

Electricité - Chapitre 2.1

Lois générales de l'électricité

1 Mouvement des porteurs de charges

1.1 Notion de charge électrique

Certains corps sont susceptibles d'accepter ou de perdre des particules chargées, on dit qu'ils s'électrisent, tels que :

- le verre qui, frotté avec la soie, perd des électrons
- l'ébonite ou l'ambre qui, frottés avec une fourrure, acquièrent des électrons.

L'électrisation obéit à plusieurs lois qualitatives :

- tout corps peut attirer un corps non électrisé
- elle peut se transférer d'un corps à un autre
- il existe deux types d'électrisation qui seront qualifiés conventionnellement de positive et de négative
- deux corps de même type d'électrisation se repoussent, deux corps de type différent d'électrisation s'attirent.

Ces résultats expérimentaux s'interprètent par la notion de *charge électrique* conceptualisée grâce aux travaux de Coulomb de 1785 et à la découverte de l'électron en 1881 par Thomson.

La charge électrique est une grandeur scalaire positive ou négative. Le choix de l'électron comme porteur d'une charge négative est purement conventionnel. Une charge sera donc positive si elle est attirée par un électron et négative si elle est repoussée.

La charge électrique est une grandeur extensive : soit un système de charge électrique q formé de deux sous-systèmes de charge q_1 et q_2 , alors $q = q_1 + q_2$.

La charge électrique d'un système isolé est constante au cours du temps. Les variations de la charge d'un système sont dues aux échanges avec l'extérieur.

Il existe une charge élémentaire $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ exprimée en coulombs qui est l'unité de charge électrique. Toute charge électrique q est un multiple entier de e : $q = z \times e$, $z \in \mathbb{Z}$.

Le fait d'attribuer un signe + ou un signe - à une charge ou à un porteur de charge est une pure convention, mais il est important de s'y conformer afin que tout le monde parle le même langage.

1.2 Porteurs de charges

La matière est formée d'atomes qui comprennent :

- un noyau constitué de protons, de charge $+e$ et de masse $m = 1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$
- un cortège d'électrons, de charge $-e$ et de masse $m = 9,1 \times 10^{-31} \text{ kg}$.

Les atomes sont électriquement neutres : leur charge totale est nulle, il y donc autant de protons que d'électrons dans un atome.

Dans les métaux, qui sont des empilements réguliers d'atomes, la conduction métallique est assurée par des électrons libres appelés électrons de conduction. Il se déplacent au sein du métal et jouent le rôle de porteurs de charge.

Dans les solutions électrolytiques, les porteurs de charge sont les ions, c'est-à-dire des atomes ayant gagné ou perdu des électrons (anions ou cations). La solution reste globalement neutre, seule la répartition locale des charges est modifiée.

Dans les plasmas, qui sont des gaz ionisés à haute température, les porteurs de charge sont les électrons et les ions positifs.

2 Potentiel électrique et Tension électrique

2.1 Définitions

Remarque préalable : dans ce qui suit, deux grandeurs totalement indépendantes seront désignées par la même lettre : le champ électrique et l'énergie potentielle électrique. Pour lever toute ambiguïté, l'intensité du champ électrique sera notée $\|\vec{E}\|$ tandis que l'énergie potentielle électrique sera notée $E_{\text{pot élec}}$. Ces deux grandeurs n'ont pas la même dimension : elle ne sont donc pas comparables et sont donc parfaitement distinctes.

Potentiel

Dans une zone de l'espace où règne un champ électrique, existe en chaque point de cet espace ce que l'on appelle un potentiel électrique.

On peut faire l'analogie avec le champ gravitationnel.

En effet, dans un champ gravitationnel uniforme $\vec{g}$ (orienté en $-\vec{u}_z$), une particule de masse m est soumise à une force $m\vec{g}$ et possède une énergie potentielle de gravitation (définie à une constante près) $E_{\text{pot grav}} = m[\|\vec{g}\| \cdot z] + K$. Lorsque cette masse passe d'une altitude z_A à une altitude z_B , la variation de son énergie potentielle est $\Delta E_{\text{pot grav } A \rightarrow B} = -m[\|\vec{g}\| \cdot (z_A - z_B)]$ (énergie potentielle gagnée par une masse m lorsqu'elle passe d'une altitude z_A à une altitude z_B dans champ de gravitation $\vec{g}$).

De même, dans un champ électrique uniforme $\vec{E}$ (orienté en $-\vec{u}_z$), une charge électrique q est soumise à une force $q\vec{E}$ et possède une énergie potentielle électrique (définie à une

constante) près $E_{pot\acute{e}l} = q[||\vec{E}|| \cdot z] + K'$. Écrite en fonction du potentiel, cela donne : $E_{pot\acute{e}l} = q \cdot V + K'$. Lorsque cette charge passe d'une position A à une position B, la variation de son énergie potentielle est $\Delta E_{pot\acute{e}l A \rightarrow B} = -q[||\vec{E}|| \cdot (z_A - z_B)]$.

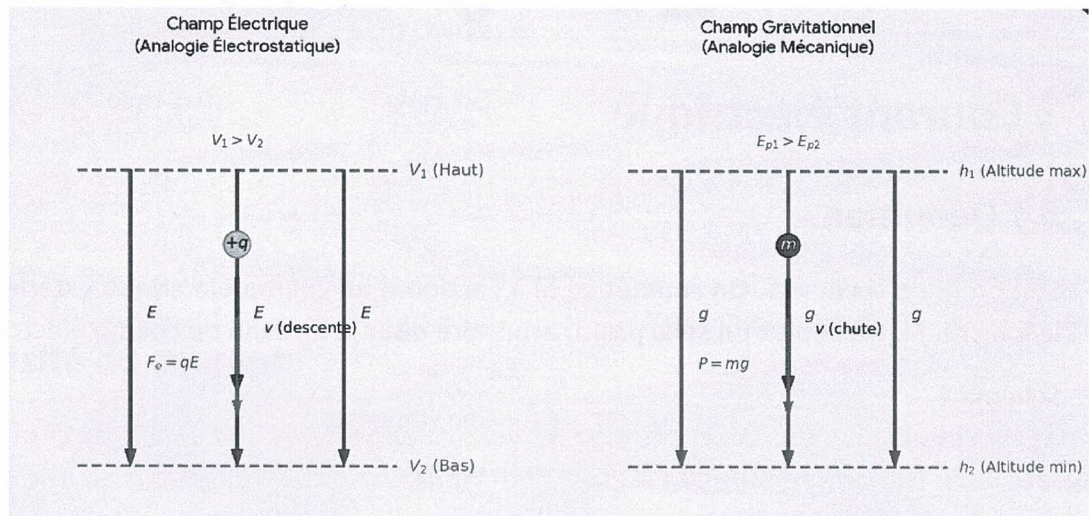
Écrite en fonction du potentiel cela donne : $\Delta E_{pot\acute{e}l A \rightarrow B} = -q \cdot (V_A - V_B)$ (V_A potentiel en A et V_B potentiel en B).

On définit alors la tension U_{AB} entre les points A et B :

$$U_{AB} = V_A - V_B$$

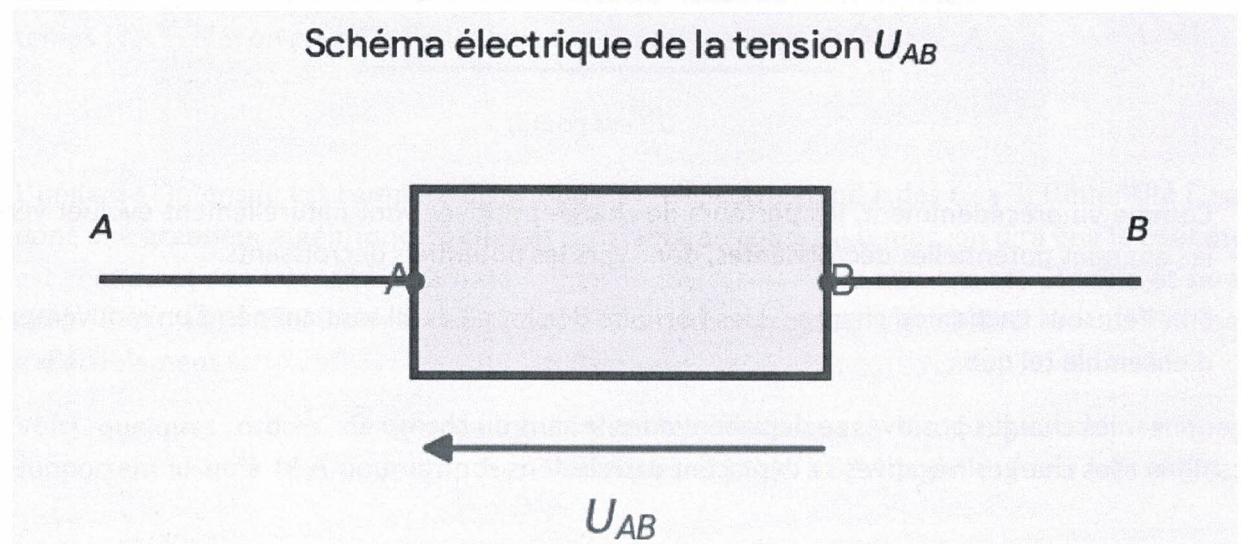
Le potentiel électrique en un point de l'espace est *donc* lié à l'énergie potentielle électrique d'une charge en ce point de l'espace. La différence de potentiel entre deux points de l'espace (tension électrique) correspond donc à la diminution de cette énergie potentielle. Lorsqu'une charge électrique positive est libre d'évoluer au sein d'un champ électrique, elle va donc s'écouler naturellement dans le sens des énergies potentielles décroissantes (comme une masse m abandonnée dans le champ terrestre se dirige vers potentiels plus faibles : chute libre).

Schéma 1



Aux bornes d'un élément de circuit, représenté ici par un rectangle, la tension U_{AB} est représentée par une **flèche allant de B vers A**.

Schéma 2



Ce choix est arbitraire mais permet de déterminer le point dont le potentiel est le plus élevé. Le sens de la flèche est important car la tension $U_{BA} = V_B - V_A = -U_{AB}$ est représentée par une flèche de sens contraire.

2.2 Masse ou référence de potentiel

On ne peut mesurer qu'une différence de potentiel (i.e une tension) aux bornes d'un élément de circuit. Aucun appareil ne permet d'accéder directement au potentiel électrique en un point car il est défini à une constante près. Pour fixer cette constante, on choisit arbitrairement une référence de potentiel nul qu'on appelle la *masse*. On représente la masse par ce symbole dans les schémas électriques :

Schéma 3

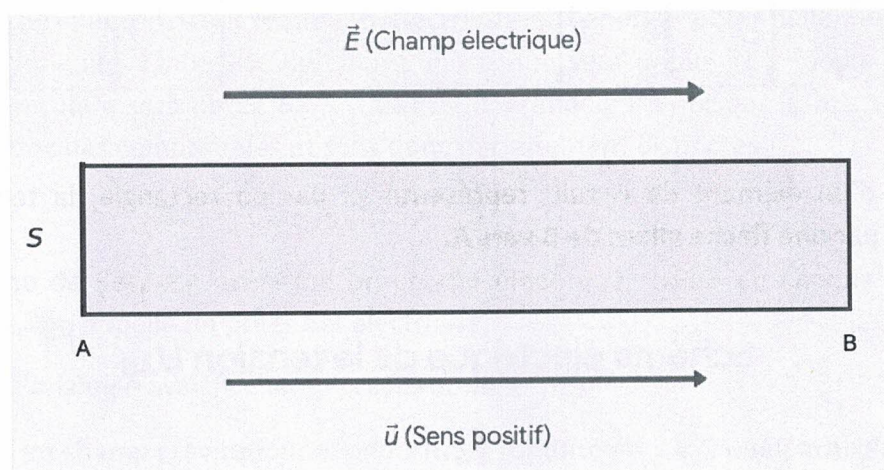


3 Courant électrique

3.1 Définition

Soit un fil de section S . On soumet ce fil à l'action d'un champ électrique extérieur $\vec{E}$ orienté le long du fil. On choisit un sens positif arbitraire pour le fil, celui du champ électrique :

Schéma 4



Comme vu précédemment, les porteurs de charge positives vont naturellement évoluer vers les énergies potentielles décroissantes, donc vers les potentiels décroissants.

En effet, sous l'action du champ $\vec{E}$, les porteurs de charge du fil sont animés d'un mouvement d'ensemble tel que :

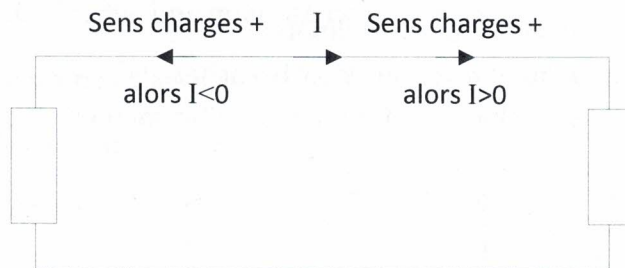
- les charges positives se déplacent dans le sens du champ $\vec{E}$
- les charges négatives se déplacent dans le sens contraire.

Ce mouvement d'ensemble des porteurs de charge provoque un déplacement de charges électriques qu'on appelle *courant électrique*. Notons qu'un courant de charges positives se déplaçant dans un sens est équivalent à un courant de charges négatives se déplaçant dans le sens opposé.

3.2 Sens conventionnel et signe du courant électrique

Historiquement, on a choisi le *sens conventionnel* du courant avant de découvrir qu'il est assuré par les électrons libres ; il correspond au sens de déplacement des charges positives et est donc opposé au déplacement des électrons.

A priori, on ne sait pas dans quel sens circule le courant dans un circuit. On choisit donc pour le courant, avant tout calcul, un **sens arbitraire** (compté comme positif). Si le sens de déplacement des charges positives correspond à ce sens conventionnel, le courant est compté positivement. En revanche, si le sens de déplacement des charges positives est opposé au sens conventionnel, le courant est compté négativement.



3.3 Intensité du courant

Reprenons le fil de section S , dans lequel circule un courant électrique. On choisit un sens positif arbitraire de circulation. Entre les temps t et $t + \Delta t$, la quantité de charges Δq traverse la section S du fil. On compte Δq positivement si les charges positives se déplacent dans le sens arbitraire (ou si les charges négatives se déplacent dans le sens opposé au sens arbitraire), on compte Δq négativement dans le cas contraire.

On appelle *intensité du courant électrique* i la quantité de charges traversant S par unité de temps : $i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$. Si on prend la limite où $\Delta t \rightarrow 0$, cette relation devient :

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

L'unité de l'intensité est l'ampère de symbole A , elle correspond à des $C \cdot s^{-1}$. L'intensité i est donc une **grandeur algébrique**. Si elle est constante au cours du temps, on dira que le courant est *continu* et son intensité sera noté I . Dans le cas contraire, le courant est variable et sera noté i ou $i(t)$. Elle correspond à un débit de charges, c'est-à-dire à un rythme « d'écoulement ».

Voici quelques ordres de grandeurs d'intensités électriques : les fusibles domestiques supportent jusqu'à $16 A$ pour les prises électriques et jusqu'à $32 A$ pour les fours (ces chiffres

indiquent la *valeur efficace* de l'intensité du courant). Un chauffage de 1000 W en monophasé appelle un courant dont la valeur efficace est d'environ 5 A. En électronique, les intensités varient beaucoup, du picoampère à l'ampère. Un TGV appelle un courant d'ordre de grandeur de 500 A à 1000 A. L'intensité dans les lignes de distribution électriques est de l'ordre de 1000 A. Dans l'industrie, cela monte encore (qq 10^5 A en aciéries c'est-à-dire qq centaines de kA).

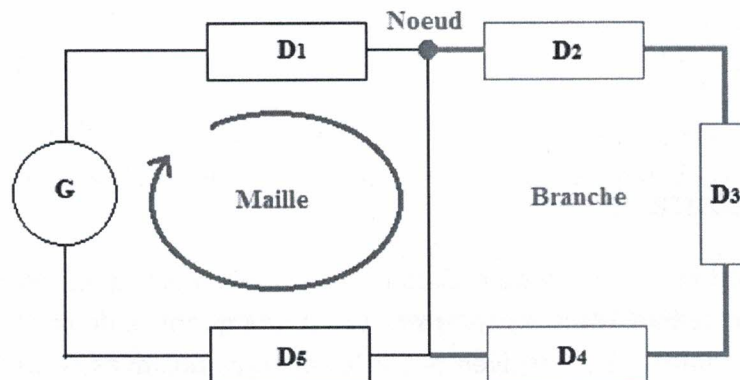
4 Loi des nœuds, loi des mailles

4.1 Terminologie des circuits

On définit quelques termes relatifs aux circuits électriques :

- un *dipôle* est un élément de circuit relié au reste du circuit par deux bornes. Il est en général soumis à une tension à ses bornes et est alors traversé par un courant.
- une *branche* est un ensemble de dipôles reliés par des fils et disposés en série (chaque borne d'un dipôle n'est reliée qu'à un seul autre dipôle)
- un *nœud* est un point où se rejoignent au moins trois branches
- une *maille* est un ensemble de branches se refermant sur elles-mêmes.

Schéma 5



On dit qu'on est en *régime continu* lorsque toutes les grandeurs (par exemple les intensités et les tensions) sont indépendantes du temps (constantes). On parle au contraire de *régime variable* lorsque ces grandeurs dépendent du temps. Pour la première partie de ce cours, on se place en **régime continu**.

4.2 Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

Pour un **régime continu**, il n'y a pas d'accumulation de charges en un point : l'intensité est la même en tout point d'une branche. Sa mesure avec un ampèremètre ne dépend donc pas de la position sur la branche.

Cette propriété reste valable en **régime variable** si on peut négliger les phénomènes de propagation, c'est-à-dire que le temps de propagation est négligeable devant le temps caractéristique du régime variable. La propagation sera assimilable à un processus instantané

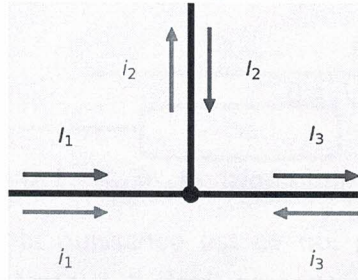
et l'intensité sera la même en tout point d'une branche à un instant donné. On dit qu'on travaille dans l'*approximation des régimes quasi-stationnaires* notée **ARQS**.

4.3 Loi des nœuds

Dans l'ARQS, il n'y a pas d'accumulation de charges en un point d'une branche. Ainsi, pendant un intervalle de temps dt , il repart autant en charges d'un nœud qu'il en arrive.

Soit un nœud N où se rejoignent trois branches. On note en majuscules les vraies intensités et en minuscules les intensités algébriques choisies.

Schéma 6



Pendant dt , il arrive une quantité de charges en N : $dq_a = (I_1 + I_2)dt$, et il repart $dq_r = I_3dt$.

Puisqu'il n'y a pas d'accumulation de charges : $dq_a = dq_r \Leftrightarrow I_1 + I_2 = I_3$.

Or avec les définitions des intensités, on a : $i_1 = I_1, i_2 = -I_2, i_3 = -I_3$.

Ainsi on obtient : $i_1 - i_2 + i_3 = 0$.

Cette relation porte le nom de *loi des nœuds* et se généralise au cas où n branches arrivent sur le nœud N :

$$\sum_{k=1}^n \epsilon_k i_k = 0$$

avec $\epsilon_k = 1$ si l'intensité i_k est orientée vers le nœud, et $\epsilon_k = -1$ si i_k part du nœud.

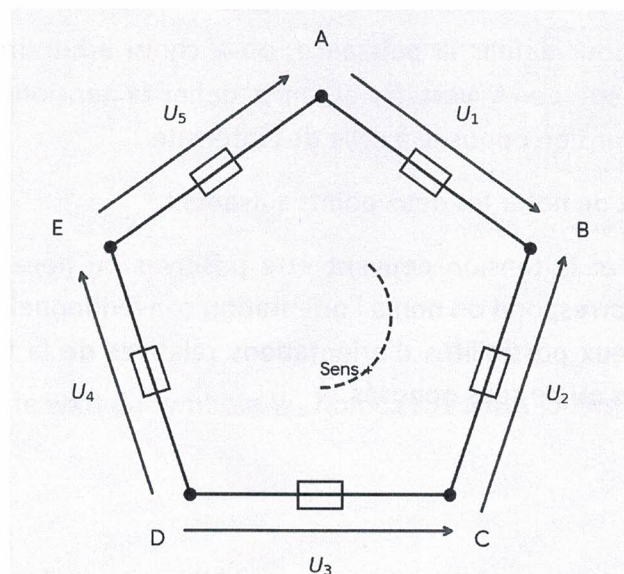
On peut donc aussi l'écrire sous la forme :

$$\sum_{\text{nœud}} i_{\text{entrants}} = \sum_{\text{nœud}} i_{\text{sortants}}$$

4.4 Loi des mailles

Soit la maille suivante :

Schéma 7



La différence de potentiel entre le point A et lui-même est nulle. On introduit les potentiels des autres points de la maille :

$$V_A - V_A = 0 \Leftrightarrow V_A - V_E + V_E - V_D + V_D - V_C + V_C - V_B + V_B - V_A = 0$$

On note : $U_1 = V_B - V_A$, $U_2 = V_B - V_C$, $U_3 = V_C - V_D$, $U_4 = V_E - V_D$, $U_5 = V_A - V_E$, puis on réécrit l'égalité :

$$U_1 - U_2 - U_3 + U_4 + U_5 = 0$$

Cette relation porte le nom de *loi des mailles* et se généralise pour une maille à n branches et donc n tensions :

$$\sum_{k=1}^n \epsilon_k U_k = 0$$

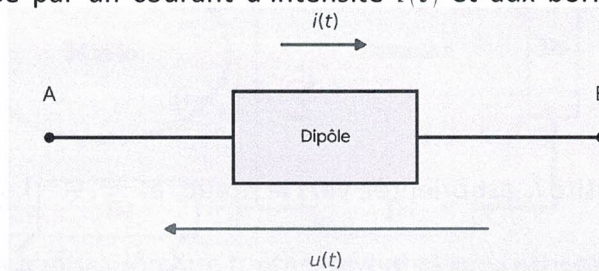
avec $\epsilon_k = 1$ si la tension U_k est dans le sens positif choisi, et $\epsilon_k = -1$ si U_k est dans le sens opposé au sens positif.

5 Puissance – dipôles récepteurs et générateurs

5.1 Définition de la puissance

Soit un dipôle AB traversé par un courant d'intensité $i(t)$ et aux bornes duquel existe une tension $u(t) = V_A - V_B$.

Schéma 8



La puissance instantanée est définie par :

5.2 Récepteurs et générateurs

Dans le schéma pour définir la puissance, on a choisi arbitrairement que le courant allait conventionnellement de A vers B , et on a défini la tension par $u(t) = V_A - V_B$ soit une orientation de la tension opposée à celle de l'intensité.

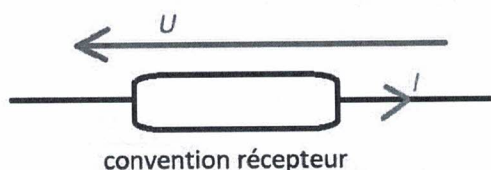
Or il est important de noter les deux points suivants :

- l'intensité et la tension peuvent être positives ou négatives selon que l'orientation effective correspond ou non à l'orientation conventionnelle choisie.
- il existe deux possibilités d'orientations relatives de la tension et de l'intensité : de même sens ou de sens opposés.

Ces deux orientations relatives conduisent à deux conventions possibles :

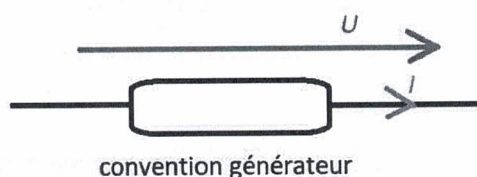
- la *convention récepteur* où l'intensité i et la tension u sont choisies de sens opposés (convention qu'on a choisie ci-dessus)

Schéma 9



- la *convention générateur* où l'intensité i et la tension u sont choisies de même sens.

Schéma 10

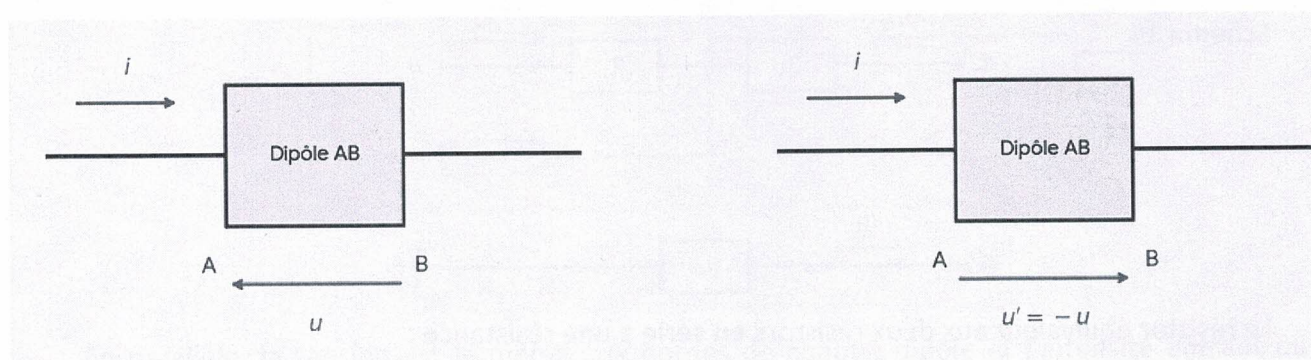


La définition de la puissance est ce qui permet de donner une signification aux termes récepteur et générateur. Il s'agit essentiellement d'indiquer le point de vue dans lequel on choisit de se placer pour compter positivement ou négativement les puissances entrantes et sortantes.

En **convention récepteur**, on a défini la puissance reçue par : $P(t) = u(t) \times i(t)$. Dans ce cas, si $u(t)$ et $i(t)$ sont de même signe, la puissance reçue est positive donc le dipôle est bien un récepteur. En revanche, si $u(t)$ et $i(t)$ sont de signes opposés (l'un à l'autre), la puissance reçue est négative donc le dipôle se comporte comme un générateur qui fournit de la puissance au circuit.

Passer en **convention générateur** revient à inverser le sens conventionnel pour la tension et donc à considérer $u'(t) = -u(t)$ (on aurait aussi pu inverser le sens conventionnel du courant). Dans ce cas, la puissance $P'(t) = u'(t) \times i(t)$ correspond à l'opposé de la puissance reçue précédente. Il s'agit donc d'une puissance cédée qui sera positive lorsqu'il y aura diminution de l'énergie dans le dipôle.

Schéma 11



L'unité de la puissance est le watt de symbole W , homogène à des joules par seconde.

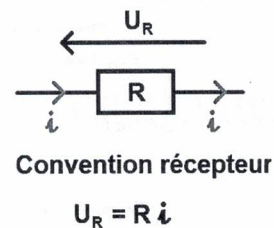
6 Dipôles linéaires usuels dans l'ARQS

On dit qu'un dipôle est linéaire si la tension à ses bornes et l'intensité qui le traverse sont liées par une équation différentielle linéaire à coefficients constants.

6.1 Résistor de résistance R

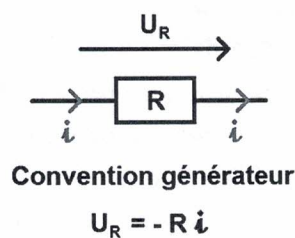
Ce dipôle est schématisé en convention **récepteur** par :

Schéma 12



et en convention **générateur** par :

Schéma 13



Il vérifie la loi d'Ohm en convention récepteur :

$$u(t) = R \cdot i(t)$$

où R est appelé la *résistance*, positive et exprimée en ohms (symbole Ω). On peut également définir la *conductance* qui est son inverse :

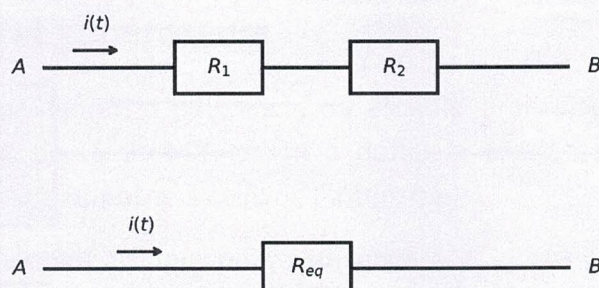
$$G = \frac{1}{R}$$

avec G qui est exprimée en Ω^{-1} (autrefois appelé siemens de symbole S).

6.1.1 Association en série

Cette association consiste à placer les dipôles les uns à la suite des autres :

Schéma 14

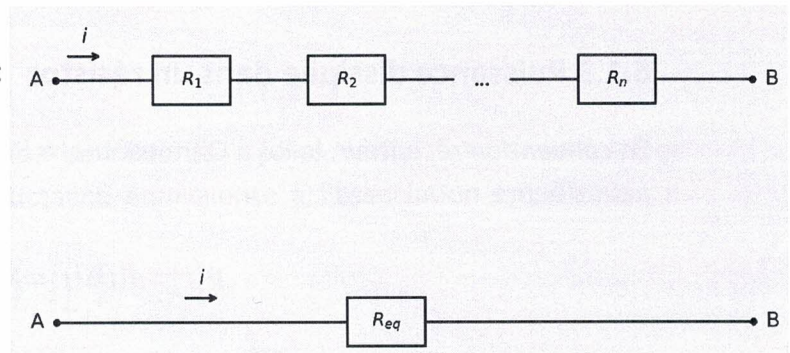


Le résistor équivalent aux deux résistors **en série** a une résistance :

$$R_{eq} = R_1 + R_2$$

On peut généraliser à n résistors **en série** :

Schéma 15



$$R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

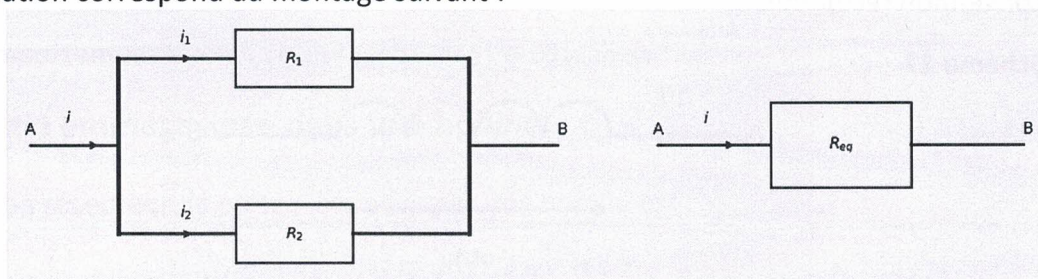
En série, la même intensité traverse les n dipôles et la tension aux bornes de l'ensemble des n dipôles est la somme des tensions aux bornes de chaque dipôle :

$$i_1 = i_2 = \dots = i_n = i \text{ et } u = u_1 + u_2 + \dots + u_n$$

6.1.2 Association en parallèle

Cette association correspond au montage suivant :

Schéma 16

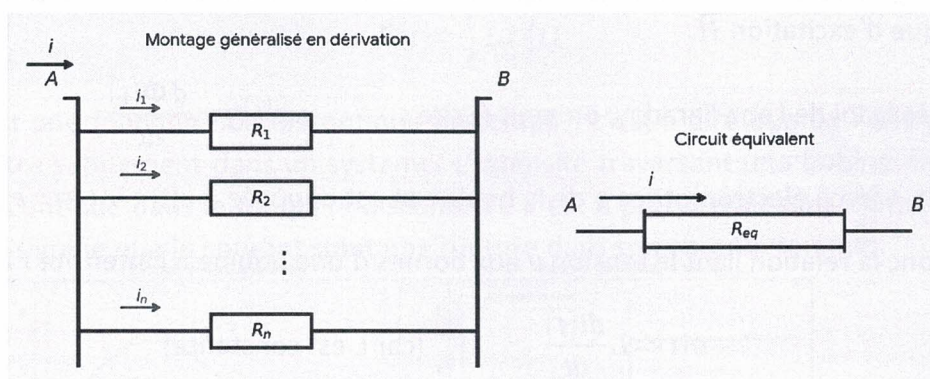


Le résistor équivalent aux deux résistors **en parallèle** a une résistance :

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ ou encore } G_{eq} = G_1 + G_2$$

On peut généraliser à n résistors **en parallèle** :

Schéma 17



$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \text{ ou } G_{eq} = G_1 + G_2 + \dots + G_n$$

En parallèle, la tension est la même aux bornes de chaque dipôle et l'intensité entrant ou sortant de l'association en parallèle est la somme des intensités traversant chaque dipôle :

$$i = i_1 + i_2 + \dots + i_n \text{ et } u_1 = u_2 = \dots = u_n = u$$

6.1.3 Puissance dissipée dans un résistor

En convention récepteur, la loi d'Ohm est $u(t) = R \cdot i(t)$ donc la puissance reçue par un résistor peut s'écrire :

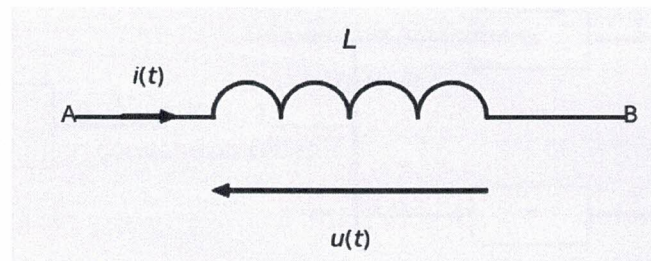
$$P(t) = u(t)i(t) = Ri^2(t) = \frac{u^2(t)}{R}$$

La puissance reçue par un résistor est toujours positive : un résistor se comporte toujours en récepteur. Cette énergie est dissipée sous forme de chaleur : c'est l'effet Joule.

6.2 Bobine d'inductance L

Les bobines sont des enroulements de spires conductrices autour d'un axe isolant. Elles sont caractérisées par leur *inductance* L dont l'unité est le henry (symbole H). On se place en convention récepteur.

Schéma 17



L'inductance est définie dans l'hypothèse simplificatrice de linéarité de la bobine (ni d'hystérésis ni saturation ; L est alors une constante) par la relation :

$$\Phi(t) = Li(t)$$

où Φ est le flux dû au champ magnétique d'induction $\vec{B}$ et i le courant qui génère le champ magnétique d'excitation $\vec{H}$.

Or, d'après la loi de Lenz-Faraday, on peut écrire :
$$e(t) = - \frac{d\Phi(t)}{dt}$$

où e est la « force électromotrice » de la bobine et est opposée à $u(t)$: $u(t) = -e(t)$

Il vient donc la relation liant la tension u aux bornes d'une bobine à l'intensité i la traversant :

$$u(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad (\text{car } L \text{ est constante})$$

Ainsi en **régime continu**, l'intensité i est constante donc la tension u est nulle : la bobine se comporte comme un **fil électrique**. Par contre, en régime variable la tension u est non nulle.

6.2.1 Association en série

On a vu avec les résistors que l'association en série de dipôles vérifie $i_1=i_2=\dots=i_n=i$ et $u=u_1+u_2+\dots+u_n$. Cela implique que l'inductance équivalente à l'association en série de n inductances est :

$$L_{eq}=L_1+L_2+\dots+L_n$$

C'est un comportement identique aux résistances en série.

6.2.2 Association en parallèle

On a vu avec les résistors que l'association en parallèle de dipôles vérifie $i=i_1+i_2+\dots+i_n$ et $u_1=u_2=\dots=u_n=u$. Cela implique que l'inductance équivalente à l'association en parallèle de n inductances est :

$$\frac{1}{L_{eq}}=\frac{1}{L_1}+\frac{1}{L_2}+\dots+\frac{1}{L_n}$$

C'est un comportement identique aux résistances en parallèle.

6.2.3 Energie emmagasinée dans une bobine

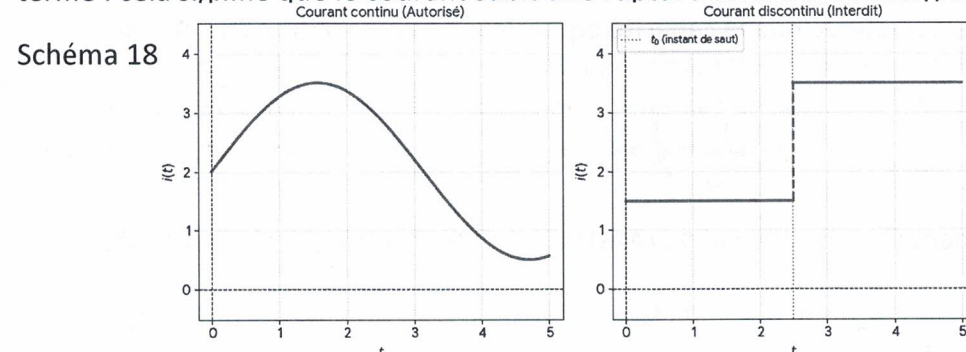
En convention récepteur, la puissance reçue par une bobine est :

$$P(t)=u(t)i(t)=L\frac{di(t)}{dt}i(t)=\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{2}Li^2(t)\right)$$

La puissance est la dérivée temporelle de l'énergie : $P(t)=\frac{dE(t)}{dt}$. On en déduit que l'énergie instantanée, c'est-à-dire l'énergie emmagasinée dans la bobine à l'instant t est :

$$E(t)=\frac{1}{2}Li^2(t)$$

L'énergie est une fonction non discontinue du temps*, c'est-à-dire que de l'énergie ne peut pas apparaître subitement dans un système. L'intensité traversant une bobine ne peut donc pas être discontinue dans le temps (« discontinue » est à prendre au sens mathématique du terme : cela signifie que le courant subit une rupture dans son chronogramme).

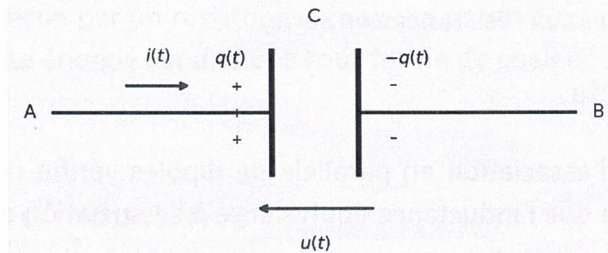


* : créer une discontinuité d'énergie nécessiterait une puissance infinie, ce qui est impossible.

6.3 Condensateur de capacité C

Les condensateurs sont des composants électriques (le plus souvent électroniques) constitués de deux plaques de matériau conducteur qui se font face (les *armatures*) séparées par un matériau isolant (le *diélectrique*). Ils sont caractérisés par leur *capacité* C dont l'unité est le farad (symbole F). Une des armatures porte une charge q tandis que l'autre armature porte une charge $-q$. On se place en convention récepteur.

Schéma 2.10



Notons l'importance du sens choisi pour l'intensité i : elle arrive sur l'armature de charge $+q$.

La relation caractéristique d'un condensateur liant la charge q à la tension à ses bornes u est :

$$q(t) = Cu(t)$$

L'arrivée d'un courant i sur une armature provoque pendant un temps Δt une variation Δq de la charge de l'armature (Δq arrive sur l'armature) et donc une variation $-\Delta q$ sur l'autre armature (Δq part de l'armature) afin d'assurer la conservation de la charge au niveau du condensateur. On aura donc un courant $i' = i$ qui partira de la seconde armature même si les charges ne traversent pas physiquement l'isolant. Un condensateur est donc un dipôle.

La relation liant l'intensité i le traversant à la tension à ses bornes u est :

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

Ainsi en **régime continu**, la tension u est constante donc l'intensité i est nulle : le condensateur se comporte comme un **interrupteur ouvert**. Par contre, en régime variable le courant i est non nul.

6.3.1 Association en série

On a vu avec les résistors que l'association en série de dipôles vérifie $i_1 = i_2 = \dots = i_n = i$ et $u = u_1 + u_2 + \dots + u_n$. Cela implique que la capacité équivalente à l'association en série de n capacités est :

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

C'est un comportement similaire à celui de résistances en parallèle.

6.3.2 Association en parallèle

On a vu avec les résistors que l'association en parallèle de dipôles vérifie $i=i_1+i_2+\dots+i_n$ et $u_1=u_2=\dots=u_n=u$. Cela implique que la capacité équivalente à l'association en parallèle de n capacités est :

$$C_{eq}=C_1+C_2+\dots+C_n$$

C'est un comportement similaire à celui de résistances en série.

6.3.3 Energie emmagasinée dans un condensateur

En convention récepteur, la puissance reçue par un condensateur est :

$$P(t)=u(t)i(t)=u(t)C \frac{du(t)}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{1}{2} C u^2(t) \right)$$

La puissance est la dérivée temporelle de l'énergie : $P(t)=\frac{dE(t)}{dt}$. On en déduit que l'énergie instantanée, c'est-à-dire l'énergie emmagasinée dans le condensateur à l'instant t est :

$$E(t)=\frac{1}{2} C u^2(t)$$

L'énergie est une fonction non discontinue du temps, donc la tension aux bornes d'un condensateur ne peut être discontinue dans le temps – tout comme la charge qui lui est proportionnelle (il n'y a donc pas de rupture dans le chronogramme de $u(t)$).

7 Sources de tension et de courant, modèles de Thévenin et de Norton

Ces deux modèles exploitent la caractéristique courant-tension d'un même dipôle linéaire de deux façons différentes. Ils sont utiles pour simplifier un morceau de circuit linéaire composé de plusieurs éléments en le remplaçant par l'un des deux modèles.

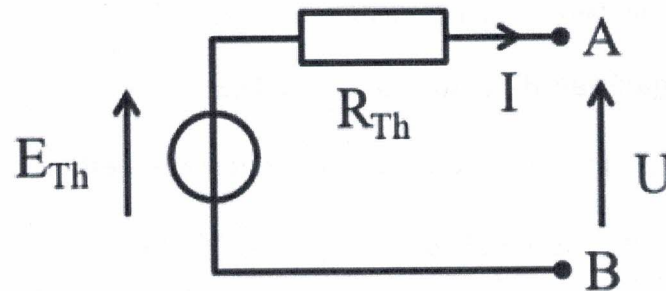
7.1 Modèle de Thévenin

On appelle *source idéale de tension* un dispositif idéal qui impose à ses bornes une différence de potentiel constante E (appelée *force électromotrice* – fem), quelle que soit l'intensité du courant qui le traverse. E est une tension, elle s'exprime en volts.

En pratique, quand on relève la caractéristique courant-tension d'une source réelle de tension, on constate que la tension délivrée dépend de l'intensité du courant. Les générateurs réels ne sont donc pas idéaux.

Dans le modèle de Thévenin, une source réelle de tension est modélisée par l'association en série d'un générateur de tension idéal de fem E et d'une résistance interne R . Sa représentation en convention générateur est :

Schéma 2.14



et la relation liant le courant et la tension s'écrit : $u = E - Ri$.

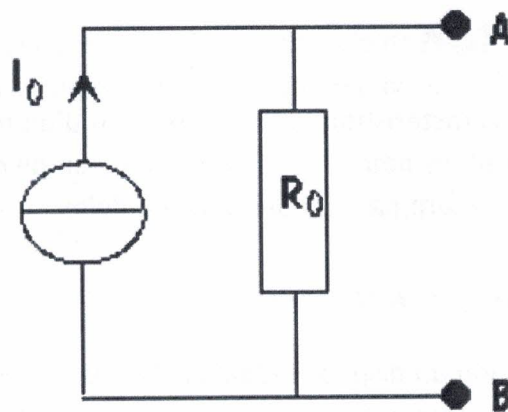
7.2 Modèle de Norton

On appelle *source idéale de courant* un dispositif idéal qui débite un courant d'intensité constante I_0 (appelé *courant de court-circuit* ou *courant électromoteur - cem*), quelle que soit la tension à ses bornes.

L'équation précédente $u = E - Ri$ peut se réécrire : $i = \frac{E}{R} - \frac{1}{R}u = I_0 - Gu$ avec $I_0 = \frac{E}{R}$ la relation liant le courant et la tension.

Dans le modèle de Norton, une source réelle de courant est modélisée par l'association en parallèle d'une source idéale de courant de cem I_0 et d'une résistance interne R . Sa représentation en convention générateur est :

Schéma 2.17



7.3 Equivalence Thévenin – Norton

L'équivalence entre les deux modèles est récapitulée par le tableau suivant :

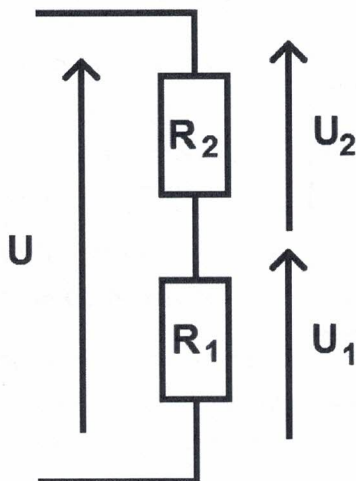
Modèle de Thévenin	Modèle de Norton
résistance R	résistance R , conductance G
force électromotrice $E = R I_0$	courant de court-circuit $I_0 = \frac{E}{R}$
$u = E - Ri$	$i = \frac{E}{R} - \frac{1}{R}u = I_0 - Gu$

8 Ponts diviseurs de tension et de courant

8.1 Diviseur de tension

La structure de base du *pont diviseur de tension* est celle de deux résistors en série soumis à une tension totale U_e . Son schéma général est le suivant :

Schéma 2.22



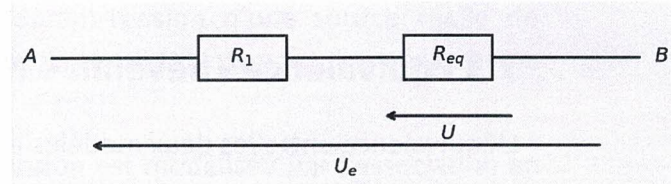
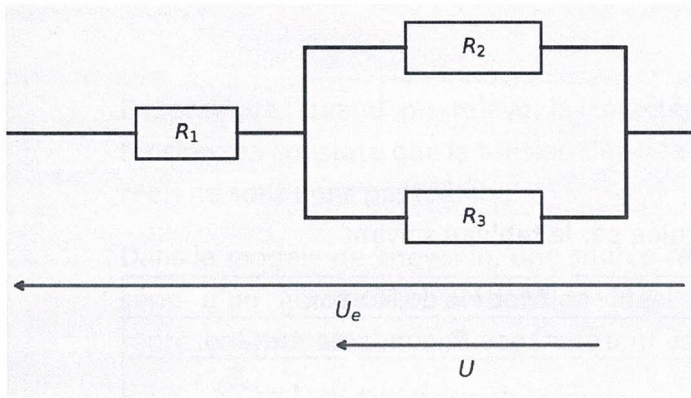
On cherche les tensions aux bornes des deux résistances.

Loi d'Ohm : $U_1 = R_1 i$ et $U_2 = R_2 i$; loi des mailles : $U_e = U_1 + U_2 = (R_1 + R_2) i \Rightarrow i = \frac{U_e}{R_1 + R_2}$.

On en déduit les tensions : $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_e$ et $U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_e$ qui sont des fractions de la tension totale U_e .

On généralise ce résultat à n résistors en série :
$$U_k = \frac{R_k}{\sum_{j=1}^n R_j} U_e$$

Remarque : Attention à appliquer correctement la formule, notamment quand il y a des résistances en parallèle dans le circuit.

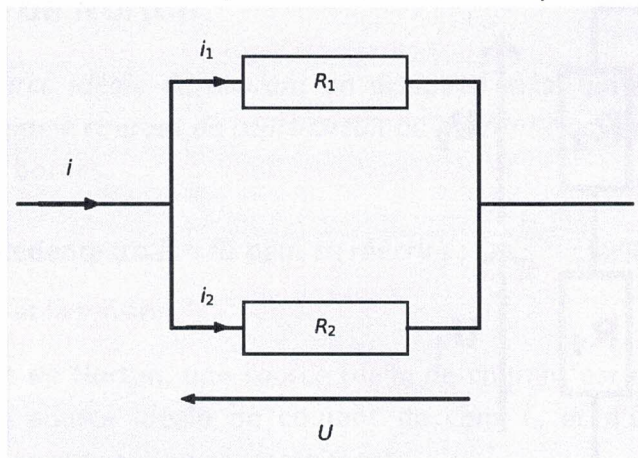


On remplace R_2 et R_3 par leur résistance équivalente : $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \Leftrightarrow R_{eq} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}$, puis on utilise la relation du diviseur de tension : $U = \frac{R_{eq}}{R_1 + R_{eq}} U_e$.

8.2 Diviseur de courant

Dans le pont *diviseur de courant*, les résistances sont en parallèle :

Schéma 2.25



On cherche les courants traversant les deux résistances.

Loi d'Ohm : $i_1 = \frac{U}{R_1} = G_1 U$ et $i_2 = \frac{U}{R_2} = G_2 U$ où G_1 et G_2 sont les conductances.

Loi des nœuds : $i_e = i_1 + i_2 = (G_1 + G_2) U \Leftrightarrow U = \frac{i_e}{G_1 + G_2}$.

On en déduit les courants : $i_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} i_e$ et $i_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} i_e$ qui sont des fractions de l'intensité totale i_e .

On généralise ce résultat à n résistors en parallèle : $i_k = \frac{G_k}{\sum_{j=1}^n G_j} i_e$.