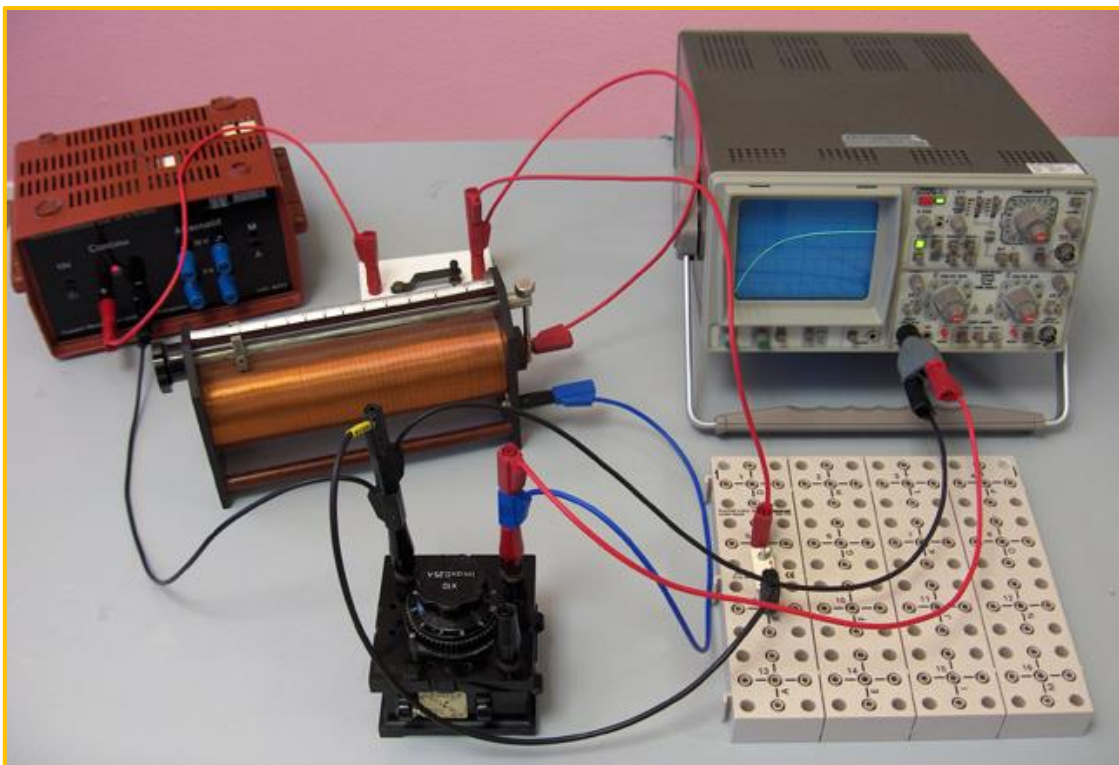


CM – Bases de l'Electricité

Chapitre 0.1 : Lois générales de l'Electrocinétique



I- Généralités :

1) Grandeurs électriques :

a) Le courant électrique :

Les charges électriques (électrons, trous, anions, cations, etc.), soumises à un champ électrique \vec{E} subissant des forces électrostatiques. Si le milieu le permet, elles se déplacent. Le courant électrique est un mouvement de charges.

L'intensité d'un courant à travers une surface S orientée est égale à la charge électrique qui traverse S par unité de temps :

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

(avec i (en Ampère (A), du nom de André – Marie Ampère (1775 – 1836)) et dq la charge élémentaire (en Coulomb (C), du nom de Charles – Augustin Coulomb (1736 – 1806)) traversant S pendant la durée élémentaire dt (en secondes (s))).

Certaines propriétés sont à retenir concernant le courant électrique :

- Il est impossible d'accumuler des charges dans un matériau conducteur. Dans un fil, le courant est alors le même partout.
- Si, dans un schéma électrique, le courant a été fléché dans un certain sens et qu'on le mesure (avec le sens supposé de A vers COM) avec un ampèremètre branché en série, le courant est positif si l'intensité du courant mesuré est positive et négative sinon.

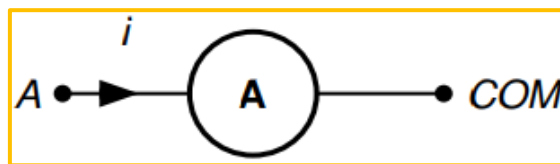


Figure 1 - Représentation schématique d'un ampèremètre mesurant un courant i entre ses deux bornes A et COM

b) La tension électrique :

Il existe en tout point de l'espace un potentiel électrique V (qui sera défini en Electrostatique). On appelle « tension électrique » la différence de potentiel (DDP) entre deux points A et B (en Volt (V)).

Par convention, la tension U_{AB} entre les points A et B se représente dans un schéma électrique par une flèche partant du point B et dirigée vers le point A :

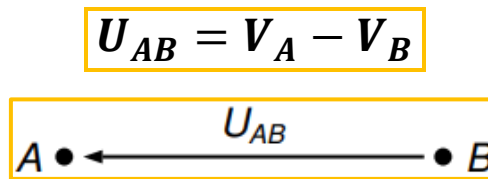


Figure 2 - Représentation de la tension U_{AB} entre deux points A et B

En pratique, pour mesurer la tension électrique, on utilise un voltmètre que l'on branche en parallèle. Si, dans un schéma électrique, la tension a été fléchée dans un certain sens et qu'on la mesure (avec le sens supposé de COM à V) avec un voltmètre, la tension est positive si la tension de mesure est positive et négative sinon.

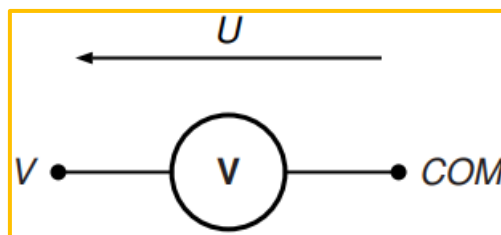


Figure 3 - Représentation schématique d'un voltmètre mesurant une tension U entre ses deux bornes COM et V

c) Courant et Tension – Ordres de grandeurs :

Les tableaux suivants répertorient différents dispositifs générant ou consommant du courant ou de la tension et les ordres de grandeurs associés.

Dispositif	Ordre de grandeur (A)	Dispositif	Ordre de grandeur (V)
Seuil de perception	0.001	Piles du commerce	1.5 ; 4.5 ; 9
LED commune	0.01	Batteries d'accumulateurs	6 ; 12 ; 24
Electrocution	0.1	Réseau de distribution E. D. F.	127 ; 230 ; 380
Ampoule à incandescence	1	Tension d'alimentation du TGV	25 000
Radiateur 2 000 W	10	Ligne de transport à haute tension	150 000 à 500 000
Démarrreur automobile	100	Alternateur de centrale électrique	5 000 à 25 000
Moteur de locomotive	1 000	Foudre entre ciel et terre pendant un orage	100 000 000 à 500 000 000
Eclair négatif	10 000		
Eclair positif	100 000		

2) Dipôles :

Un dipôle est un récepteur ou un générateur d'énergie électrique. Il est relié à l'extérieur par deux bornes. Le courant entrant par l'une est égal au courant sortant par l'autre.

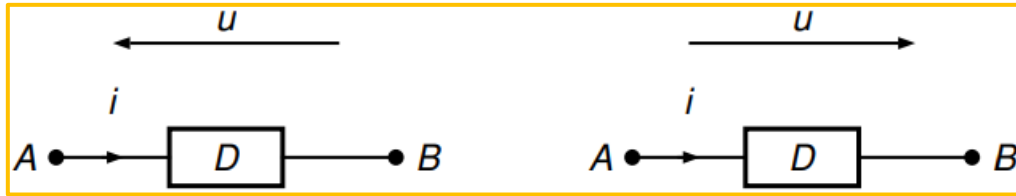


Figure 4 - Dipôle en convention récepteur (à gauche) et en convention générateur (à droite)

En convention récepteur, le courant i et la tension u sont fléchés dans le sens opposé l'un de l'autre. En convention générateur, le courant et la tension sont fléchés dans le même sens.

a) Les dipôles actifs :

Les dipôles actifs sont capables de fournir de l'énergie. On utilise généralement la convention « générateur ». On en dénombre deux :

- Le générateur de tension parfait, qui génère une tension e au circuit et qui, pour tout courant i :

$$u = e$$

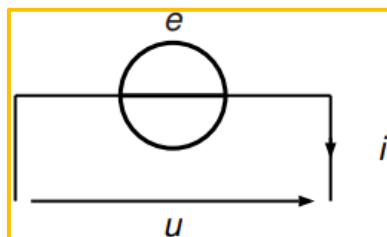


Figure 5 - Représentation schématique d'un générateur de tension parfait

- Le générateur de courant parfait, qui génère un courant j au circuit et qui, pour toute tension u :

$$i = j$$

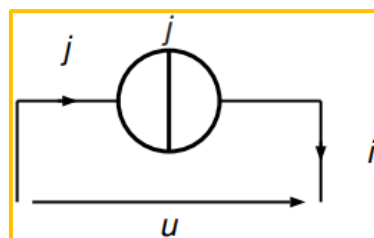


Figure 6 - Représentation schématique d'un générateur de courant parfait

b) Les dipôles passifs :

Les dipôles passifs sont incapables de fournir de l'énergie. On utilise généralement la convention « récepteur ». On en dénombre trois :

- La résistance, possédant une résistance R (en Ohm (Ω), du nom de Georg Ohm (1789 – 1854)) et dont la loi de fonctionnement est :

$$u = R i$$

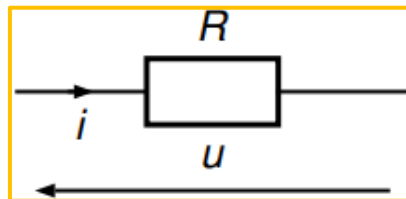


Figure 7 - Représentation schématique d'une résistance

- Le condensateur, possédant une capacité C (en Farad (F), tiré du nom de Michael Faraday (1791 – 1867)) et dont la loi de fonctionnement est :

$$i = C \frac{du}{dt}$$

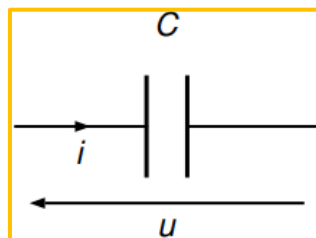


Figure 8 - Représentation schématique d'un condensateur

- L'inductance (ou bobine), d'inductance L (en Henry (H), du nom de Joseph Henry (1797 – 1878)) et dont la loi de fonctionnement est :

$$u = L \frac{di}{dt}$$

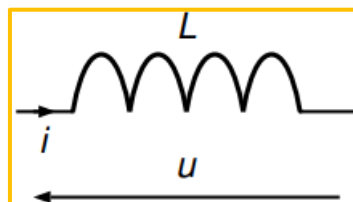


Figure 9 - Représentation schématique d'une inductance ou bobine

3) Régimes :

a) Régimes permanents :

Un régime est dit « permanent » si l'évolution de la tension $u(t)$ et du courant $i(t)$ est constante au cours du temps. Il existe deux régimes permanents :

- Le régime continu (aussi appelé « courant continu » (CC) ou « direct current » (DC) en Anglais), où les évolutions au cours du temps de la tension et du courant sont constantes :

$$u(t) = U = cste ; i(t) = I = cste$$

La puissance générée (en Watt (W), du nom de James Watt (1736 – 1819)) par ce régime, correspondant au produit de la tension et du courant, est donc aussi constante :

$$p(t) = u(t) i(t) = U I = P = cste$$

Les batteries, les piles et les cellules photo-électriques sont des exemples connus de générateurs continus.

- Le régime variable périodique (aussi appelé « courant alternatif » (CA) ou « alternative current » (AC) en Anglais), où la tension et le courant varient dans le temps, mais ce sont des signaux périodiques de période T et de fréquence f (en Hertz (Hz), du nom de Heinrich Hertz (1857 – 1894)), avec :

$$f = \frac{1}{T}$$

La puissance est elle aussi une variable dépendant du temps :

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

Les moteurs montés en génératrice, les dynamos, les transformateurs et les prises électriques sont des exemples de générateurs variables périodiques.

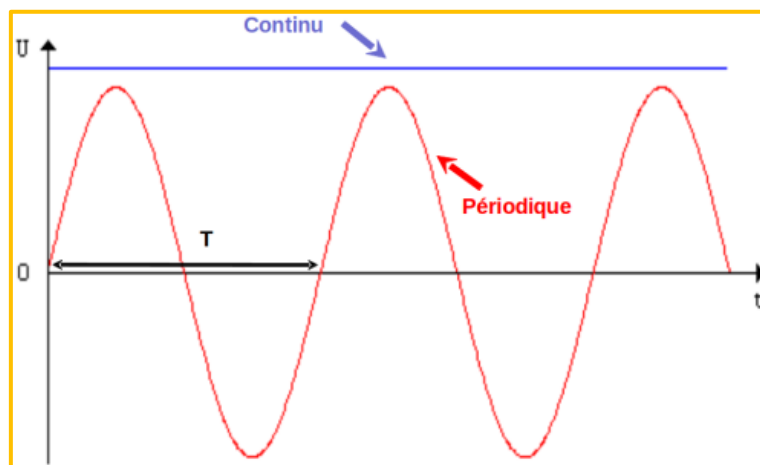


Figure 10 - Evolution au cours du temps de la tension d'un régime permanent continu (en bleu) et d'un régime variable périodique (en rouge)

b) Régimes transitoires :

Un régime est dit « transitoire » pour un régime d'évolution qui n'a pas encore atteint un état stable ou un régime permanent (continu ou périodique). Dans ce cas, les signaux $i(t)$ et $u(t)$ ne sont ni continus, ni variables périodiquement.

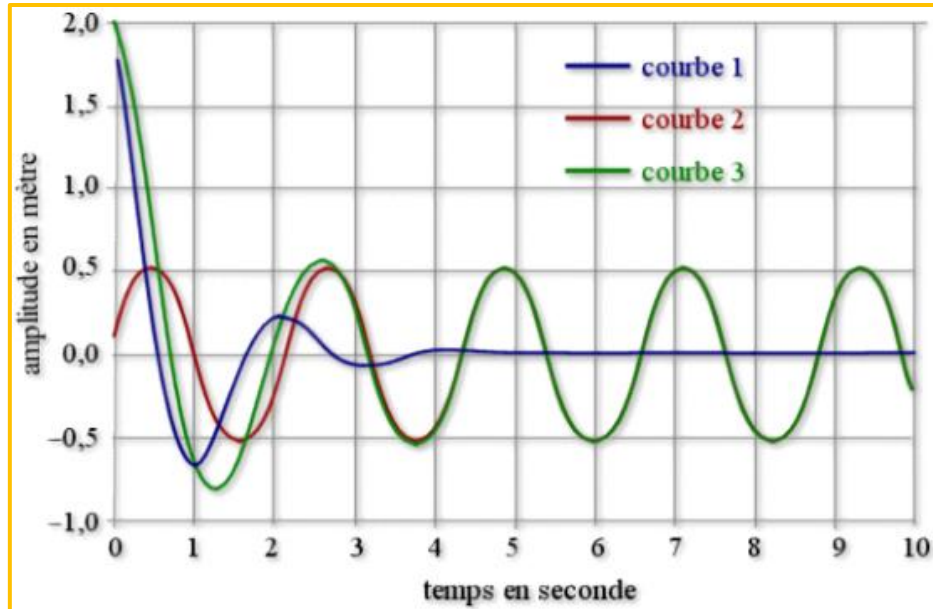


Figure 11 - Evolution de différents régimes au cours du temps (transitoire à continu en bleu, purement variable périodique en rouge, transitoire à variable périodique en vert)

Des exemples de régimes transitoires sont la mise sous tension d'un transformateur (à vide) en Electricité ou bien un système masse – ressort en Mécanique.

4) Nœuds, branches, mailles, circuits :

Un nœud est le nom donné au point de jonction entre au moins trois dipôles distincts. Une branche est un ensemble de dipôles compris entre deux nœuds. Une maille est un ensemble de branches formant un parcours fermé.

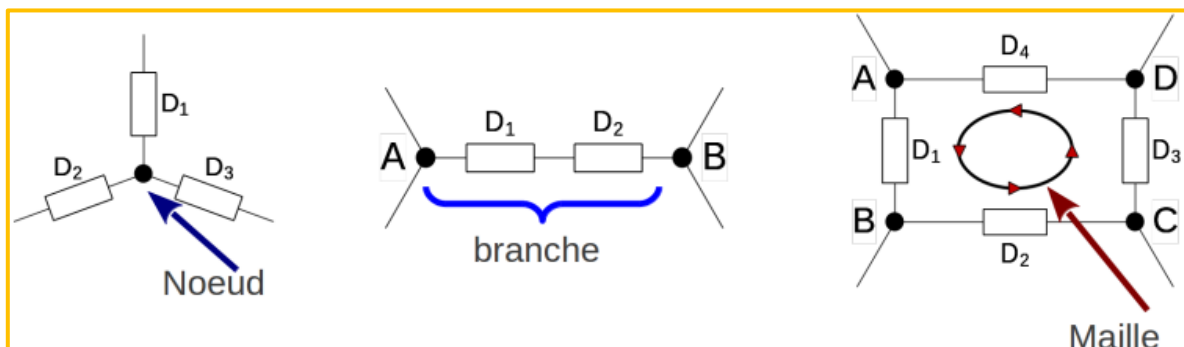


Figure 12 - Représentation schématique d'un nœud, d'une branche et d'une maille

Un réseau ou circuit est un ensemble de dipôles (actifs et/ou passifs) reliés par des fils de connexion et qui peut être analysé en termes de nœuds, branches ou mailles.

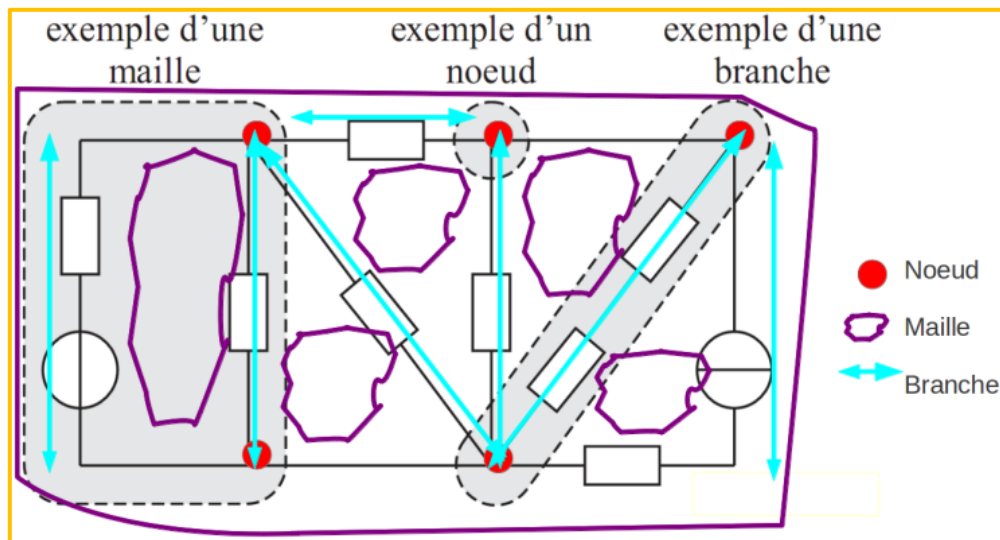


Figure 13 - Exemple de circuit et affichage des différents nœuds et différentes branches et mailles

II- Lois de Kirchhoff :

1) Contexte :

Dans un circuit complexe, il est possible de calculer les tensions aux bornes de chaque dipôle et l'intensité du courant dans chaque branche du circuit en appliquant les deux lois de Gustav Robert Kirchhoff (1824 – 1887) : la loi des nœuds et la loi des mailles. Kirchhoff a découvert ces lois à l'âge de 20 ans.

2) Loi des nœuds :

La loi des nœuds est formulable de deux façons différentes :

- La somme des courants arrivant en un nœud N est égale à la somme des courants qui en repartent :

$$\sum i_{arrivant} = \sum i_{repartant}$$

- La somme algébrique des courants arrivant à un nœud N est nulle :

$$\sum_{k=1}^{nb \text{ courants}} \varepsilon_k i_k = 0$$

(si un courant arrive au nœud, $\varepsilon_k = +1$ et si un courant part du nœud, $\varepsilon_k = -1$).

Exemple :

On prend un nœud N composé de cinq branches ayant chacune une intensité de courant différente. Les courants i_1 , i_2 et i_4 arrivent au nœud tandis que les courants i_3 et i_5 en repartent.

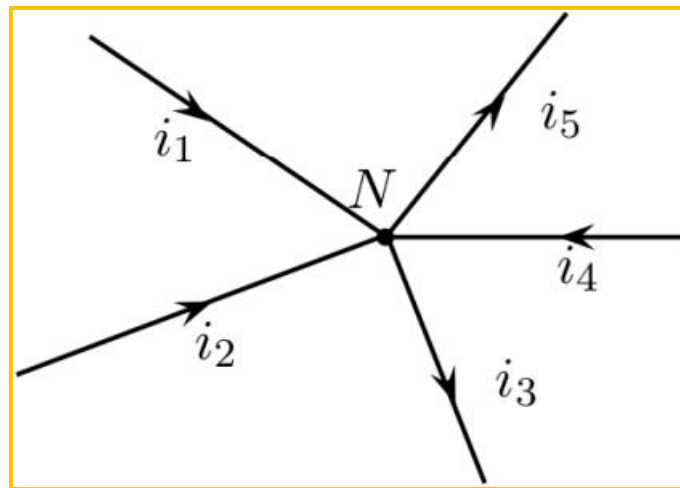


Figure 14 - Nœud de cinq branches

En prenant la première formulation de la loi des nœuds, on trouve l'équation suivante :

$$i_1 + i_2 + i_4 = i_3 + i_5$$

En prenant la seconde formulation de la loi des nœuds, on trouve l'équation suivante :

$$(+1)i_1 + (+1)i_2 + (-1)i_3 + (+1)i_4 + (-1)i_5 = 0$$

$$\Leftrightarrow i_1 + i_2 - i_3 + i_4 - i_5 = 0$$

$$\Leftrightarrow i_1 + i_2 + i_4 = i_3 + i_5$$

Les deux formulations donnent bien le même résultat.

3) Loi des mailles :

La loi des mailles dit que la somme algébrique des tensions prises le long d'une maille orientée est nulle :

$$\sum_{k=1}^{nb \text{ tensions}} \varepsilon_k u_k = 0$$

(si une tension est fléchée dans le sens de la maille, $\varepsilon_k = +1$ et si une tension est fléchée dans le sens inverse de la maille, $\varepsilon_k = -1$).

Exemple :

On prend une maille $ABCD$ composée de quatre branches positionnées en rectangle et portant un dipôle quelconque, chacun ayant une tension u dirigée dans un sens donné.

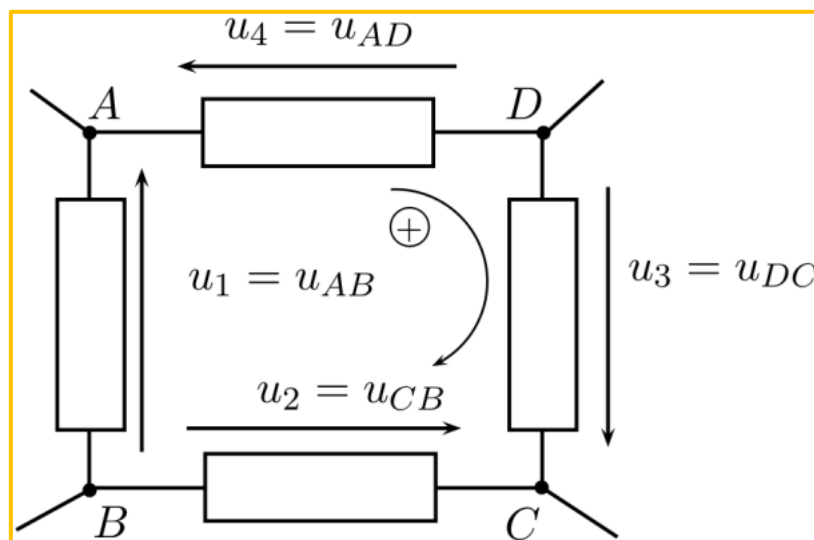


Figure 15 - Maille rectangulaire ABCD

Afin de poser la loi des mailles, il faut choisir une orientation pour celle-ci afin d'ajouter les tensions de chaque dipôle. On choisit de prendre dans le sens horaire, c'est-à-dire $ADCB$. Les tensions u_1 et u_3 sont alors dans le sens de la maille et les tensions u_2 et u_4 sont dans le sens opposé. La loi des mailles appliquée à cette situation est alors :

$$(-1)u_4 + (+1)u_3 + (-1)u_2 + (+1)u_1 = 0$$

$$\Leftrightarrow -u_4 + u_3 - u_2 + u_1 = 0$$

Si on décide de prendre la maille dans le sens trigonométrique, c'est-à-dire $BCDA$, les tensions u_2 et u_4 sont alors dans le sens de la maille et les tensions u_1 et u_3 sont dans le sens opposé.

La loi des mailles appliquée à cette situation est alors :

$$(+1)u_4 + (-1)u_3 + (+1)u_2 + (-1)u_1 = 0$$

$$\Leftrightarrow u_4 - u_3 + u_2 - u_1 = 0$$

En multipliant cette équation par -1 , on retrouve l'équation de la maille $ADCB$:

$$-1(u_4 - u_3 + u_2 - u_1) = 0 \Leftrightarrow -u_4 + u_3 - u_2 + u_1 = 0$$

On en conclut que le sens de la maille est arbitraire et ne change pas le résultat.

III- Loi d'Ohm :

En 1827, Georg Simon Ohm découvre les lois fondamentales des courants électriques et introduit des notions de quantité d'électricité et de force électromotrice.

Grâce à loi d'Ohm, combinée aux lois de Kirchhoff, il devient possible de calculer n'importe quelle tension ou courant dans un circuit composé de générateurs (de tension ou de courant) et de résistances.

1) Cas d'un dipôle :

Pour simplifier l'étude, on se place dans le cas du régime continu. Les courants et tensions ne dépendent pas du temps. Pour de nombreux conducteurs, la tension U (différence de potentiels) entre les extrémités du conducteur est proportionnelle à l'intensité I traversant le conducteur et à la résistance R du conducteur :

$$U = R I$$

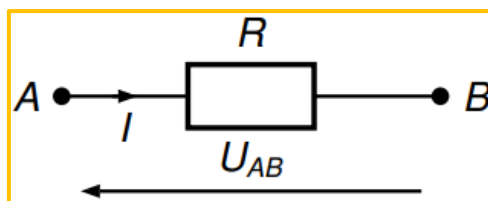


Figure 16 - Représentation schématique d'une résistance R branchée entre deux points A et B ayant une tension U_{AB} et parcourue d'un courant I

2) Association de dipôles en série :

a) Résistance équivalente :

On prend deux résistances R_1 et R_2 que l'on associe en série, c'est-à-dire branchées l'une après l'autre. Chaque résistance possède sa propre tension U_{AB} et U_{BC} mais le courant I les traversant est le même. On considère aussi la tension totale U_{AC} des deux résistances.

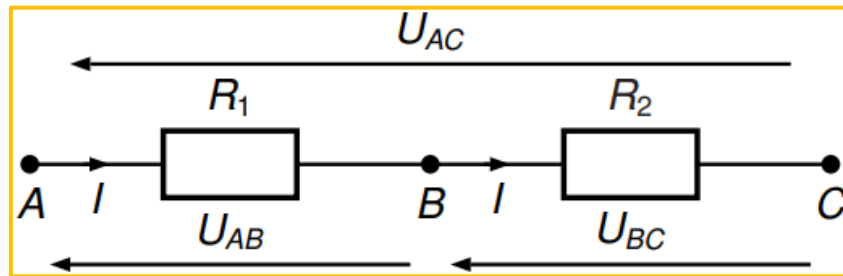


Figure 17 - Association de deux résistances en série

On pose la loi d'Ohm pour les deux résistances :

$$U_{AB} = R_1 I ; U_{BC} = R_2 I$$

Si on relie les bornes A et C, on forme une maille qui permet de poser la loi des mailles en prenant comme sens celui des différentes tensions :

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC}$$

On remplace dans la dernière équation, ce qui donne :

$$U_{AC} = R_1 I + R_2 I \Leftrightarrow U_{AC} = (R_1 + R_2)I$$

$$\Leftrightarrow U_{AC} = (R_{eq})I$$

(avec $R_{eq} = R_1 + R_2$ la résistance équivalente aux deux résistances en série). On en conclut que, vu des bornes A et C, la résistance équivalente R_{eq} est identique à avoir les résistances R_1 et R_2 en série. Les résistances en série s'ajoutent. Ceci est vrai quelque soit le nombre de résistances.

b) Pont diviseur de tension :

On reprend le schéma précédent, excepté que l'on connaît les valeurs des résistances R_1 et R_2 ainsi que la tension totale U_{AC} entre les deux. On cherche les tensions U_{AB} et U_{BC} de chaque résistance.

Pour cela, on repart de l'équation obtenue par la loi des mailles et on isole le courant I :

$$U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} \Leftrightarrow U_{AC} = (R_1 + R_2)I \Leftrightarrow I = \frac{U_{AC}}{R_1 + R_2}$$

En injectant la valeur du courant I dans la loi d'Ohm de chaque résistance, on obtient :

$$U_{AB} = R_1 I = U_{AC} \frac{R_1}{R_1 + R_2} ; U_{BC} = R_2 I = U_{AC} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

On peut généraliser ces résultats pour n'importe quelle branche, soumise à une tension $U_{branche}$, composée de plusieurs résistances associées en série et dont la tension aux bornes d'une résistance de la branche peut s'exprimer par :

$$U_x = U_{branche} \frac{R_x}{\sum_{k=1}^{nb \text{ Rés}} R_k}$$

3) Association de dipôles en parallèle :

a) Résistance équivalente :

On prend deux résistances R_1 et R_2 que l'on associe en parallèle, c'est-à-dire branchées l'une à côté de l'autre aux mêmes bornes A et B . Chaque résistance possède son propre courant I_1 et I_2 mais la tension U_{AB} à leurs bornes est la même. On considère aussi le courant d'entrée I du système.

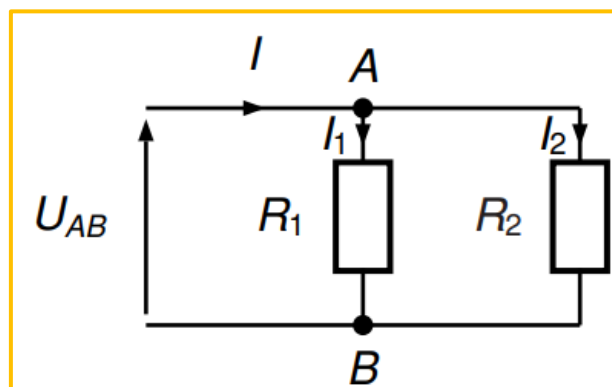


Figure 18 - Association de deux résistances en parallèle

On pose la loi d'Ohm pour les deux résistances :

$$U_{AB} = R_1 I_1 \Leftrightarrow I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1} ; U_{AB} = R_2 I_2 \Leftrightarrow I_2 = \frac{U_{AB}}{R_2}$$

On pose ensuite la loi des nœuds au point A, ce qui donne :

$$I - I_1 - I_2 = 0 \Leftrightarrow I = I_1 + I_2 = \frac{U_{AB}}{R_1} + \frac{U_{AB}}{R_2} = U_{AB} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\Leftrightarrow I = \frac{U_{AB}}{R_{eq}}$$

(avec $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Leftrightarrow R_{eq} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ la résistance équivalente aux deux résistances en parallèle). On peut généraliser à plusieurs résistances en parallèles où la somme de l'inverse des résistances est égale à l'inverse de la résistance équivalente :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \sum_{k=1}^{nb \text{ Rés}} \frac{1}{R_k}$$

b) Pont diviseur de courant :

On reprend le schéma précédent, excepté que l'on connaît les valeurs des résistances R_1 et R_2 ainsi que le courant d'entrée I du circuit. On cherche les courants I_1 et I_2 alimentant chaque résistance.

On rappelle le résultat de la loi des nœuds : $I = \frac{U_{AB}}{R_{eq}}$. Or, la loi d'Ohm de chaque résistance est : $U_{AB} = R_1 I_1 = R_2 I_2$. En remplaçant U_{AB} par sa valeur, on a :

$$I = \frac{R_1 I_1}{R_{eq}} = \frac{R_2 I_2}{R_{eq}}$$

En isolant chaque courant recherché, on obtient finalement :

$$I = \frac{R_1 I_1}{R_{eq}} \Leftrightarrow I_1 = I \frac{R_{eq}}{R_1} ; I = \frac{R_2 I_2}{R_{eq}} \Leftrightarrow I_2 = I \frac{R_{eq}}{R_2}$$

On peut généraliser à un circuit composé de N résistances en parallèles où le courant I_x circulant dans une résistance R_x est proportionnel au courant I absorbé par l'ensemble des résistances et au rapport de la résistance équivalente R_{eq} sur la résistance R_x :

$$I_x = I \frac{R_{eq}}{R_x}$$