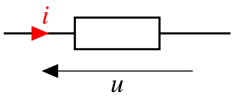
CHAPITRE 5 — Générateurs linéaires et circuits résistifs

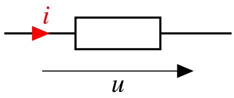
1 Modélisation des résistors et des générateurs linéaires

1.1 Relation courant-tension d'un dipôle

Un dipôle est un composant électronique qui, branché dans un circuit fermé, est parcouru par un courant d'intensité i et aux bornes duquel on peut mesurer une tension u. Sur un schéma le sens de i et de u peut être choisi arbitrairement et correspond aux conventions générateur ou récepteur évoquées au chapitre précédent.



Convention récepteur



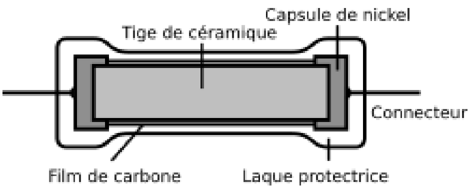
Convention générateur

Relation courant-tension

Nous admettons que pour tout dipôle, en régime stationnaire ou bien en régime lentement variable, il existe une relation mathématique du type $\boxed{u = f(i)}$ entre la tension et l'intensité, avec f une fonction caractéristique de la nature du dipôle. Une telle relation caractérise le comportement électrique du dipôle.

⚠ Pour éviter toute ambiguïté sur les signes il est indispensable de préciser la convention (générateur ou récepteur) lorsqu'on écrit une relation courant-tension.

1.2 Résistor



Un résistor est un composant électronique servant des fonctions diverses en électronique, notamment dans le traitement des signaux. Sa fonction première est de limiter l'intensité du courant. Les résistors à couche de carbone, parmi les plus courants, sont constitués d'un cylindre isolant en céramique entouré d'une fine couche de carbone conducteur (voir ci-dessus). Un résistor n'empêche pas la circulation de charges mais lui fait obstacle, de sorte que l'intensité est plus faible en présence du résistor qu'avec un simple fil nu.

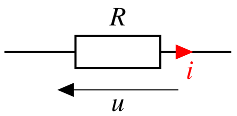
Loi d'Ohm

La relation courant-tension d'un résistor est appelée **loi d'Ohm**. Elle énonce que la tension aux bornes d'un résistor est proportionnelle à l'intensité. *En convention récepteur* elle s'écrit :

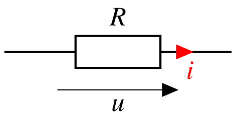
$$\boxed{u = Ri}$$

La constante de proportionnalité R est appelée la **résistance** du résistor. Elle s'exprime en ohms (Ω).

La loi d'Ohm s'écrit avec un signe différent selon que l'on est en convention récepteur ou générateur. Il faut y être très vigilant lorsque l'on mène des calculs.



Convention récepteur : $\boxed{u = Ri}$

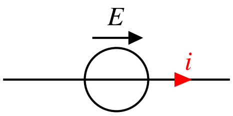


Convention générateur : $\boxed{u = -Ri}$

1.3 Source idéale de tension

Relation courant-tension d'une source idéale de tension

Une source idéale de tension est un composant électronique *théorique* dont la relation courant-tension est du type $\boxed{u = E \ \ \forall I}$ avec E une tension *indépendante de l'intensité* appelée **force électromotrice** (parfois notée f.e.m., en V). Elle est généralement représentée en convention générateur, avec le symbole suivant.



1.4 Générateur linéaire

Relation courant-tension d'un générateur linéaire

Un générateur linéaire est un dipôle capable de fournir de l'énergie électrique au circuit et dont la relation courant-tension est affine. *En convention générateur* elle s'écrit sous la forme :

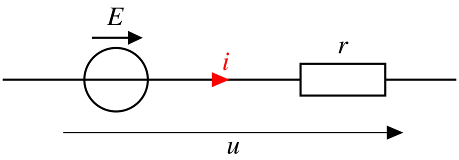
$$\boxed{u = -ai + b}$$

avec a et b des constantes positives.

La constante a est homogène à une résistance électrique tandis que b est homogène à une tension. En choisissant les notations suivantes : $a = r$ et $b = E$, nous obtenons comme relation courant-tension $u = E - ri$. En vertu de la loi d'additivité des tensions cette relation est semblable, d'un point de vue électrique, à celle d'une association en série d'une source idéale de tension de force électromotrice E et d'un résistor de résistance r. On parle de **modèle de Thévenin** du générateur linéaire.

Modèle de Thévenin

Un générateur linéaire peut être vu comme l'association en série d'une source idéale de tension et d'un résistor.



La relation courant-tension en convention générateur s'écrit $\boxed{u = E - ri}$, avec E la **force électromotrice** du générateur et r sa **résistance interne**.

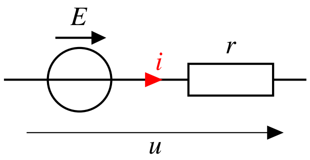
1.5 Caractéristique statique d'un générateur linéaire

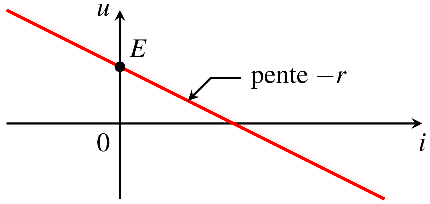
Caractéristique statique

La caractéristique statique d'un dipôle est la représentation graphique de la relation entre la tension et le courant, mesurés **en régime stationnaire**. En pratique on distingue deux sortes de graphes :

- Le graphe de la fonction $u = f(i)$ est appelé caractéristique courant-tension (intensité en abscisses, tension en ordonnées) ;
- le graphe de la fonction $i = g(u)$ est appelé caractéristique tension-courant (tension en abscisses, intensité en ordonnées).

La caractéristique statique d'un générateur linéaire est une droite ne passant pas par l'origine. En convention générateur elle possède une pente négative. On peut accéder aux paramètres E et r du modèle de Thévenin par lecture graphique, comme l'illustre la caractéristique courant-tension ci-dessous.

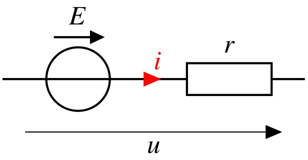


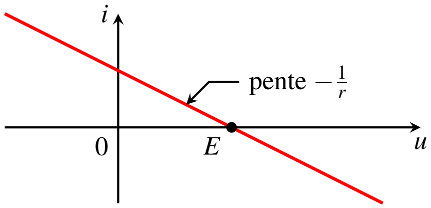


On peut exprimer la relation tension-courant dans le modèle de Thévenin :

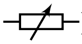
$$i = -\frac{u}{r} + \frac{E}{r}$$

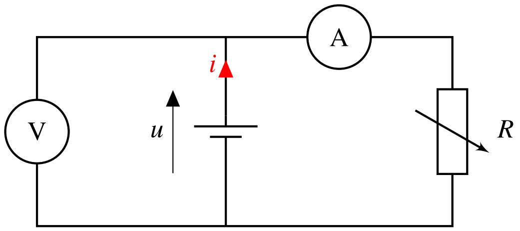
La caractéristique tension-courant permet également d'accéder à E et r.





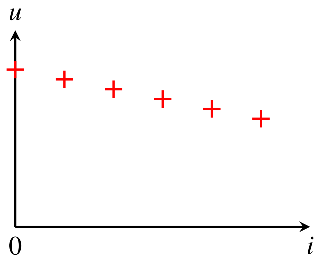
1.6 Montage expérimental pour le tracé d'une caractéristique statique

Une méthode simple consiste à réaliser un circuit fermé dans lequel le générateur linéaire est connecté à une résistance variable (symbole ). Deux multimètres permettent de mesurer la tension et l'intensité.



Les multimètres permettent de lire un couple (i, u) appartenant à la caractéristique du générateur. Ce couple correspond à **un point** sur la caractéristique. Pour obtenir d'autres points et donc l'allure globale de la caractéristique il faut pourvoir modifier l'intensité, ce que l'on fait en changeant la valeur de la résistance variable. Les mesures sont rassemblées dans un tableau et permettent de tracer une allure de caractéristique, sur feuille, à la calculatrice ou encore à l'ordinateur.

i (en mA)	0	100	200	300	400	500
u (en V)	3,2	3,0	2,8	2,6	2,4	2,2



On vérifie que le générateur est linéaire si la caractéristique statique est une droite, autrement dit si tous les points sont alignés.

Dans le montage proposé le voltmètre est en dérivation avec le générateur mais l'ampèremètre n'est pas en série, ce qui pose problème car, *a priori*, il n'affiche pas la valeur de i (voir exercice 3 du chapitre 4). Nous justifierons plus loin que l'intensité qui circule dans la branche d'un voltmètre est généralement très faible, ce qui revient à dire que l'on peut négliger l'erreur commise sur la valeur de i.

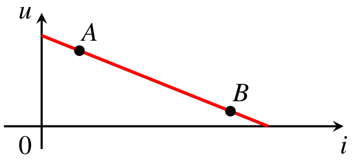
1.7 Déterminer les paramètres d'un modèle de Thévenin par lecture d'une caractéristique statique

En résumé

- La force électromotrice E se mesure à l'intersection de la caractéristique statique et de l'axe des tensions, il s'agit donc de la tension mesurée lorsque $i = 0$ (on parle également de *tension à vide*).
- La résistance interne s'obtient en mesurant le coefficient directeur, en calculant par exemple le taux d'accroissement entre deux points, ou bien en effectuant une **régression linéaire**.

▶ Mesurer un coefficient directeur

Prenons l'exemple de la caractéristique courant-tension. On note A et B deux points quelconques sur cette caractéristique. Le coefficient directeur $-r$ est égal au taux d'accroissement entre ces deux points :



$$-r = \frac{\Delta u}{\Delta i} = \frac{u_B - u_A}{i_B - i_A} \iff \boxed{r = -\frac{u_B - u_A}{i_B - i_A}}$$

Application 1

Une expérience a permis de mesurer la tension u aux bornes d'une pile et l'intensité i qui la parcourt, en convention générateur. Les valeurs sont rassemblées dans le tableau ci-dessous.

i (en mA)	0	23	80	120	160	196
u (en V)	4,63	4,59	4,50	4,43	4,37	4,31

1. Tracer la caractéristique courant-tension. Peut-on qualifier la pile de générateur linéaire ?

2. Déterminer la force électromotrice et la résistance interne de cette pile.

2 Résistances équivalentes

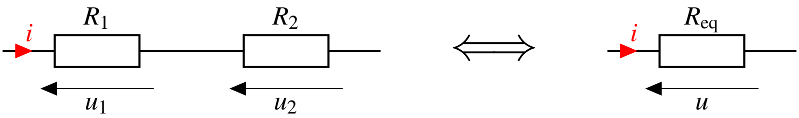
2.1 Résistors en série

Association en série de résistors

D'un point de vue électrique l'association en série de deux résistances R_1 et R_2 est équivalente à une résistance unique R_{eq} telle que :

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

Remarque : Cette propriété permet de simplifier le schéma électrique d'un circuit en réduisant le nombre de dipôles.



Il faut noter que lorsque l'on rassemble des résistances en série on fait disparaître du schéma certaines tensions. En effet sur l'exemple ci-dessus les tensions u_1 et u_2 disparaissent et sont remplacées par la tension $u = u_1 + u_2$ aux bornes de la résistance équivalente.

Remarque : Cette propriété se généralise immédiatement à un nombre quelconque de résistances en série : $\boxed{R_{eq} = \sum_k R_k}$.

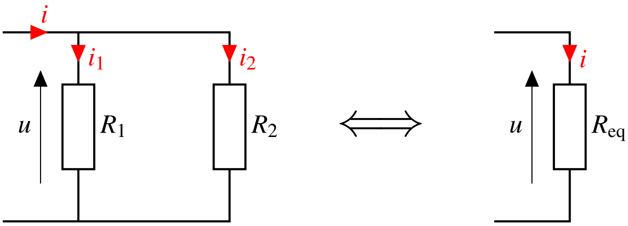
2.2 Résistors en dérivation

Association en dérivation de résistors

D'un point de vue électrique l'association en dérivation de deux résistances R_1 et R_2 est équivalente à une résistance unique R_{eq} telle que :

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

Remarque : Cette propriété permet de réduire le nombre de branches dans le schéma du circuit.



Il faut noter que lorsque l'on rassemble des résistances en dérivation on fait disparaître du schéma certaines intensités. En effet sur l'exemple ci-dessus les intensités i_1 et i_2 disparaissent et sont remplacées par l'intensité $i = i_1 + i_2$ dans la branche de la résistance équivalente.

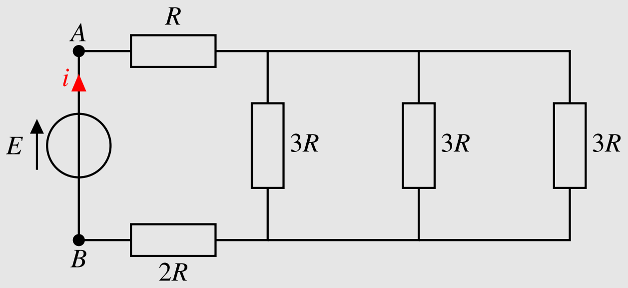
Remarque : Cette propriété se généralise immédiatement à un nombre quelconque de résistances en dérivation : $\boxed{\dfrac{1}{R_{\text{eq}}} = \sum_k \dfrac{1}{R_k}}$.

2.3 Mise en œuvre dans un circuit électrique

L'étude mathématique d'un circuit électrique consiste généralement à calculer certaines tensions ou intensités. Les résistances équivalentes permettent d'alléger le schéma et simplifier les calculs. Il n'est pas rare que plusieurs associations successives soient possibles, comme on va le voir avec l'exemple ci-dessous.

Exemple

Une source idéale de tension alimente un circuit constitué de plusieurs résistors. On donne $E = 8\,\text{V}$ et $R = 50\,\Omega$.

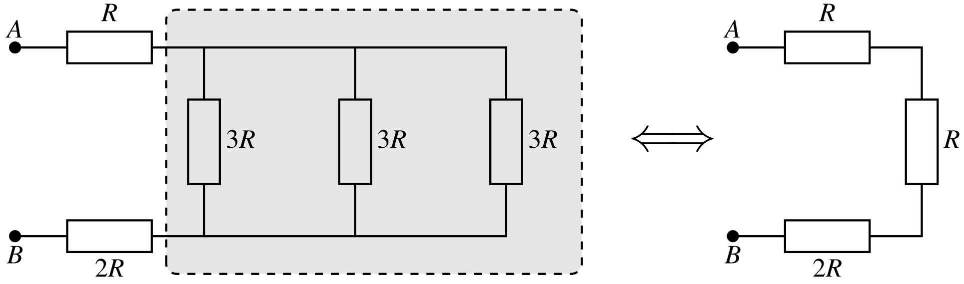


1. Déterminer la résistance équivalente entre A et B en fonction de R.

2. En déduire la valeur de l'intensité I dans la branche du générateur.

► **Associer des résistors**

On commence par associer les trois résistances en dérivation :



On justifie la valeur de la résistance équivalente. Les trois résistors sont en dérivation donc :

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{3R} + \frac{1}{3R} + \frac{1}{3R} = \frac{1}{R} \implies \boxed{R_{\text{eq}} = R}$$

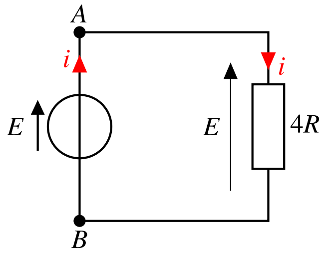
On aboutit à un circuit simple constitué de trois resistors en série ; on somme les résistances :

$$\boxed{R_{\text{AB}} = 4R}$$

► **Mettre en œuvre la loi d'Ohm**

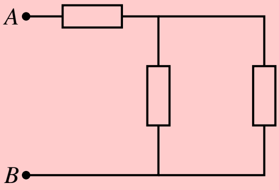
Le schéma du circuit se réduit finalement à une seule maille contenant la source idéale de tension et la résistance équivalente R_{AB}. On détermine l'intensité en appliquant la loi d'Ohm :

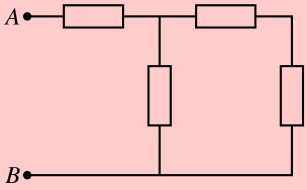
$$\boxed{i = \frac{E}{4R} = 40\,\text{mA}}$$

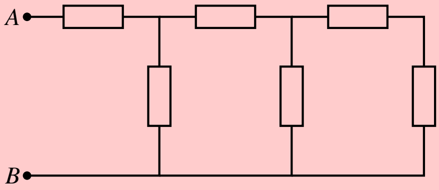


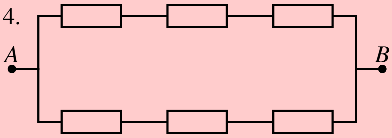
Application 2

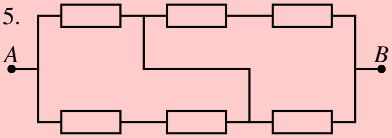
Calculer les résistances équivalentes des dipôles AB ci-dessous. Tous les résistors sont identiques, de résistance R.

1. 

2. 

3. 

4. 

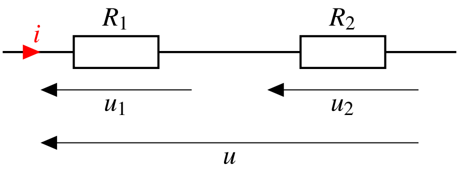
5. 

3 Calculs de tensions et d'intensités

3.1 Pont diviseur de tension

Loi du pont diviseur de tension

On appelle diviseur de tension un montage constitué de plusieurs résistors en série, qui permet de réduire la valeur d'une tension. On l'illustre sur l'exemple de deux résistors en série :



Si u est la tension aux bornes de l'ensemble $\{R_1, R_2\}$ alors les tensions u_1 et u_2 aux bornes de chacun des résistors valent :

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

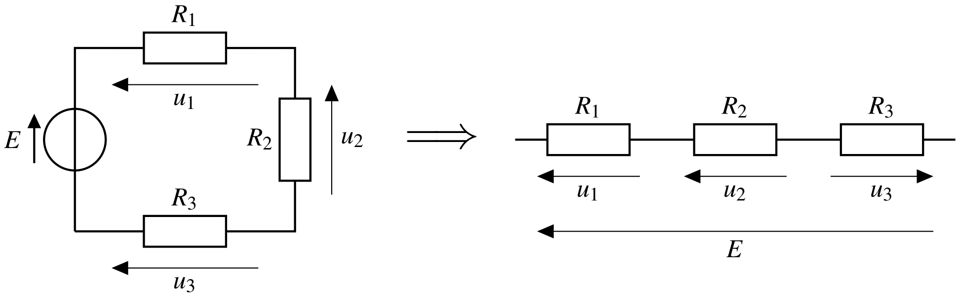
Chacune de ces deux tensions est proportionnelle à u et inférieure à u (en valeur absolue, car u pourrait tout à fait être négatif). Il y a bien une réduction de la tension, avec un facteur qui dépend des résistances choisies.

Remarque : Cette propriété se généralise immédiatement à un nombre quelconque de résistors en série. Avec les mêmes conventions d'orientation des tensions que sur le schéma ci-dessus, la tension u_j aux bornes d'une résistance R_j parmi un ensemble de résistances en série vaut :

$$\boxed{u_j = \frac{R_j}{\sum_k R_k} u}$$

Voici quelques exemples de circuits dans lesquels la loi du pont diviseur de tension s'applique.

Exemple 1 : À gauche on montre le schéma du circuit et à droite on "déroule" la branche contenant les résistors en série.



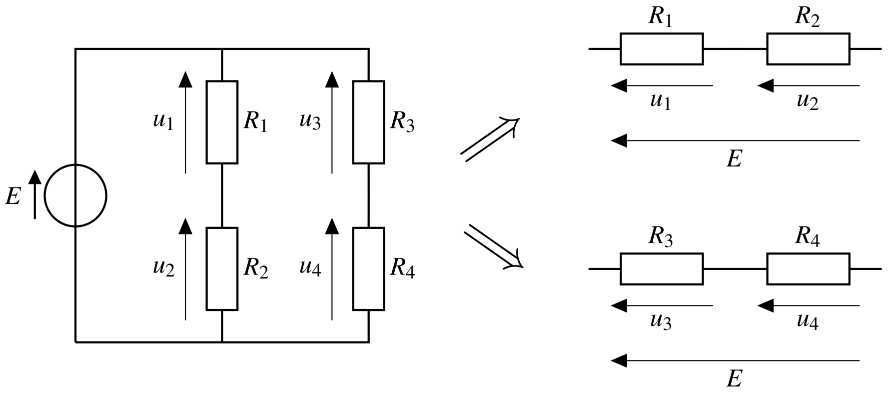
Dans ce montage la tension aux bornes de $\{R_1, R_2, R_3\}$ est égale à E. On peut donc écrire :

$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3}E \qquad \text{et} \qquad u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3}E$$

Attention au sens de la tension u_3 (orientée dans le sens contraire de E quand on "déroule" la branche contenant les résistors en série). Il faut donc écrire :

$$u_3 = -\frac{R_3}{R_1 + R_2 + R_3}E$$

Exemple 2 : À gauche on montre le schéma du circuit et à droite on "déroule" les branches dans lesquelles des résistors sont en série.



Dans ce montage les résistors R_1 et R_2 sont en série. La tension aux bornes de $\{R_1, R_2\}$ est égal à E. On en déduit que :

$$u_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2}E \qquad \text{et} \qquad u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2}E$$

De la même manière les résistors R_3 et R_4 sont en série et la tension aux bornes de $\{R_3, R_4\}$ est égal à E. On en déduit que :

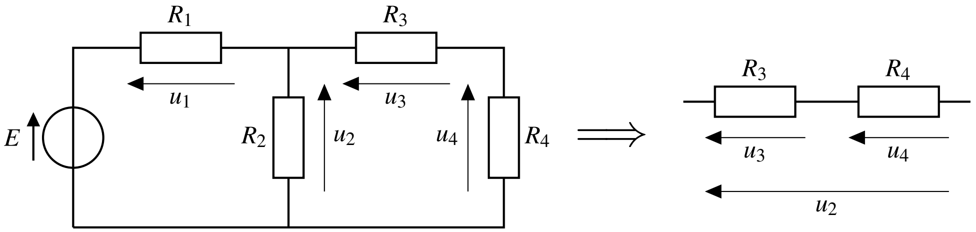
$$u_3 = \frac{R_3}{R_3 + R_4}E \qquad \text{et} \qquad u_4 = \frac{R_4}{R_3 + R_4}E$$

On note qu'aucun résistor n'est en série avec la source idéale de tension. Cele n'empêche pas d'appliquer la loi du pont diviseur de tension, qui nécessite uniquement qu'il y ait **des résistors** en série.

Exemple 3 : "Double" pont diviseur de tension (voir en haut de la page suivante).

Dans ce montage les résistances R_3 et R_4 sont en série et la tension aux bornes de $\{R_3, R_4\}$ est égale à u_2. On en déduit que :

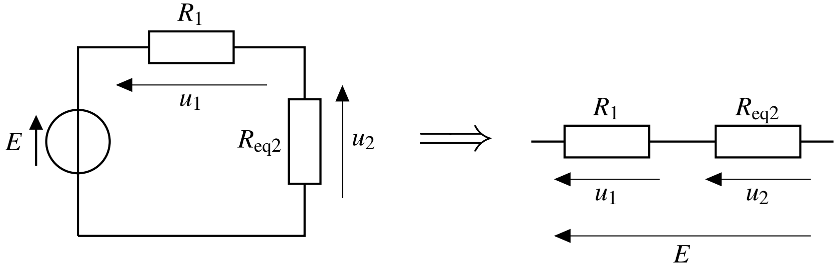
$$u_3 = \frac{R_3}{R_3 + R_4}u_2 \qquad \text{et} \qquad u_4 = \frac{R_4}{R_3 + R_4}u_2$$



Les résistances R_1 et R_2 **ne sont pas en série**. On ne peut pas appliquer la loi du pont diviseur de tension avec R_1 et R_2. En revanche on peut relier u_2 à E avec un peu d'astuce. On simplifie le schéma du montage avec des associations de resistors. On commence par rassembler R_3 et R_4 en série (résistance équivalente $R_{\text{eq1}} = R_3 + R_4$) puis on associe R_{eq1} et R_2 en dérivation. La résistance équivalente vaut alors :

$$R_{\text{eq2}} = \frac{R_2 R_{\text{eq1}}}{R_2 + R_{\text{eq1}}} = \frac{R_2(R_3 + R_4)}{R_2 + R_3 + R_4}$$

On montre ci-dessous le schéma équivalent.



Désormais on a les résistances R_1 et R_{eq2} en série. La tension aux bornes de $\{R_1, R_{\text{eq2}}\}$ est égale à E. On peut écrire :

$$u_2 = \frac{R_{\text{eq2}}}{R_1 + R_{\text{eq2}}} E$$

On peut finalement trouver une relation entre u_4 et E :

$$u_4 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} u_2 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot \frac{R_{\text{eq2}}}{R_1 + R_{\text{eq2}}} E$$

En résumé dans ce type de montage on peut relier u_4 à E en utilisant deux fois la loi du pont diviseur de tension :

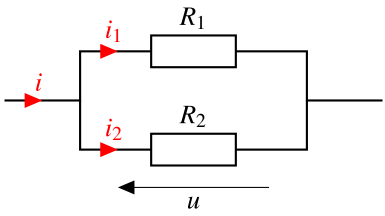
- un diviseur de tension avec R_1 et R_{eq2} permet de relier u_2 à E ;
- un diviseur de tension avec R_3 et R_4 permet de relier u_4 à u_2.

C'est la raison pour laquelle on parle ici de "double" pont diviseur de tension.

3.2 Pont diviseur de courant

Loi du pont diviseur de courant

On appelle diviseur de courant un montage constitué de plusieurs résistors en dérivation, qui permet de réduire la valeur d'une intensité. On l'illustre sur l'exemple de deux résistors en dérivation :



Si i est l'intensité dans l'ensemble des branches $\{R_1, R_2\}$ alors les intensités i_1 et i_2 dans les branches de chacun des résistors valent :

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

Chacune de ces deux intensités est proportionnelle à i et inférieure à i (en valeur absolue). Il y a bien une réduction de l'intensité, avec un facteur qui dépend des résistances choisies.

Remarque : Cette propriété se généralise immédiatement à un nombre quelconque de résistors en dérivation. Avec les mêmes conventions d'orientation des intensités que sur le schéma ci-dessus, l'intensité i_j aux bornes d'une résistance R_j parmi un ensemble de résistances en dérivation vaut : $\boxed{i_j = \frac{\frac{1}{R_j}}{\sum_k \frac{1}{R_k}} i}$.

3.3 Étude mathématique d'un circuit électrique

En résumé

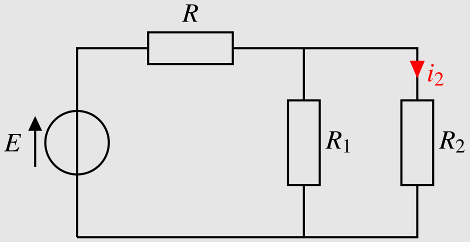
L'étude mathématique d'un circuit repose, dans la grande majorité des cas, sur un ou plusieurs des points suivants :

- simplifier le schéma d'un circuit avec des résistances équivalentes ;
- appliquer une loi de pont diviseur (de tension ou de courant) ;
- appliquer la loi d'Ohm.

Remarque : il n'est pas rare, dans un exercice, que plusieurs stratégies différentes permettent d'arriver au résultat, comme on va le voir avec l'exemple suivant.

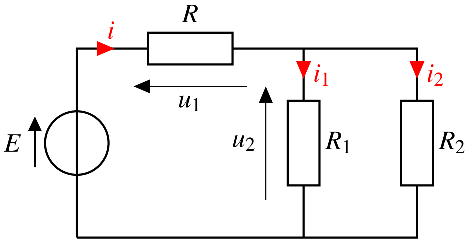
Exemple

On donne $E = 8{,}0\,\mathrm{V}$, $R = 25\,\Omega$, $R_1 = 60\,\Omega$ et $R_2 = 20\,\Omega$. Déterminer littéralement et numériquement l'intensité i_2.



► Annoter le schéma

On définit sur le schéma les intensités et tensions utiles.



► Réfléchir à une stratégie de résolution

Les résistances R_1 et R_2 sont en dérivation. On pense à la loi du pont diviseur de courant qui permettrait d'exprimer i_2 en fonction de i, mais on ne connaît pas i ! Pour obtenir celle-ci on peut utiliser des résistances équivalentes pour se ramener à un circuit à une seule maille.

Stratégie 1 :

- Simplifier le schéma avec des résistances équivalentes, puis déterminer i ;
- En déduire i_2 à l'aide de la loi du pont diviseur de courant.

On peut également calculer i_2 grâce à la loi d'Ohm $u_2 = R_2 i_2$, mais il faudrait connaître u_2. On obtient cette tension en rassemblant les résistances R_1 et R_2 en dérivation puis en appliquant la loi du pont diviseur de tension.

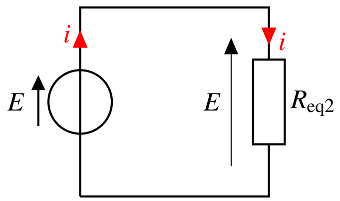
Stratégie 2 :

- Simplifier le schéma avec des résistances équivalentes, puis déterminer u_2 grâce à la loi du pont diviseur de tension ;
- En déduire i_2 avec la loi d'Ohm.

► **Stratégie 1**

On rassemble les résistances R_1 et R_2 en dérivation ($R_{\text{eq}1} = \frac{R_1 R_2}{R_1+R_2} = 15\,\Omega$) puis les résistances R et $R_{\text{eq}1}$ en série ($R_{\text{eq}2} = R + R_{\text{eq}1} = 40\,\Omega$).

On obtient le schéma équivalent ci-contre. On détermine l'intensité i en appliquant la loi d'Ohm :



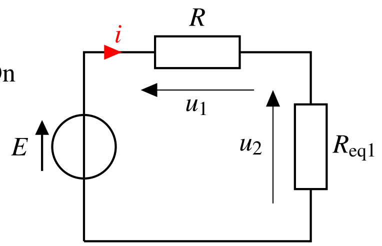
$$i = \frac{E}{R_{\text{eq}2}} = 0,20\,\text{A}$$

On applique la loi du pont diviseur de courant :

$$\boxed{i_2 = \frac{R_1}{R_1+R_2} i = 0,15\,\text{A}}$$

► **Stratégie 2**

Voici le schéma équivalent après avoir associé R_1 et R_2. On détermine u avec la loi du pont diviseur de tension



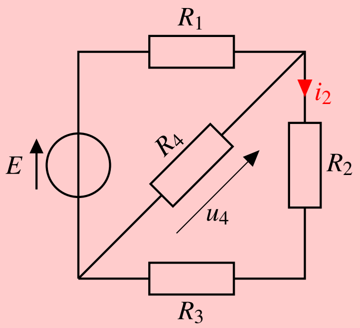
$$u_2 = \frac{R_{\text{eq}1}}{R + R_{\text{eq}1}} E = 3,0\,\text{V}$$

On applique la loi d'Ohm :

$$\boxed{i_2 = \frac{u_2}{R_2} = 0,15\,\text{A}}$$

Application 3

On donne $E = 12\,\text{V}$, $R_1 = 10\,\Omega$, $R_2 = 20\,\Omega$, $R_3 = 30\,\Omega$ et $R_4 = 40\,\Omega$. Calculer i_2 et u_4.



4 Résistance d'entrée, résistance de sortie

4.1 Résistance d'entrée d'un appareil de mesure

Résistance d'entrée d'un multimètre, d'un oscilloscope

En **régime stationnaire** un multimètre ou un oscilloscope est équivalent, d'un point de vue électrique, à un résistor. La résistance équivalente est appelée **résistance d'entrée** de l'appareil. Voici quelques ordres de grandeurs à retenir :

- La résistance d'entrée d'un multimètre utilisé en voltmètre ou ohmmètre est de l'ordre de $10\,\mathrm{M}\Omega$ (soit $10^7\,\Omega$). Elle ne dépend pas du calibre.
- La résistance d'entrée d'un oscilloscope est de l'ordre de $1\,\mathrm{M}\Omega$.
- La résistance d'entrée d'un multimètre utilisée en ampèremètre dépend du calibre utilisé. Elle est inférieure à $1\,\Omega$ sur le calibre le plus élevé et peut atteindre environ $10^2\,\Omega$ sur le calibre le plus bas.

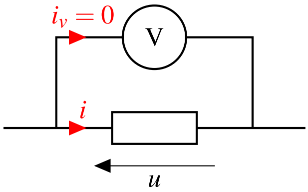
4.2 Modèle idéal d'un appareil de mesure

L'utilisation d'un appareil de mesure n'est *a priori* pas neutre et modifie les propriétés du circuit étudié. Un appareil est dit **idéal** si, au contraire, il n'a aucune influence électrique sur le circuit, c'est-à-dire si les tensions et intensités sont inchangées selon qu'on connecte ou pas l'appareil. Comme l'indique le mot *idéal*, un tel appareil n'existe pas en pratique mais on peut en faire l'approximation dans certains cas.

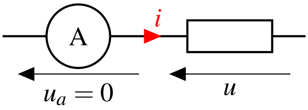
Voltmètre, ampèremètre idéal

Un appareil de mesure qui se branche en dérivation (voltmètre, ohmmètre, oscilloscope) est idéal s'il se comporte comme un **interrupteur ouvert**, c'est-à-dire s'il possède une résistance d'entrée **infinie**.

Un appareil de mesure qui se branche en série (ampèremètre) est idéal s'il se comporte comme un court-circuit, c'est-à-dire s'il possède une résistance d'entrée **nulle**.



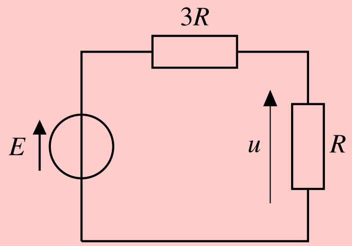
Voltmètre idéal



Ampèremètre idéal

Application 4

On réalise le montage ci-contre, avec $E = 20\,\mathrm{V}$.



1. On mesure u avec un voltmètre idéal. Quelle est la valeur affichée ?

2. En pratique la résistance d'entrée du voltmètre vaut $R_v = 10\,\mathrm{M\Omega}$ et on lit $u = 4,75\,\mathrm{V}$. Calculer R.

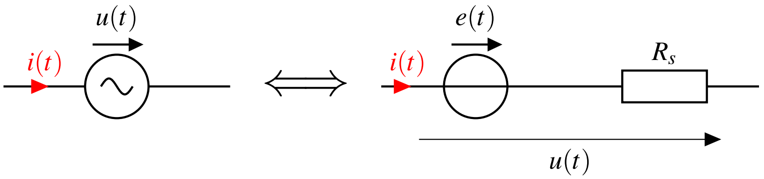
3. Calculer la valeur maximale de R pour que l'influence du voltmètre sur la valeur de u soit inférieure à $0,1\,\%$.

4.3 Résistance de sortie d'un générateur linéaire

La résistance interne d'un générateur linéaire est également appelée résistance de sortie. Sa présence peut avoir une influence sur le comportement du circuit.

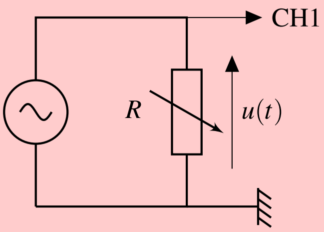
Résistance de sortie d'un GBF

Un générateur basse fréquence (ou GBF) permet d'alimenter un circuit avec des signaux alternatifs de formes variées (sinusoïde, rectangle, triangle), dans une bande de fréquence allant d'environ $1\,\mathrm{Hz}$ à quelques MHz. Il se comporte comme un générateur liénaire de résistance de sortie $\boxed{R_s = 50\,\Omega}$ (lorsqu'il est utilisé avec la sortie dite "OUTPUT 50 Ω").

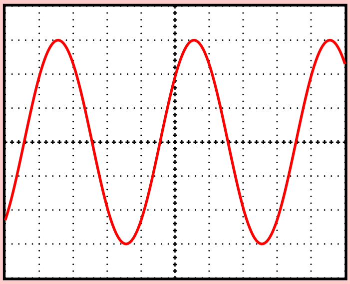


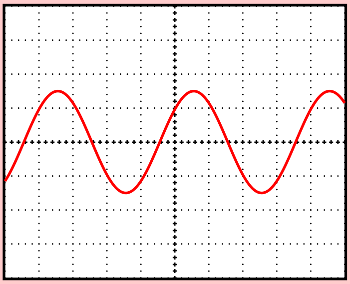
Application 5

On souhaite mesurer la résistance de sortie d'un GBF au laboratoire. Pour cela on connecte le GBF à une résistance variable et on observe à l'oscilloscope la tension aux bornes de ces deux dipôles. Les bornes de branchements de l'oscilloscope sont symbolisées par la flèche (CH1 signifie que l'on observe la tension sur la première voie d'entrée) et le symbole de masse.



On commence par fixer $R = \infty$ (la résistance variable se comporte comme un interrupteur ouvert) et on observe l'oscillogramme n°1 (voir ci-dessous). Ensuite on diminue progressivement la valeur de R jusqu'à obtenir l'oscillogramme n°2, montrant une tension deux fois plus faible que sur l'oscillogramme n°1 (la sensibilité verticale en V/div et la sensibilité horizontale en ms/div est la même pour les deux oscillogrammes).


Oscillogramme n°1


Oscillogramme n°2

1. En supposant l'oscilloscope idéal, expliquer comment cette expérience permet d'accéder à la valeur de la résistance de sortie du GBF.

2. On mesure $R_s = 50,0\,\Omega$ avec une incertitude-type $u(R_s) = 0,5\,\Omega$. Justifier que l'on peut négliger l'influence de la résistance d'entrée de l'oscilloscope.

5 Point de fonctionnement d'un circuit

Point de fonctionnement

Considérons un circuit fermé dans lequel deux dipôles sont connectés l'un à l'autre (voir schéma ci-dessous). Le couple (I,U) doit appartenir à la caractéristique statique du dipôle 1 en convention générateur, mais également à la caractéristique statique du dipôle 2 en convention récepteur. Autrement dit ce point est situé **à l'intersection de ces deux caractéristiques** et porte le nom de *point de fonctionnement* du circuit.

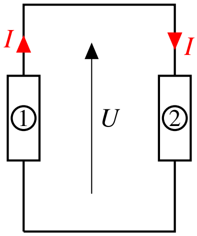
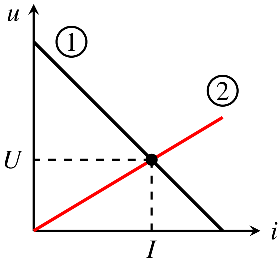


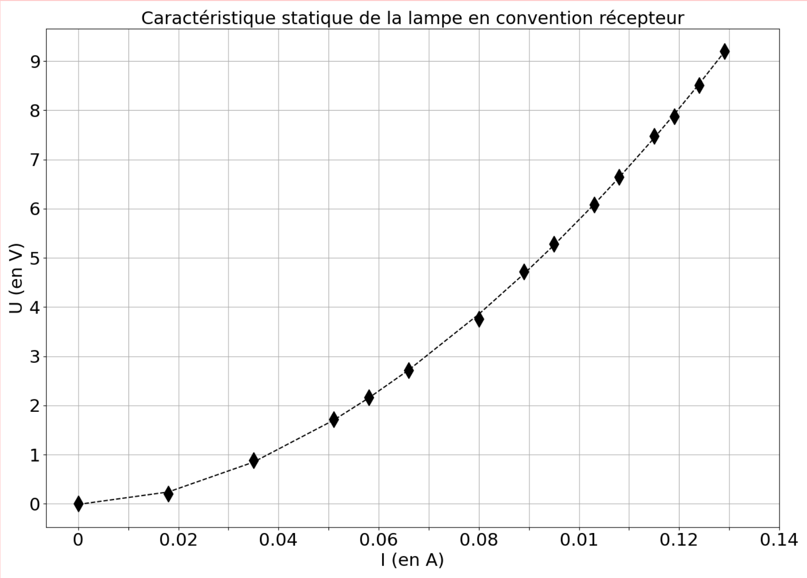
Schéma du montage



Point de fonctionnement

Application 6

Une expérience a permis d'obtenir la caractéristique statique d'une lampe à incandescence, en convention récepteur.



On alimente la lampe avec une pile de f.e.m. $E = 7\,\mathrm{V}$ et de résistance interne $r = 20\,\Omega$.

1. Représenter schématiquement le modèle de Thévenin équivalent à la pile. Déterminer l'équation $u = f(i)$ de la caractéristique courant-tension de la pile, en convention générateur, en fonction de E et r. Tracer son allure en la superposant au graphe ci-dessus.

2. Déterminer les coordonnées du point de fonctionnement puis calculer la puissance consommée par la lampe.