

Introduction aux circuits électriques

Ce chapitre sert de rappel aux principes d'électricité de base. On y verra les définitions de tension, courant, résistance, et puissance.

On verra aussi certains concepts de base des circuits électriques, comme les noeuds et les boucles. Ces concepts doivent être bien compris avant de passer à l'analyse de circuits plus complexes.

1.1 Révision des concepts d'électricité

L'électricité est produite par le mouvement d'électrons, généralement dans un conducteur. Dans les matériaux conducteurs, les électrons sont libres de se déplacer. Le conducteur le plus commun est le cuivre. Par exemple, dans les maisons, les fils conducteurs sont fabriqués de cuivre.

Il y a deux caractéristiques de base aux circuits électriques :

1. Tension v , dont l'unité est le *Volt* (V)
2. Courant i , dont l'unité est l'*Ampère* (A)

1.1.1 Tension

La tension est l'énergie nécessaire pour déplacer des charges q :

$$v = \frac{dw}{dq} \quad [\text{V}] \quad (1.1)$$

C'est semblable à l'énergie potentielle d'un corps : même si un corps ne bouge pas, il possède une énergie potentielle pour faire un travail. La tension représente l'énergie nécessaire pour faire bouger des charges électriques. Une tension de 1 Volt représente la différence de potentiel entre deux points si on utilise 1 Joule d'énergie pour déplacer une charge de 1 Coulomb.

C'est la différence de potentiel, la tension, qui crée le courant. Par analogie, la tension est équivalente à la pression d'un liquide. C'est un peu comme un réservoir d'eau : si on pompe de l'eau dans un réservoir qui est élevé, cette eau possède de l'énergie potentielle.

1.1.2 Courant

Le courant représente la quantité de charge qui se déplace à travers une certaine surface dans un certain interval de temps :

$$i = \frac{dq}{dt} \quad [\text{A}] \quad (1.2)$$

Un courant de 1 Ampère représente une charge nette de 1 Coulomb qui traverse une surface en 1 seconde (donc des Coulombs/seconde). Le courant électrique est semblable au mouvement de l'eau dans des tuyaux. Par analogie mécanique, c'est le débit (Litres/seconde).

Le sens du courant est une convention adoptée. Les électrons, qui sont négatifs, sont attirés par les charges positives, et donc se déplacent du - vers le +. Cependant, de manière historique, on dit que *le courant électrique se déplace du + vers le -*.

1.1.3 Élément idéal

Dans tout ce qu'on va faire dans ce cours, on considère que les éléments de circuit sont idéaux. L'élément de circuit idéal est donné à la figure 1.1.

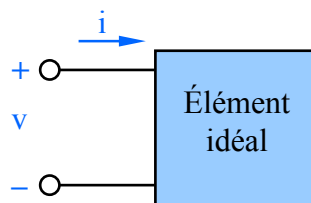


FIGURE 1.1 – Élément de circuit idéal

L'élément de circuit idéal possède deux bornes (une entrée pour le courant, et une sortie), et ne peut pas être divisé en quelque chose de plus petit.

La convention utilisée dans ce cours pour l'élément idéal est la suivante :

Si le courant et la tension sont donnés comme à la figure 1.1 (le courant entre dans la borne +), on utilise un signe positif (+) dans toute équation qui relie la tension au courant. Sinon, on utilise un négatif (-).

1.1.4 Puissance et énergie

Par définition, la puissance est la quantité d'énergie utilisée dans un laps de temps :

$$p = \frac{dw}{dt} \quad [\text{W}] \quad (1.3)$$

L'unité de la puissance est le Watt [W]. Pour produire le même travail, si on fait un travail plus rapidement, ceci implique une plus grande puissance.

On peut calculer la puissance électrique en notant que :

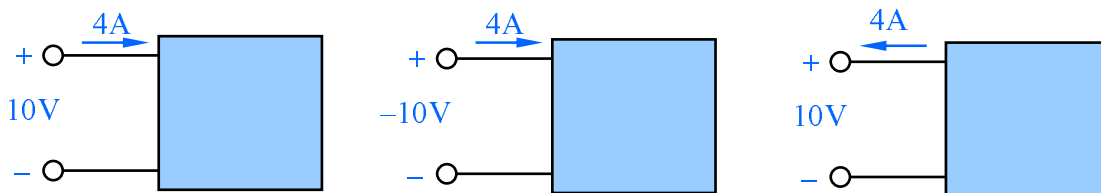
$$p = \frac{dw}{dt} = \frac{dw}{dq} \cdot \frac{dq}{dt} = vi \quad (1.4)$$

La référence utilisée est la suivante, selon la convention de la figure 1.1 :

- Si le courant va de + à -, la puissance est positive ($p > 0$), et l'élément *consomme* de la puissance
- Si le courant va de - à +, la puissance est négative ($p < 0$), et l'élément *fournit* de la puissance

EXEMPLE 1

Pour les trois éléments de la figure suivante, calculer la puissance et indiquer si l'élément consomme ou fournit de la puissance.



Dans le premier cas, $p = vi = (10)(4) = 40\text{W}$. Puisque la puissance est positive, l'élément consomme de la puissance.

Pour le deuxième cas, $p = (-10)(4) = -40\text{W}$. Puisque la puissance est négative, l'élément fournit de la puissance.

Pour le troisième cas, le courant est dans le sens contraire de la référence de la figure 1.1, donc c'est un courant négatif. On obtient $p = (10)(-4) = -40\text{W}$. Puisque la puissance est négative, l'élément fournit de la puissance.

1.2 Éléments de circuit

Il y a cinq éléments de base des circuits électriques. Ces cinq composantes sont des éléments linéaires, et seront ceux vus dans ce cours.

1. Source de tension
2. Source de courant
3. Résistance
4. Inductance
5. Condensateur

En électronique, on ajoute le transistor, qui est l'élément fondamental, et la diode.

1.3 Sources

Une source électrique est un dispositif qui convertit de l'énergie non électrique en énergie électrique. Exemples :

- Batterie : convertit de l'énergie chimique en énergie électrique
- Génératrice : convertit de l'énergie mécanique en énergie électrique
- Panneau solaire : convertit de la lumière en énergie électrique

1.3.1 Source de tension

Une source de tension maintient toujours la tension indiquée à ses bornes. Le courant qui traverse la source dépend du circuit externe. Quelques symboles de sources de tension sont montrés à la figure 1.2. Le premier symbole est le plus utilisé.

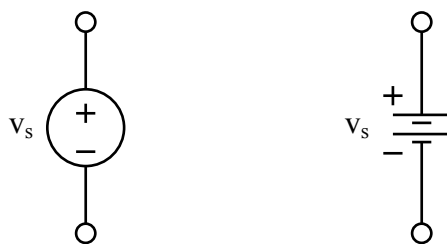


FIGURE 1.2 – Symboles pour sources de tension

Du côté pratique, une source de tension est, par exemple, une batterie. Des exemples sont donnés à la figure 1.3. Pour toutes ces source, la valeur de tension est constante, peu importe la charge à laquelle la source est branchée. Pratiquement, les sources réelles

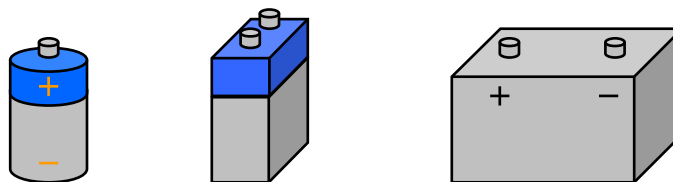


FIGURE 1.3 – Sources de tension

ne peuvent pas fournir un courant infini ; il y a un courant maximal que la source peut débiter. Ce courant maximum peut être quand même très élevé ; les batteries de voiture peuvent fournir jusqu'à 1000 A pendant 30 secondes. Par comparaison, il faut environ 70mA pour arrêter le coeur d'une personne.

Un autre exemple de source de tension est le réseau électrique. Dans les maisons, la tension disponible aux prises est toujours 120V, peu importe ce qui y est branché.

La tension est une grandeur algébrique, définie entre deux points. Si la tension est positive entre deux points a et b , elle est négative entre b et a , comme à la figure 1.4.

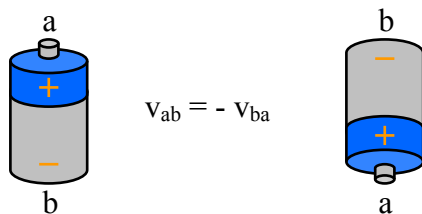


FIGURE 1.4 – Sources de tension

La méthode d'écrire v_{ab} veut dire la tension au point a (v_a) moins la tension au point b (v_b) :

$$v_{ab} = v_a - v_b \quad (1.5)$$

On peut brancher des sources de tension en série : la tension totale est alors la somme des tensions individuelles, comme à la figure 1.5. Chaque batterie a une tension de 1.5V ; la tension total, v_{ab} est 3V.

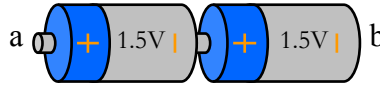


FIGURE 1.5 – Sources de tension en série

On ne peut pas, habituellement, brancher des sources de tension en parallèle. La seule façon de brancher des sources de tension en parallèle est de brancher des sources ayant exactement la même tension. La figure 1.6 montre deux exemples de branchements en parallèle : le premier branchement est permis, puisque les deux sources ont la même tension, tandis que le deuxième branchement n'est pas permis, car les deux sources ont des tensions différentes.

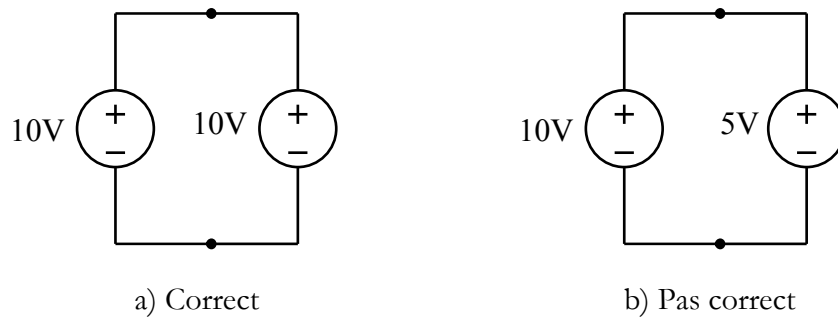


FIGURE 1.6 – Exemples de branchement en parallèle de sources de tension

1.3.2 Source de courant

Une source de courant produit toujours le même courant indiqué, peu importe le circuit externe. La tension aux bornes de la source de courant dépend du circuit externe. La figure 1.7 montre le symbole utilisé pour identifier une source de courant. La flèche pointe dans la direction du courant fournit.

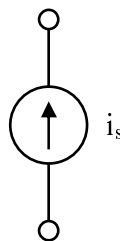


FIGURE 1.7 – Symbole d'une source de courant

On ne peut pas brancher des sources de courant en série, à moins que les sources produisent exactement le même courant, comme à la figure 1.8. On peut cependant les brancher en parallèle. Le courant total est alors la somme algébrique des courants, comme à la figure 1.9.

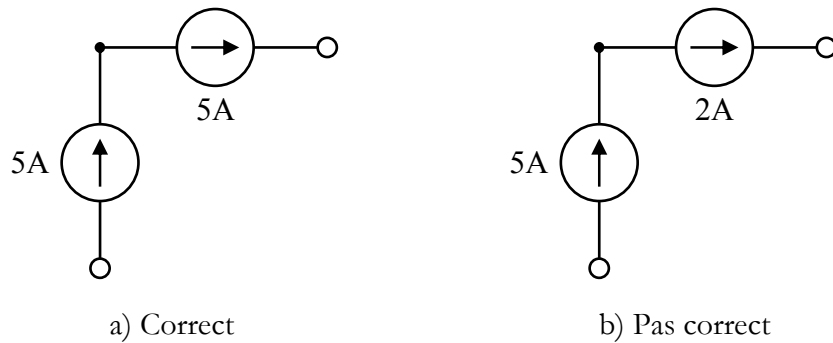


FIGURE 1.8 – Sources de courant en série

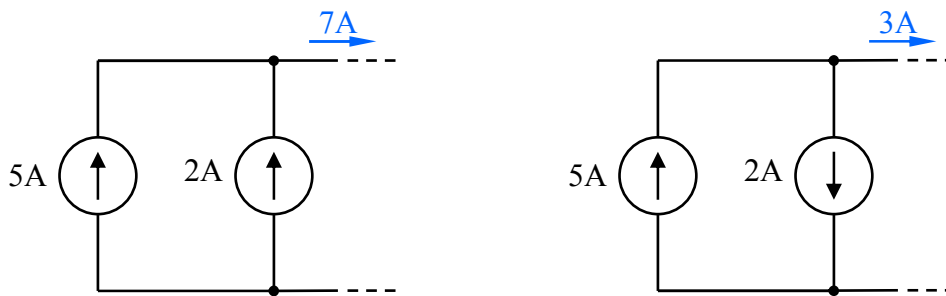


FIGURE 1.9 – Sources de courant en parallèle

1.3.3 Sources dépendantes

Un autre type de source existe : les sources dépendantes. Les sources dépendantes sont des sources de tension ou de courant dont la valeur dépend d'une autre tension ou d'un autre courant dans le circuit. Il existe donc 4 types de sources dépendantes, montrées à la figure 1.10. La tension v_x et le courant i_x sont des valeurs qui proviennent d'un autre élément dans le circuit, tandis que α, β, ρ et μ sont des constantes. On les appelle aussi des sources *contrôlées* : par exemple, la deuxième source dans la figure 1.10 est une source de courant contrôlée par une tension (c'est une tension qui décide de la valeur du courant).

Les sources dépendantes suivent les mêmes règles que les sources de tension et de courant ordinaires.

Les sources (qu'elles soient dépendantes ou non) sont des éléments *actifs* : ils peuvent générer de l'électricité (de la puissance), et peuvent aussi absorber de la puissance. Un

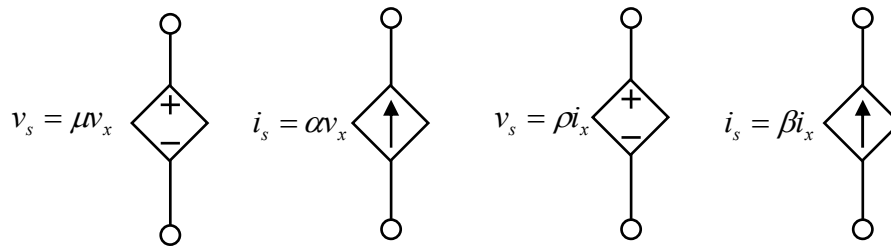


FIGURE 1.10 – Sources dépendantes

élément dit *passif* ne peut pas générer d'électricité (de la puissance) et peut seulement absorber de la puissance.

1.4 Résistance

Le physicien Georg Simon Ohm (1789-1854) fut le premier à démontrer que le courant se comporte comme un fluide qui s'écoule. Il démontra que certains matériaux s'opposaient au passage du courant, qu'ils offraient une *résistance*. La résistance est un élément qui s'oppose au passage du courant. Son unité est le Ohm (Ω). Le symbole d'une résistance est donné à la figure 1.11.

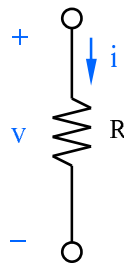


FIGURE 1.11 – Symbole pour une résistance

La tension et le courant dans une résistance sont reliés par la loi d'Ohm :

$$v = Ri \quad (1.6)$$

Il y a 1 Ohm de résistance dans un matériau si un courant de 1 Ampère traverse ce matériau lorsque 1 Volt est appliqué à ses bornes.

On peut faire une analogie avec un fluide : la résistance est comme un tuyau qui est bouché un peu par des obstacles. À cause de ces obstacles, il y aura une différence de pression entre les bornes. Cette différence de pression est comme la différence de potentiel, la tension, aux bornes de la résistance.

La conductance G est l'inverse de la résistance :

$$G = \frac{1}{R} \quad [\text{S}] \quad (1.7)$$

dont l'unité est le Siemens (S).

1.4.1 Puissance dans une résistance

Dans une résistance, si on utilise la référence de la figure 1.1 (le courant entre dans la borne +), la puissance dans la résistance est :

$$p = vi \quad (1.8)$$

comme pour tout élément idéal. Cependant, à l'aide de la loi d'Ohm, on peut écrire cette relation de deux autres façons :

$$p = vi = (Ri)i = Ri^2 \quad \text{ou} \quad (1.9)$$

$$= v\left(\frac{v}{R}\right) = \frac{v^2}{R} \quad (1.10)$$

Une résistance consomme *toujours* de la puissance. Cette puissance consommée est transformée en chaleur.

1.4.2 Résistances réelles

Des exemples de résistances réelles pour des circuits électrique sont montrés à la figure 1.12. Les résistances sont de différentes taille, et de différente valeur.



FIGURE 1.12 – Exemples de résistances

Noter les bandes de couleurs qui sont sur ces résistances. Ces bandes de couleurs permettent d'identifier la valeur de résistance, en utilisant un système de code de couleur. Le code de couleur est montré à la figure 1.13, avec un exemple.

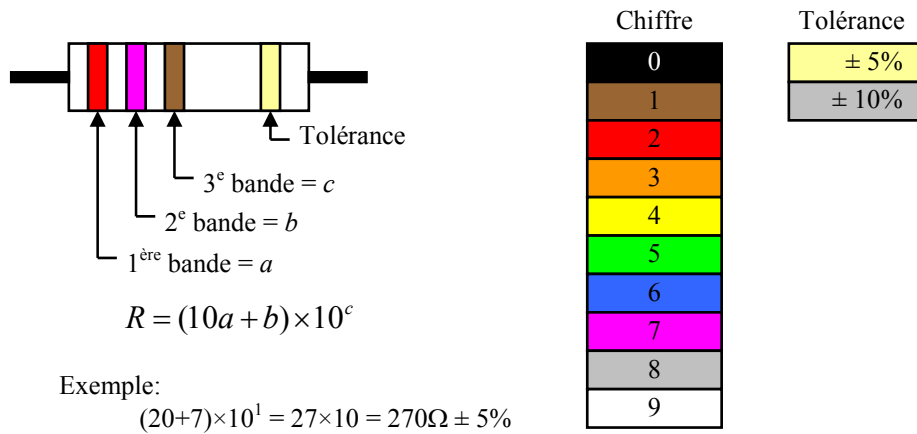


FIGURE 1.13 – Code de couleur des résistances

La tolérance indique les limites dans lesquelles on est certain de la valeur de résistance. Pour l'exemple donné, puisque la résistance est $270\Omega \pm 5\%$, la résistance exacte sera entre $(0.95)(270)$ et $(1.05)(270)$, donc de 256.5Ω à 283.5Ω . Si une application nécessite une valeur précise de résistance, il faut mesurer la résistance avant de s'en servir. Plus la tolérance est précise (il existe des résistances de tolérance 1%), plus on paie cher.

1.4.3 Combiner des résistances

Pour des résistances qui sont en série, la résistance totale est la somme des résistances individuelles. Des résistances sont en série si le *même courant* traverse ces résistances.

Pour les résistances en série de la figure 1.14, la résistance équivalente est :

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots \quad (1.11)$$

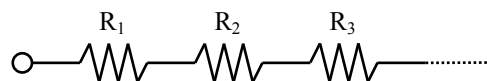
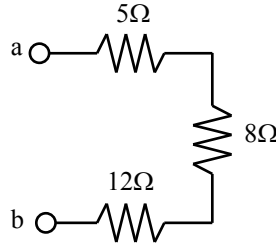


FIGURE 1.14 – Résistances en série

EXEMPLE 2

Calculer la résistance équivalente entre les points *a* et *b* de la figure suivante.



Les résistances sont en série. Il suffit de faire la somme des résistances :

$$R_{eq} = 5 + 8 + 12 = 25\Omega$$

Pour des résistances en parallèle, il faut additionner les conductances. Des éléments en parallèle auront la même tension. Pour les résistances en parallèle de la figure 1.15, la conductance équivalente est :

$$G_{eq} = G_1 + G_2 + \dots \quad (1.12)$$

ou

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \quad (1.13)$$

ou bien encore,

$$R_{eq} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots \right)^{-1} \quad (1.14)$$

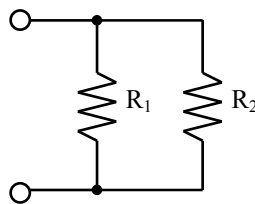


FIGURE 1.15 – Résistances en parallèle

Pour le cas particulier de 2 résistances en parallèle, on peut écrire l'équation de la résistance équivalente sous une autre forme :

$$\begin{aligned} R_{eq} &= \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} = \left(\frac{R_2}{R_1 R_2} + \frac{R_1}{R_1 R_2} \right)^{-1} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2} \right)^{-1} \\ &= \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \end{aligned} \quad (1.15)$$

Cette équation est souvent utilisée, mais elle ne s'applique que pour 2 résistances.

EXEMPLE 3

Dans le circuit de la figure 1.15, si $R_1 = 9\Omega$ et $R_2 = 18\Omega$, quelle est la résistance équivalente?

Puisqu'il s'agit de 2 résistances en parallèle, on peut appliquer l'équation 1.15 :

$$R_{eq} = \frac{(9)(18)}{9 + 18} = 6\Omega$$

1.4.4 Résistance équivalente selon le point de vue

La résistance équivalente entre deux points est différente selon les points utilisés d'un circuit. Pour calculer la résistance équivalente d'un circuit entre deux points, il faut toujours simplifier du point le plus loin du circuit vers les deux points voulus.

Comme exemple, à la figure 1.16, la résistance équivalente entre les points a et b n'est pas la même que celle entre les points c et d .

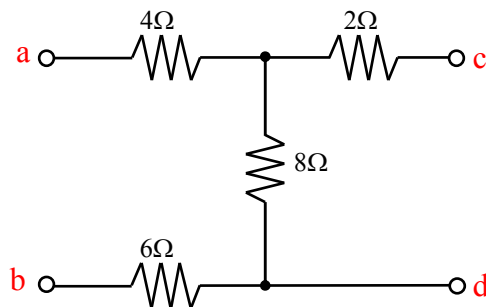


FIGURE 1.16 – Résistances en parallèle

La résistance équivalente entre les points a et b est :

$$R_{ab} = 4 + 8 + 6 = 18\Omega \quad (1.16)$$

La résistance équivalente entre les points c et d est :

$$R_{cd} = 2 + 8 = 10\Omega \quad (1.17)$$

1.5 Court-circuits et circuits ouverts

Deux autres éléments sont importants dans l'analyse des circuits : le court-circuit et le circuit ouvert.

Le court-circuit est équivalent à brancher deux points ensemble. Dans un court-circuit, la tension $v = 0$. La figure 1.17 montre un exemple de court-circuit entre les points a et b : $v_{ab} = 0$. C'est équivalent à placer une résistance de 0Ω entre ces deux points.

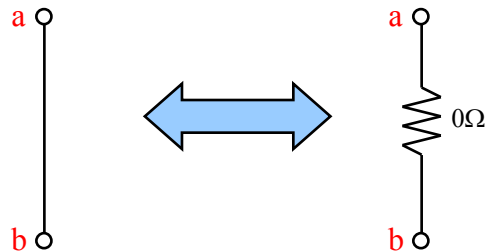


FIGURE 1.17 – Exemple de court-circuit

Le circuit ouvert représente le cas où il n'y a pas de connexion entre deux points. Dans un circuit ouvert, le courant $i = 0$. La figure 1.18 montre un exemple de circuit ouvert entre les points a et b : il n'y a pas de courant qui circule de a à b ($i = 0$). On peut le modéliser par une résistance infinie.

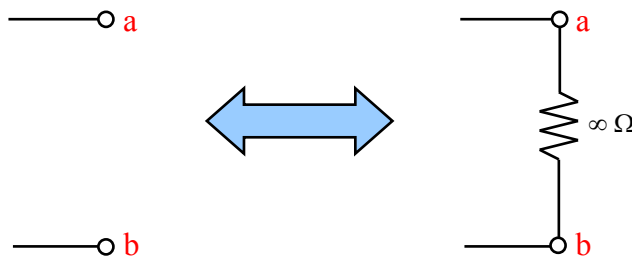


FIGURE 1.18 – Exemple de circuit ouvert

1.6 Circuits simples

On peut mettre ensemble toutes les connaissances vus dans ce chapitre pour faire l'analyse de circuits simples. On prend l'exemple du circuit de la figure 1.19. Le circuit simple d'une batterie avec une ampoule peut être modélisé par une source de tension et une résistance. L'ampoule agit comme une résistance. On veut calculer le courant qui traverse l'ampoule.

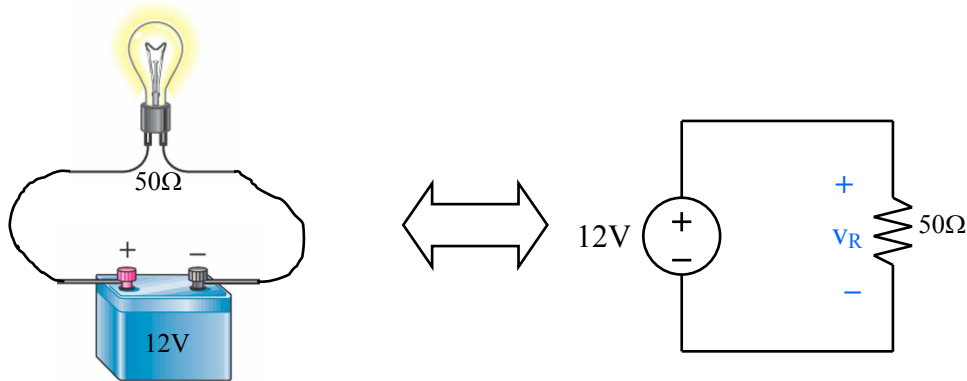


FIGURE 1.19 – Exemple de circuit avec ampoule

Pour faire l'analyse, il faut supposer un sens pour le courant. Par après, on effectue les calculs appropriés. Si on trouve un courant positif, ceci veut dire que le sens supposé au début est correct. Sinon, ça veut juste dire que le sens du courant est l'opposé.

Pour ce problème-ci, en supposant que la batterie fournit de la puissance (ce qui devrait être le cas), le courant devrait sortir de la borne positive de la source. On obtient alors le circuit de la figure 1.20.

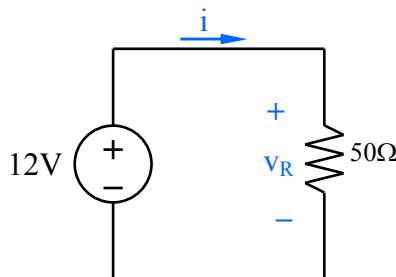


FIGURE 1.20 – Exemple de circuit avec ampoule, suite

Puisqu'il n'y a pas d'autre élément dans le circuit, la tension aux bornes de la résistance est celle de la source, puisqu'ils sont en parallèle. On applique la loi d'Ohm à la résistance, pour obtenir :

$$i_R = \frac{v_R}{R} = \frac{12V}{50\Omega} = 0.24 \text{ A} = 240 \text{ mA}$$

On peut vérifier les calculs en faisant un *bilan de puissance* : la puissance fournie dans le circuit doit être égal à la puissance consommée.

Pour la source, puisque le courant entre par la borne négative, la puissance est :

$$p_S = -vi = -(12)(0.24) = -2.88 \text{ W}$$

Il faut utiliser le signe négatif, parce qu'on ne suit pas la convention de la figure 1.1. Puisque la puissance est négative, la source fournit de la puissance, ce qui fait du sens.

Pour la résistance, on va utiliser l'une des relations calculée plus haut :

$$p_R = Ri^2 = (50)(0.24)^2 = 2.88 \text{ W}$$

La puissance est positive, ce qui veut dire que la résistance consomme de la puissance. On obtient alors, comme bilan de puissance :

Puissance fournie	2.88W
Puissance consommée	2.88W
Bilan	0

Dans tous les circuits électriques, la puissance consommée doit être égale à la puissance fournie. On peut aussi dire que la somme des puissances doit donner 0.

$$p_T = p_S + p_R = -2.88 + 2.88 = 0$$

C'est une façon de vérifier si les calculs effectués sont corrects.

1.7 Mesure des tensions et courants

Pour faire la mesure des tensions et des courants, on utilise deux instruments, soit le voltmètre pour mesurer la tension, et l'ampèremètre pour mesurer le courant.

Le voltmètre doit être utilisé *en parallèle* avec l'élément auquel on veut mesurer la tension. Un exemple d'utilisation est donné à la figure 1.21. Noter que les mesures sont prises aux bornes de la résistance, de façon parallèle.

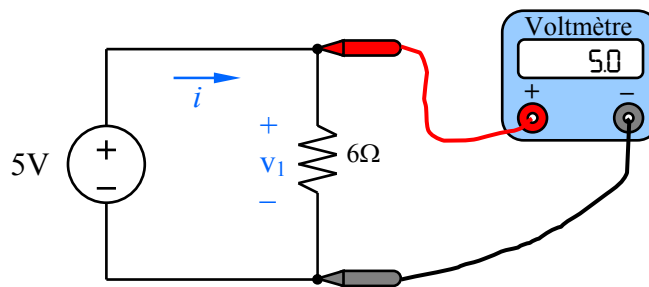


FIGURE 1.21 – Exemple de mesure de tension avec un voltmètre

Il faut faire attention aux bornes de ce qu'on branche. Si on inverse l'ordre, le voltmètre indiquera l'inverse du premier cas, comme montré à la figure 1.22.

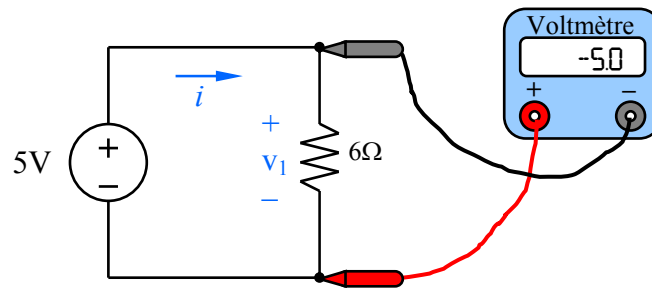


FIGURE 1.22 – Exemple de mesure de tension avec un voltmètre, en inversant les bornes

Pour mesurer le courant, il faut placer l'ampèremètre *en série* avec l'élément auquel on veut mesurer le courant, comme à la figure 1.23. Remarquer qu'on a ouvert le circuit pour brancher l'ampèremètre.

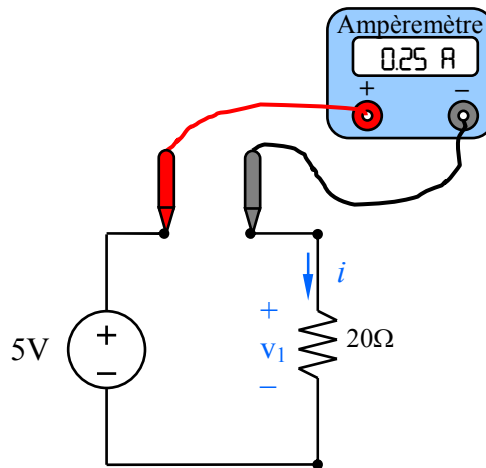


FIGURE 1.23 – Exemple de mesure de courant avec un ampèremètre