

1 Intensité du courant électrique

1.1 La charge électrique

Définition. La charge électrique est une propriété de la matière s'exprimant par une grandeur scalaire q dont l'unité est le coulomb (C). Elle vérifie les propriétés suivantes :

- ▷ q peut être positive ou négative.
- ▷ la charge électrique est additive : la charge d'un système composé de N charges $q_1, q_2, \dots, q_N$ est :

$$q = \sum_{i=1}^N q_i$$

- ▷ elle est quantifiée : q ne peut prendre comme valeurs que des multiples de la charge élémentaire, notée e et dont la valeur est $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C.
- ▷ elle se conserve. Il n'y a pas de disparition ou de création de charges.

Les atomes sont constitués de protons, de charge $+e$, de neutrons, de charge nulle et d'électrons de charge $-e$. La charge globale d'un atome est nulle.

Exemple

La charge d'un électron est :

$$-e = -1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$$

La charge de l'ion cuivre Cu^{2+} est :

$$q_{\text{Cu}^{2+}} = 2e = 3,20 \times 10^{-19} \text{ C}$$

La matière usuelle est globalement neutre. Si elle contient des cations, ils sont associés à des anions de façon à maintenir l'ensemble neutre.

Exemple

Le cation sodium Na^+ et l'anion chlorure Cl^- forment le chlorure de sodium NaCl (principal constituant du sel de table). Le cation magnésium Mg^{2+} est associé à deux anions chlorure Cl^- pour ainsi former le chlorure de magnésium MgCl_2 .

1.2 Conducteurs électriques

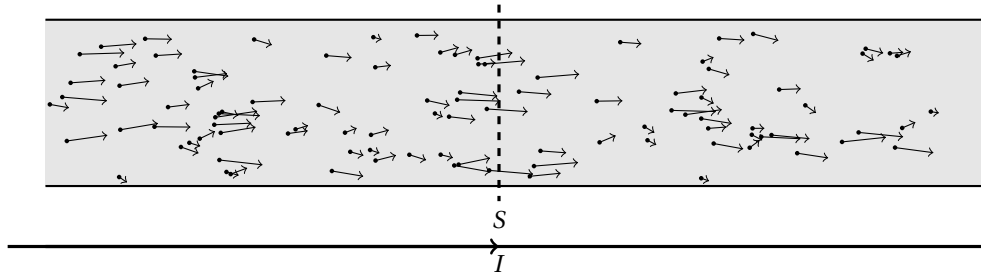
Définition. Un **conducteur** est un matériau à l'intérieur duquel il existe des particules chargées pouvant se déplacer librement. Ils se distinguent des **isolants** qui en sont dépourvus.

- ▷ Dans un métal, les métaux sont reliés entre eux par la liaison métallique qui consiste en la mise en commun d'électrons. Ces électrons peuvent se déplacer dans tout le métal et sont appelés **électrons de conduction** (ou électrons libres).
- ▷ Dans une solution ionique, les porteurs de charge libres sont les **ions**, qui se déplacent librement dans le solvant.

1.3 Courant et intensité électriques

Définition. Le **courant électrique** est un déplacement d'ensemble de charges électriques.

On schématise ci-dessous le courant électrique dans un fil de section S .



On note q la charge qui traverse la surface S pendant un temps Δt . Cette construction permet de donner une première définition de l'intensité électrique comme :

$$I = \frac{q}{\Delta t}$$

Par définition, le sens du courant est opposé à celui des porteurs de charges négatifs, en particulier des électrons.

Remarque. Une charge est le produit d'une intensité électrique et d'un temps. L'ampère-heure indiqué sur les batteries est donc une unité de charge électrique.

$$1 \text{ A} \cdot \text{h} = 3600 \text{ A} \cdot \text{s} = 3600 \text{ C}$$

Sur une batterie de démarrage d'une voiture, on peut lire $q = 50 \text{ A} \cdot \text{h}$ donc :

$$q = 1,8 \times 10^5 \text{ C}$$

Dans le cas d'un courant variable, pour obtenir l'expression de l'intensité, il faut prendre l'intervalle de temps Δt le plus petit possible :

$$i = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{q}{\Delta t} = \frac{\delta q}{dt}$$

Définition. Notons δq la quantité infinitésimale de charge qui traverse la section du conducteur pendant la durée infinitésimale dt . L'intensité électrique est le rapport de δq et de dt . Elle s'exprime en ampère (A).

$$i = \frac{\delta q}{dt}$$

Représentation et sens du courant Le courant est algébrique, il peut être positif ou négatif. On le représente par une flèche sur les fils électriques.

$$\xrightarrow{i} \quad = \quad \xleftarrow{-i}$$

Mesure de l'intensité d'un courant

Un courant se mesure en plaçant un **ampèremètre en série** dans un circuit.

Les ordres de grandeur des intensités sont très variables :

Intensité en entrée d'un oscilloscope	1 μ A
Intensité dans une diode électroluminescente	10 mA
Risque d'électrocution	50 mA
Ampoule à incandescence	0,5 A
Electroménager	10 A
Démarrreur automobile	100 A

1.4 Approximation des régimes quasi-stationnaires

Dans un fil, les électrons sont mis en mouvement par un **champ électrique**. La théorie électromagnétique nous montre que le champ électrique est une **onde** qui se déplace à la célérité $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Donc, s'il varie dans le temps avec une période T , il varie dans l'espace avec une période $\lambda = cT$. On peut alors considérer que le champ électrique est le même le long d'un fil si sa taille est beaucoup plus petite que la longueur d'onde λ .

Approximation des régimes quasi-stationnaires. L'ARQS est applicable si le temps caractéristique de variation T et la longueur L des fils sont tels que :

$$L \ll cT \quad \Longleftrightarrow \quad T \gg \frac{L}{c}$$

où c est la vitesse de la lumière dans le vide.

Application

L'ARQS est-elle valable pour :

- ▷ une expérience en TP à la fréquence $f = 1 \text{ kHz}$?

$$f = 1 \text{ kHz} \quad \text{donc} \quad T = 1 \text{ ms}$$

Il faut que la longueur du circuit soit très inférieure à cT soit $L \ll 300 \text{ km}$: l'ARQS est vérifiée.

- ▷ une ligne à haute tension EDF de 100 km séparant une centrale électrique d'une ville ?

$$f = 50 \text{ Hz} \quad \text{donc} \quad T = 20 \text{ ms}$$

Il faut que la longueur du circuit soit très inférieure à $cT = 6000 \text{ km}$: l'ARQS est quasiment vérifiée.

- ▷ une antenne FM, de longueur $L = 1 \text{ m}$?

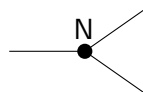
$$f = 100 \text{ MHz} \quad \text{donc} \quad T = 10 \text{ ns}$$

Il faut que la longueur du circuit soit très inférieure à $cT = 3 \text{ m}$: l'ARQS n'est pas vérifiée.

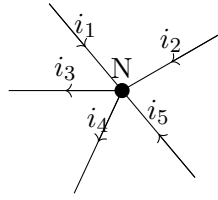
L'étude de l'électronique se place dans le cadre de l'ARQS.

1.5 Loi des nœuds

Définition. Un **nœud** est un point où sont connectés au moins trois fils.



Loi des nœuds. Dans le cadre de l'ARQS, il n'y a pas d'accumulation de charge en un endroit donné. La somme des courants arrivant sur un nœud est égale à la somme des courants en partant.

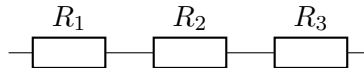


$$i_1 + i_2 + i_5 = i_3 + i_4$$

Si $i_1 = 1 \text{ A}$, $i_2 = 3 \text{ A}$, $i_3 = -0,5 \text{ A}$ et $i_4 = 2 \text{ A}$:

$$i_5 = i_3 + i_4 - i_1 - i_2 = -2,5 \text{ A}$$

Définition. Une **branche** est une portion de circuit entre deux nœuds consécutifs.



L'intensité circulant dans les trois résistances R_1 , R_2 et R_3 est la même.

Définition. Un dipôle est un composant électronique relié au circuit par deux fils de connexion. On parlera de tripôle, quadripôle, ... s'il y a 3, 4, ... fils de connexion.

Définition. Deux dipôles sur une même branche sont **en série**. Ils sont parcourus par le même courant.

2 Potentiel et tension électrique

Nous n'avons pas donné jusqu'ici de cause au déplacement des porteurs de charges, simplement donné un moyen de le quantifier.

2.1 Potentiel

Il est possible de définir une grandeur physique, nommée potentiel électrique, en tout point d'un circuit. Plus un corps est à un potentiel élevé, plus il va attirer les charges négatives. Elle est liée au champ électrique, qui permet d'exprimer la force subie par les particules chargées.

Analogie hydraulique. La force responsable du mouvement de l'eau d'une rivière est la gravitation. L'eau se déplace des zones d'altitudes les plus élevées vers l'altitude la plus basse.

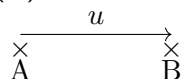
- Comme l'altitude, le potentiel sera pris par rapport à une référence (le niveau de la mer pour les altitudes) et seules les différences de potentiel auront une influence.
- Le débit d'eau est alors l'analogue du courant.

2.2 Tension électrique

Définition. La **tension électrique** entre deux points A et B correspond à la différence de potentiel électrique entre ces points :

$$u = V_B - V_A$$

et elle s'exprime en volts (V). Dans les schémas électrique, les tensions se représentent par des flèches allant du point initial (A) vers le point final (B).



Masse : Nous pouvons décréter arbitrairement que le potentiel en un point est nul. Ce point détermine la masse du circuit. On le schématise ainsi :

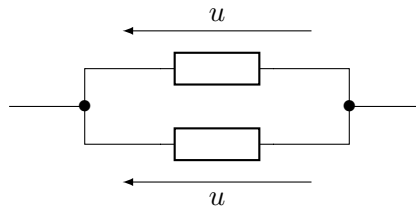


C'est l'analogie du niveau de la mer pour les altitudes. On a alors, aux bornes d'un point A et de la masse :

$$u = V_A - V_M = V_A$$

Remarque. La tension aux bornes d'un fil est nulle. De façon équivalente, le potentiel le long d'un fil est constant.

Association en parallèle.



Définition. Deux dipôles reliés à deux mêmes nœuds sont **en parallèle** (ou en dérivation). Ils sont soumis à la même tension.

Mesure d'une tension

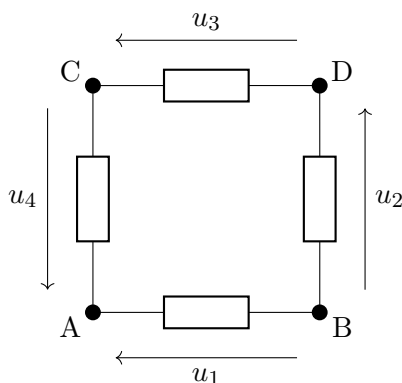
Une tension est mesurée avec un **voltmètre en parallèle** aux deux points considérés.

Les tensions sont assez standardisées :

Tension domestique (entre le neutre et la phase)	230 V
Tensions en électronique	5 V
Haute tension	250 ou 400 kV
Électrification ferroviaire	25 kV (nord de la France)

2.3 Additivité des tensions et loi des mailles

Additivité des tensions.



$$\underbrace{V_A - V_B}_{u_1} = \underbrace{V_A - V_C}_{u_4} + \underbrace{V_C - V_D}_{u_3} + \underbrace{V_D - V_B}_{u_2}$$

$$u_1 = u_2 + u_3 + u_4$$

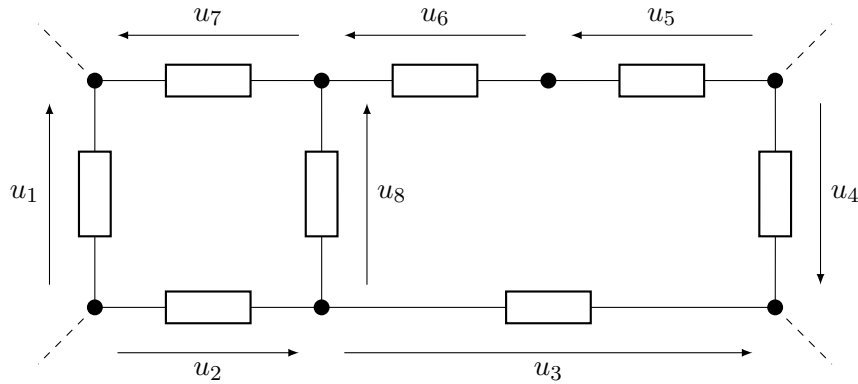
C'est une règle analogue à celle des vecteurs.

Loi des mailles.

Loi des mailles. La somme algébrique des tensions le long d'une maille est nulle.

Pour appliquer cette loi fondamentale, il faut

- sommer toutes les tensions dans le même sens ;
- sommer toutes les tensions allant en sens inverse ;
- égaliser ces deux sommes.



On peut écrire, dans la maille de droite :

$$u_3 + u_5 + u_6 = u_4 + u_8$$

On peut écrire, sur la grande maille :

$$u_2 + u_3 + u_5 + u_6 + u_7 = u_4 + u_1$$

Et sur la maille de gauche :

$$u_2 + u_8 + u_7 = u_1$$

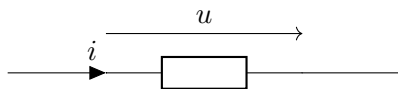
3 Étude énergétique d'un dipôle

3.1 Convention d'orientation

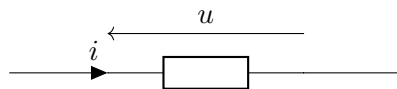
Le sens des flèches des courants et des tensions est *a priori* purement arbitraire. En effet, il s'agit d'un dessin sur un schéma qui ne traduit pas forcément les sens réels du courant et de la tension.

Définition.

- ▷ Lorsque les flèches représentant la tension et l'intensité sont dans le même sens (schéma a), on dit que l'orientation (le fléchage) est en **convention générateur**.
- ▷ Dans le cas contraire (schéma b), on dit que l'orientation (le fléchage) est en **convention récepteur**.



(a) Convention générateur



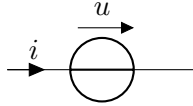
(b) Convention récepteur

3.2 Puissance échangée par un dipôle

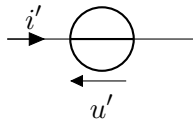
Puissance électrique.

- ▷ En convention **générateur**, le produit $\mathcal{P} = ui$ représente la puissance électrique **générée** par le dipôle. La puissance reçue est $-ui$.
- ▷ En convention **récepteur**, le produit $\mathcal{P} = ui$ représente la puissance électrique **reçue** par le dipôle. La puissance générée est $-ui$.

Soit un dipôle :



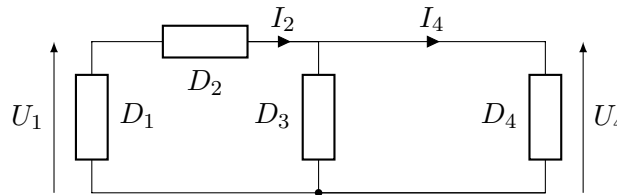
En convention générateur, la puissance générée par le dipôle est ui . Si on flèche le même composant en convention récepteur



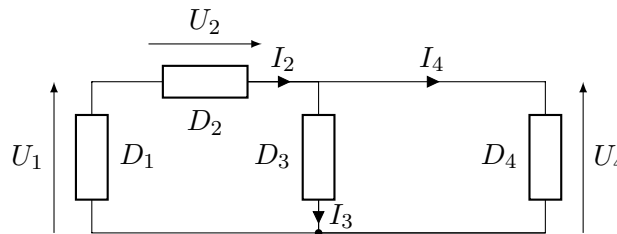
$u' = -u$ et $i' = i$. Dans ce cas, la puissance reçue par le dipôle est $u'i' = -ui$. C'est bien la même quantité. La réalité physique n'est pas atteinte par le choix des conventions (et heureusement !).

Application

Dans le circuit ci-dessous, orienter puis préciser les valeurs des tensions et des courants manquants puis préciser les puissance reçues par chaque dipôle. On prend $U_1 = -2$ V, $U_4 = -3$ V, $I_2 = -2$ mA, $I_4 = 1$ mA.



Correction : On commence par flécher (arbitrairement) les tensions et courants manquants. On tâche d'être économe, de ne pas flécher des courants ou tensions en doublon :



- La loi des nœuds donne $I_2 = I_3 + I_4$ donc $I_3 = -3$ mA. Ensuite, D_1 et D_2 sont en série.
 - La loi des mailles nous donne $U_1 + U_2 = U_4$ donc $U_2 = -1$ V. Ensuite, D_3 et D_4 sont en parallèle.
- Calculons maintenant les puissances :
- Comme le dipôle D_1 est fléché en convention **générateur**, la puissance **reçue** par ce dipôle vaut $-U_1 I_2 = -4$ mW.
 - Comme le dipôle D_2 est fléché en convention **générateur**, la puissance **reçue** par ce dipôle vaut $-U_2 I_2 = -2$ mW.

- Comme le dipôle D_3 est fléché en convention **récepteur**, la puissance **reçue** par ce dipôle vaut $U_4 I_3 = +9 \text{ mW}$.
- Comme le dipôle D_4 est fléché en convention **récepteur**, la puissance **reçue** par ce dipôle vaut $U_4 I_4 = -3 \text{ mW}$.

Les dipôles n°1, 2 et 4 reçoivent une puissance négative : ce sont en réalité des générateurs. Remarquons que la somme des puissances reçues est nulle.

4 Les résistances

4.1 La loi d'Ohm et effet Joule

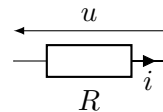
Lorsqu'un courant circule dans un matériau conducteur, les électrons sont freinés par les atomes de celui-ci. Il s'établit alors un équilibre entre la force de freinage et la force électrique. La force de freinage étant proportionnelle à la vitesse, le courant est alors proportionnel à la tension aux bornes du dipôle.

Cet effet est le principal dans des dipôles nommés conducteurs ohmiques ou résistors. Par abus de langage, on désignera le composant par le même nom que la grandeur physique qui le caractérise : la résistance.

Propriété. Dans un conducteur ohmique, en convention **récepteur**, la **loi d'Ohm** indique que :

$$u = Ri$$

avec R la valeur de la résistance en Ohm (Ω). R est une grandeur toujours positive.



On peut également définir aussi la grandeur $G = 1/R$: la conductance qui s'exprime en Siemens (S). La puissance reçue par une résistance est, en convention récepteur, $\mathcal{P}_{\text{reçue}} = ui$. Ainsi :

La puissance dissipée par une résistance vaut

$$P_{\text{dissipée}} = Ri^2 = \frac{u^2}{R} > 0$$

Cette puissance est toujours positive, la résistance est donc toujours un récepteur de courant. Cette puissance est dissipée dans le matériau sous forme de chaleur et entraîne une hausse de température. On parle de pertes par **effet Joule**. La quasi-totalité des composants ont un caractère résistif.

Application

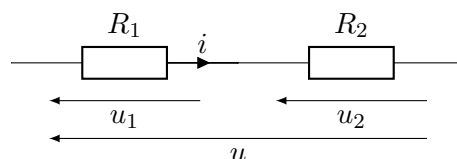
Calculer la résistance d'un radiateur électrique de 2000 W.

La puissance est $\frac{u^2}{R}$. Or la tension électrique du secteur est 230 V donc $R \approx 26 \Omega$.

4.2 Associations de résistances

4.2.1 Association en série

Considérons deux résistances R_1 et R_2 en série.



On écrit la loi d'additivité des tensions :

$$u = u_1 + u_2$$

Puis, d'après la loi d'Ohm appliquée aux deux résistances :

$$u_1 = R_1 i \quad \text{et} \quad u_2 = R_2 i$$

Ainsi :

$$u = R_1 i + R_2 i$$

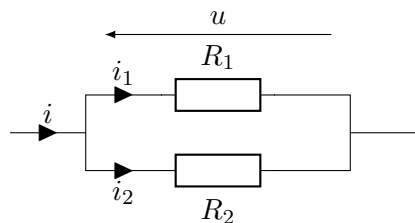
En convention récepteur, $u = (R_1 + R_2) i$: **tout se passe comme si on avait un seul conducteur ohmique de résistance équivalente $R_1 + R_2$** . On généralise aisément le résultat :

La résistance équivalente à n résistances $R_1, R_2, \dots, R_n$ **en série** est

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

4.2.2 Association en parallèle

Considérons deux résistances R_1 et R_2 en parallèle.



On écrit la loi des nœuds :

$$i = i_1 + i_2$$

Puis, d'après la loi d'Ohm, les dipôles étant soumis à la même tension u :

$$u = R_1 i_1 \quad \text{et} \quad u = R_2 i_2$$

Donc :

$$i_1 = \frac{u}{R_1} \quad \text{et} \quad i_2 = \frac{u}{R_2}$$

La loi des nœuds donne :

$$i = \frac{u}{R_1} + \frac{u}{R_2}$$

Ainsi, en convention récepteur,

$$u = \frac{i}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}}$$

On généralise aisément le résultat :

La résistance équivalente à n résistances $R_1, R_2, \dots, R_n$ **en parallèle** est telle que

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

Lorsque l'on a deux résistances, on écrit :

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

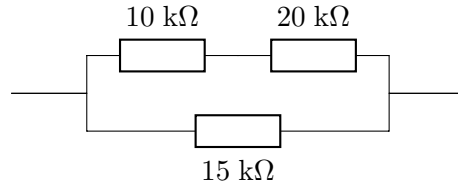
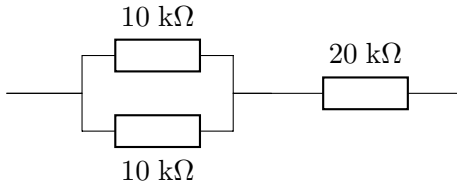
D'où :

$$R_{\text{eq}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

4.2.3 Recherche de résistances équivalentes

Application

Quelle est la résistance équivalente pour chacun des circuits ?



Dans le premier circuit, on détermine déjà la résistance équivalente aux deux résistances en parallèle :

$$\frac{10 \times 10}{10 + 10} = 5\text{ k}\Omega$$

Donc la résistance équivalente de l'ensemble est :

$$R_{\text{eq},1} = 5 + 20 = 25\text{ k}\Omega$$

Dans la seconde situation, on détermine déjà la résistance équivalente aux deux résistances en série :

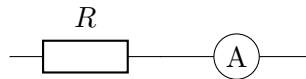
$$10 + 20 = 30\text{ k}\Omega$$

Donc la résistance équivalente de l'ensemble est :

$$R_{\text{eq},2} = \frac{15 \times 30}{15 + 30} = 10\text{ k}\Omega$$

4.3 Résistance d'entrée d'un appareil de mesure

Ampèremètre. Un ampèremètre est placé en série dans un circuit :

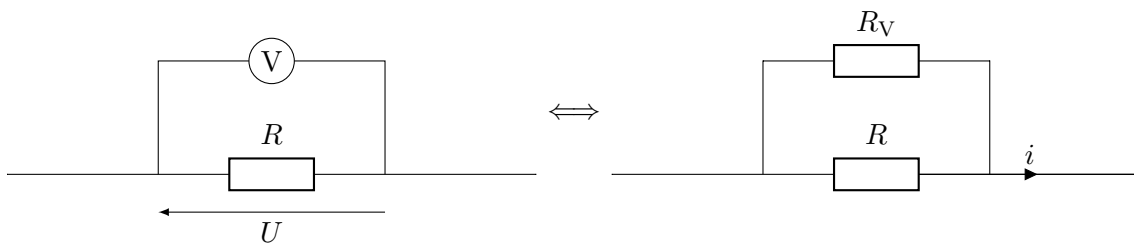


On peut en première approximation modéliser l'ampèremètre comme une résistance R_A . Ainsi, au lieu d'avoir une résistance R dans le circuit, on a une résistance $R + R_A$. La présence de l'ampèremètre n'affecte pas le circuit si :

$$R \gg R_A$$

L'ordre de grandeur de R_A va de $0,1$ à $10\ \Omega$ (cela dépend du calibre).

Voltmètre / oscilloscope. Les voltmètres et les oscilloscopes sont placés en parallèle de la tension à mesurer. Leur résistance doit être infinie pour qu'aucun courant ne passe dans l'appareil de mesure, et ainsi qu'il ne perturbe pas le montage électrique. En réalité, on peut en première approximation modéliser le voltmètre comme une résistance R_V .



Ainsi, au lieu d'avoir une résistance R dans le circuit, on a une résistance $RR_V / (R + R_V)$. La présence de l'ampèremètre n'affecte pas le circuit si :

$$R \ll R_V$$

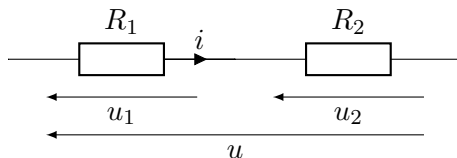
L'ordre de grandeur de R_V est de $10 \text{ M}\Omega$.

4.4 Les ponts diviseurs

Les ponts diviseurs sont des relations permettant de trouver des courants ou des tensions dans certains cas particuliers, sans repasser par l'écriture des lois des nœuds, des mailles et d'Ohm.

4.4.1 Le pont diviseur de tension

Dans le le circuit ci-dessous, u , R_1 et R_2 sont connus et on cherche u_1 (ou u_2).



On utilise l'additivité des tensions et la loi d'Ohm :

$$u = u_1 + u_2 = R_1 i + R_2 i = (R_1 + R_2) i$$

Donc :

$$i = \frac{u}{R_1 + R_2}$$

Ainsi :

$$u_1 = R_1 i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u \quad \text{et} \quad u_2 = R_2 i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u$$

Autrement dit, la tension se distribue majoritairement sur les « grandes » résistances.

Le **pont diviseur de tension** indique que

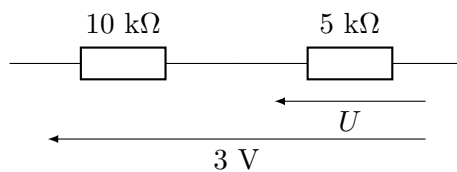
$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} u \quad \text{et} \quad u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} u$$

On peut facilement le généraliser pour n résistances en série $R_1, R_2, \dots, R_n$:

$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + \dots + R_n} u$$

Application

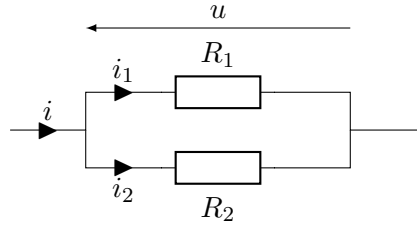
Combien vaut la tension U dans le circuit ci-dessous ?



$$U = \frac{5}{5 + 10} \times 3 \text{ V} = 1 \text{ V}$$

4.4.2 Le pont diviseur de courant

Dans le circuit ci-dessous, i , R_1 et R_2 sont connus et on cherche i_1 (ou i_2).



On écrit la loi des nœuds $i = i_1 + i_2$ ainsi que les lois d'Ohm $u = R_1 i_1$ et $u = R_2 i_2$. Ainsi :

$$i = \frac{u}{R_1} + \frac{u}{R_2} = u \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Ainsi :

$$i_1 = \frac{u}{R_1} = \frac{1/R_1}{1/R_1 + 1/R_2} i \quad \text{et} \quad i_2 = \frac{u}{R_2} = \frac{1/R_2}{1/R_1 + 1/R_2} i$$

Le pont diviseur de courant indique que

$$i_1 = \frac{1/R_1}{1/R_1 + 1/R_2} i = \frac{G_1}{G_1 + G_2} i \quad \text{et} \quad i_2 = \frac{1/R_2}{1/R_1 + 1/R_2} i = \frac{G_2}{G_1 + G_2} i$$

On peut aisément généraliser cette formule :

$$i_1 = \frac{G_1}{G_1 + G_2 + \dots + G_n} i = \frac{1/R_1}{1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n} i$$

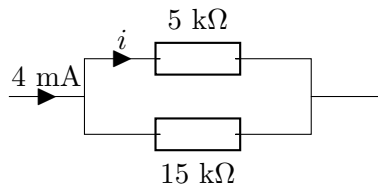
Dans le cas de deux résistances, on peut écrire :

$$i_1 = \frac{1/R_1}{1/R_1 + 1/R_2} i = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i \quad \text{et} \quad i_2 = \frac{1/R_2}{1/R_1 + 1/R_2} i = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i$$

Les résistances sont inversées : le courant va préférentiellement là où la résistance est basse. Néanmoins, l'utilisation de ces deux dernières formules est dangereuse et n'est pas généralisable.

Application

Combien vaut le courant i dans le circuit ci-dessous ?



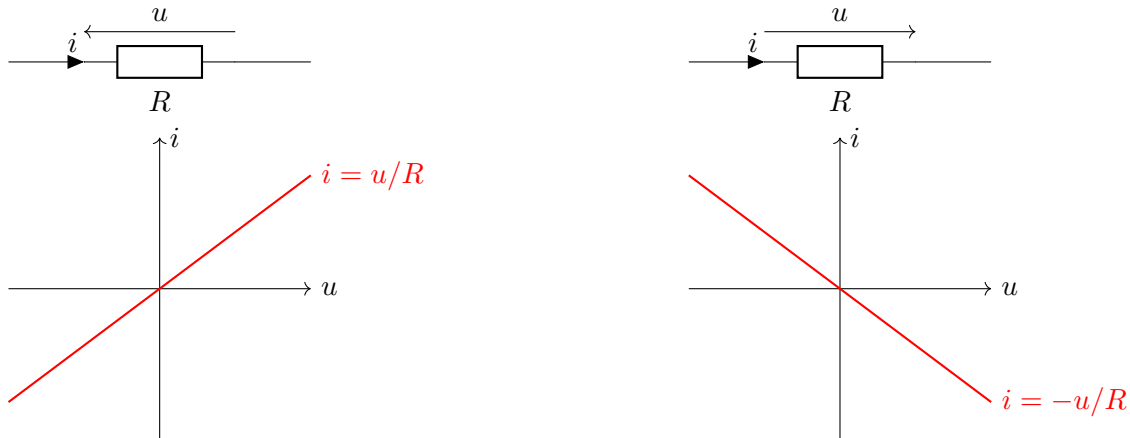
$$i = \frac{15}{5 + 15} \times 4 \text{ mA} = 3 \text{ mA}$$

5 Caractéristique d'un dipôle

Lorsque la fonction $u = f(i)$ ne dépend pas du temps, on peut tracer la courbe $u = f(i)$ qui est nommée caractéristique statique du dipôle.

Définition. On appelle caractéristique courant-tension d'un dipôle le graphique donnant $u = f(i)$ ou $i = f(u)$ en précisant la convention choisie.

Pour une résistance :



- Un dipôle est dit **linéaire** si sa caractéristique est une droite. Dans le cas contraire, il est dit non-linéaire.
- Un dipôle est dit **passif** si sa caractéristique passe par $(u = 0, i = 0)$. Il est dit actif dans le cas contraire.
- Un dipôle est dit **symétrique** si sa caractéristique est une fonction impaire, et non-symétrique dans le cas contraire.

Exemple

- | Une résistance électrique est un dipôle passif, linéaire et symétrique.

6 Les générateurs de tension et de courant

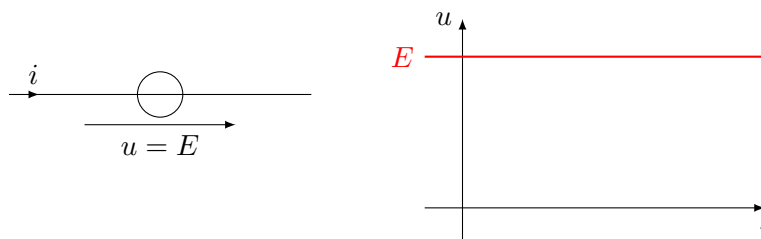
6.1 Le générateur de tension

Un générateur de tension est alimenté par une source d'énergie extérieure au circuit (EDF, énergie chimique pour les piles). **Il impose une tension**, le courant débité est lui imposé par le reste du circuit électrique.

6.1.1 Générateur idéal de tension

Définition. Un générateur est dit **idéal** si la tension imposée est constante quelle que soit le courant débité.

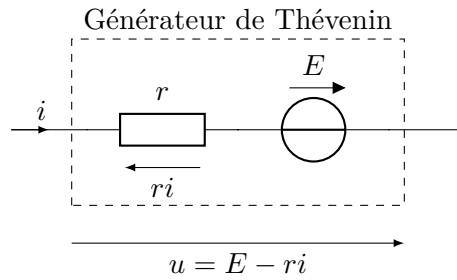
Schéma et caractéristique courant/tension.



On le représente usuellement en convention générateur.

6.1.2 Générateur de tension réel

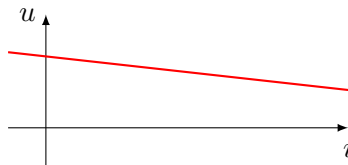
Dans un générateur réel, il y a toujours des effets résistifs qui font que la tension imposée et le courant débité sont liés. Un générateur réel est donc **modélisé** par un **générateur de Thévenin** :



Caractéristique courant/tension. On a alors :

$$u = E - ri$$

E est appelée la **force électromotrice** (fém) du générateur et r sa **résistance interne**.

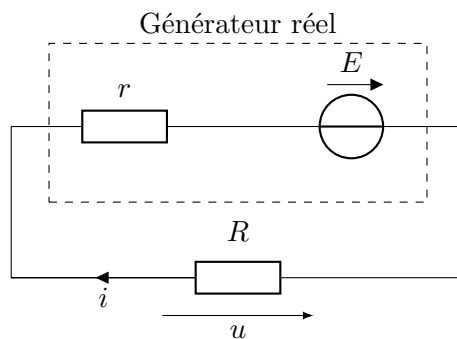


Remarque. L'intensité maximale est écrite sur la batterie et permet d'obtenir un ordre de grandeur de la résistance interne d'une batterie.

$$r = \frac{U}{I_{\max}} \approx 0,12 \, \Omega$$

6.1.3 Résistance de sortie

Prenons un générateur réel (force électromotrice E , résistance interne r) pour alimenter une résistance R .



Au bornes de la résistance R , on a une tension (d'après la formule du pont diviseur de tension) :

$$u = \frac{R}{R + r} E$$

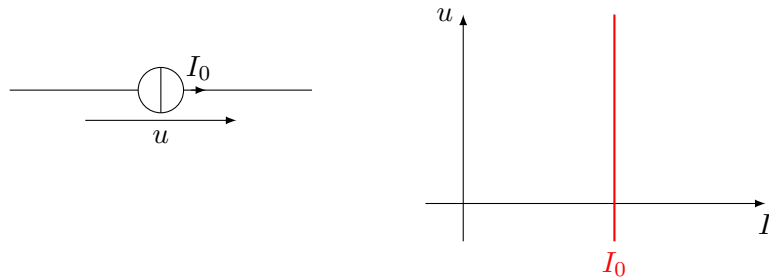
et non $u = E$. Si $R \gg r$, cet effet est négligeable et on a $u \approx E$.

6.2 Le générateur de courant idéal

Un générateur de courant impose un courant, la tension à ses bornes est **quelconque**, imposée par le reste du circuit électrique.

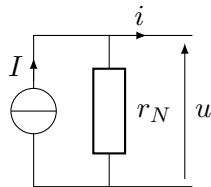
Définition. Un générateur de courant est dit **idéal** si le courant débité ne dépend pas de la tension à ses bornes.

Schéma et caractéristique courant/tension.



Tout comme le générateur de tension, on le représente usuellement en convention générateur.

Remarque. Comme pour le générateur de tension, en réalité, des effets résistifs limitent la tension aux bornes du générateur lorsque le courant débité est très élevé. On modélise un générateur de courant réel ainsi (cette modélisation, dite de Norton, totalement équivalente à celle de Thévenin, n'est pas à connaître) :



6.3 Alimentation stabilisée

En TP, nous utiliserons parfois des **alimentations stabilisées**. Un système d'asservissement permet de maintenir une tension délivrée égale à la tension de consigne et de compenser l'effet de la résistance de sortie, tant que le courant demandé n'est pas trop grand. La caractéristique est la suivante :

