant dans un circuit à trois mailles alimenté par deux générateurs

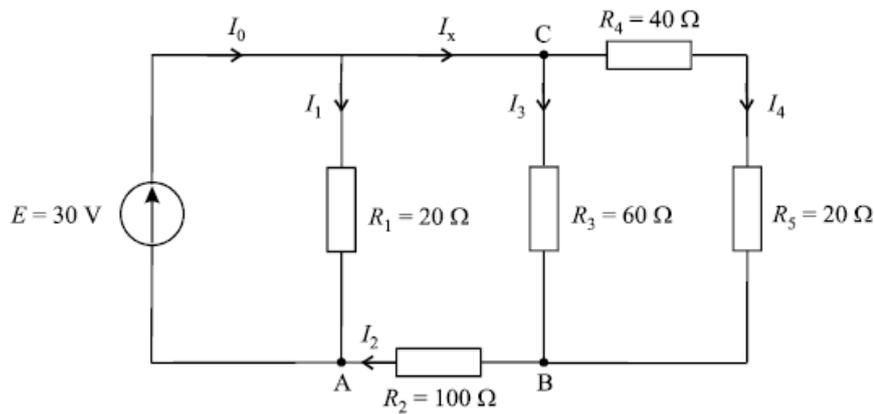
Déterminer le courant  $I_5$  qui parcourt la résistance  $R_5$



*Conseil méthodologique* Comme un seul courant est recherché, on veillera à ne pas se perdre dans le dédale d'équations données par l'application des lois de Kirchhoff. Placer les courants dans les différentes branches et remplacer tout de suite les tensions aux bornes des résistances par les expressions fournies par la loi d'Ohm.

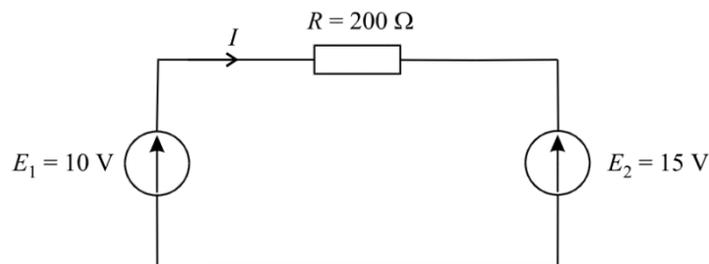
#### Exercice 2 : Calcul des courants dans un circuit à trois mailles

Déterminer tous les courants dans les diverses branches du circuit

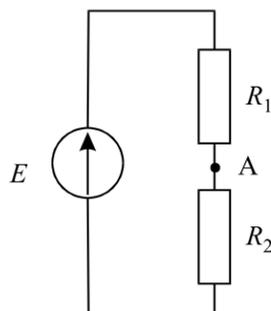


**Exercice 3 : Calcul du courant dans une résistance alimentée par deux générateurs**

Déterminer la valeur du courant I



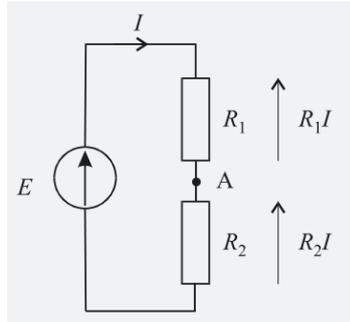
**Rappel du principe de diviseur de tension par un exemple :**



Déterminons le potentiel  $V_A$  du point A en fonction de  $E$ ,  $R_1$  et  $R_2$ .

Déterminons d'abord l'expression du courant qui circule dans les deux résistances.

Appelons  $I$  le courant qui parcourt le circuit et plaçons les tensions aux bornes des deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  en respectant la convention récepteur.



Le potentiel au point A est la tension  $R_2I$  puisque nous considérons comme référence de tension le potentiel de la borne négative du générateur.

$$V_A = R_2 \cdot I$$

Comme nous devons exprimer  $V_A$  en fonction de  $E$ ,  $R_1$  et  $R_2$ , il nous faut donc éliminer  $I$  c'est-à-dire l'exprimer en fonction des paramètres souhaités.

Dans le schéma de la figure, on lit :  $E = R_1I + R_2I$

$$\text{D'où : } I = \frac{E}{R_1 + R_2}$$

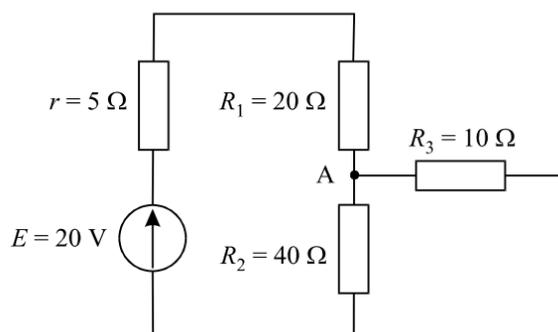
Il vient donc :

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

**Important : le résultat n'est valable que si le même courant parcourt les deux résistances.**

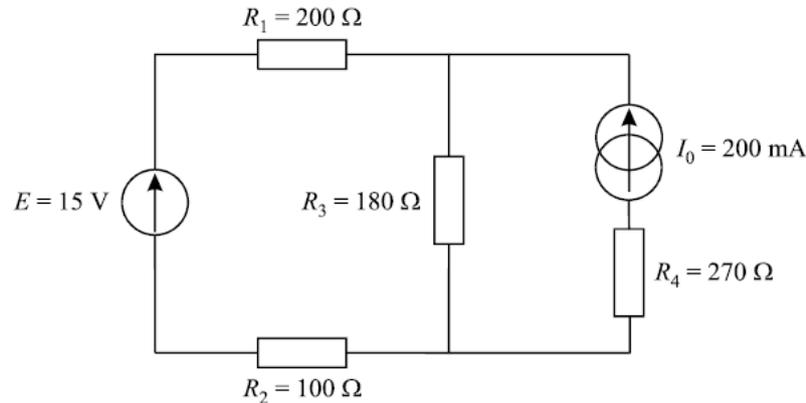
#### Exercice 4 : Application du principe du diviseur de tension

1. Déterminer le potentiel au point A sans utiliser les lois de Kirchhoff.
2. En déduire les courants dans les différentes branches du circuit
3. Vérifier alors la loi des nœuds au point A



**Exercice 5 :** Calcul des tensions dans un circuit alimenté par un générateur de tension et un générateur de courant

On cherche à déterminer les différences de potentiel aux bornes de chacune des quatre résistances.



1. Placer les différents courants dans le circuit ainsi que les différentes différences de potentiel en respectant les conventions générateur et récepteur.
2. Appliquer la deuxième loi de Kirchhoff dans les deux mailles du circuit afin d'obtenir deux équations liant les différentes tensions.
3. Écrire la loi d'Ohm aux bornes des résistances. En déduire l'expression et la valeur de la tension aux bornes de  $R_4$ .
4. Calculer l'expression du courant débité par le générateur  $E$ .
5. En déduire les expressions des tensions aux bornes de  $R_1$ ,  $R_2$  et  $R_3$ .
6. Calculer la valeur de la tension aux bornes du générateur de courant.