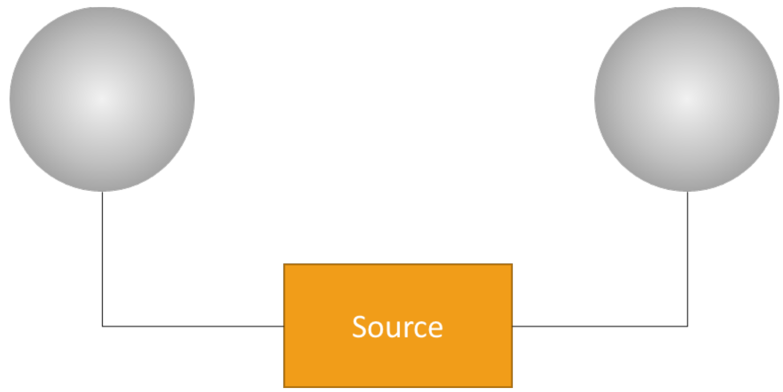
03 – Les sources et les circuits

Remerciements :

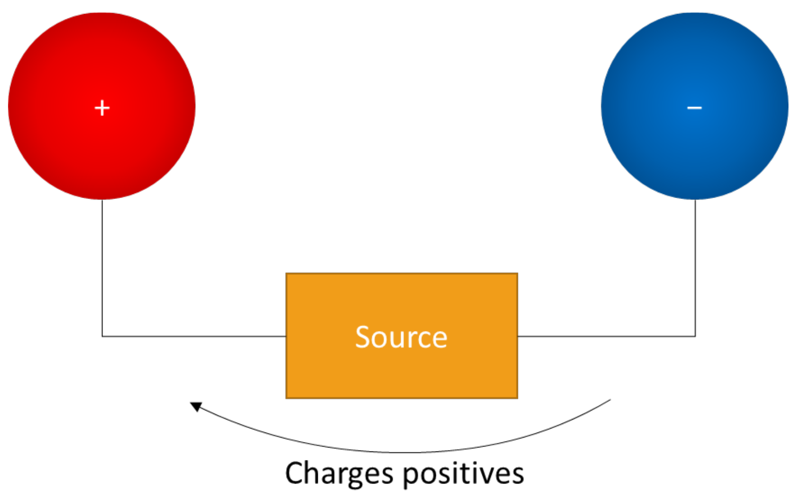
Les notes de ce chapitre sont fortement basées (parfois carrément reproduites) sur les notes de M. Luc Tremblay pour son cours électricité et magnétisme qui se trouvent ici. Merci M. Tremblay!

03.1 Qu’est-ce qu’une source?

Une source ne fait que transporter des charges pour atteindre une certaine différence de potentiel entre deux conducteurs. Supposons, par exemple, qu’on relie la source à deux sphères conductrices. Dans cet exemple, on va supposer que la source déplace des charges positives.



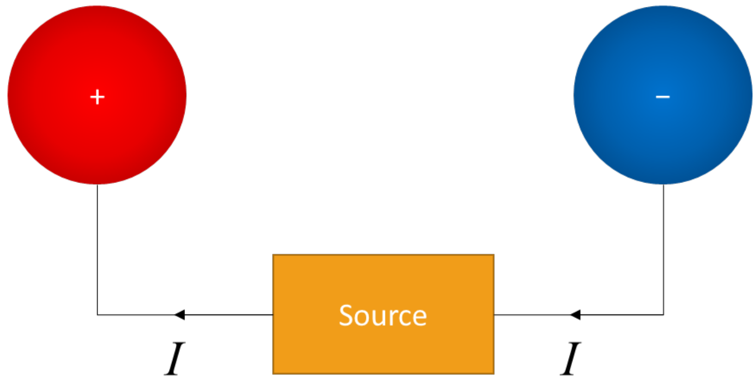
La source va alors prendre des charges positives sur la sphère de droite et les mettre sur la sphère de gauche.



La sphère de droite, qui était neutre au départ, aura alors une charge négative parce qu’elle aura plus de charges négatives que de charges positives, et la sphère de gauche, qui était aussi neutre au départ, aura une charge positive parce qu’elle a plus de charges positives que de charges négatives.

Cela signifie que la sphère de gauche aura un potentiel plus élevé que la sphère de droite avec le transfert de charge. La source va déplacer ainsi des charges jusqu’à ce que la différence de potentiel entre les conducteurs soit égale à la différence de potentiel de la source.

Notez que le courant arrivant à la source est le même que le courant qui sort de la source.



La source prend des charges du côté d'une borne et les envoie du côté de l'autre borne. La source n'accumule pas de charges et n'est pas un réservoir de charges non plus. Elle ne fait que transférer des charges en leur donnant de l'énergie électrique (très souvent, elle transfert les charges vers la borne ayant un potentiel plus élevé, donc du côté où l'énergie électrique est la plus grande). Elle joue donc un rôle équivalent à une pompe qui met en mouvement les électrons déjà dans le circuit. Comme elle prend le même nombre de charges d'un côté que ce qu'elle donne de l'autre côté, le courant arrivant à une borne est le même que celui partant de l'autre borne.

La source déplace donc les charges jusqu'à ce que le potentiel entre les bornes de la source ait une certaine valeur. Cette différence de potentiel est notée E et peut porter plusieurs noms :

- Différence de potentiel ou d.p.p.
- Tension
- Force électromotrice ou f.e.m.

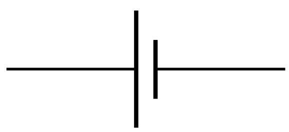
On note la différence de potentiel avec le symbole E pour toute influence qui met en mouvement les charges. C'est effectivement ce que fait une source. Elle met en mouvement les charges. On utilisera plus tard ce symbole pour l'induction électromagnétique, un phénomène qui met également les charges en mouvement.

Une source peut être simplement une pile comme la pile rectangulaire de la figure pour laquelle il y a une différence de potentiel de 9 V entre les bornes. Ce peut être quelque chose de plus compliqué, comme cette source (figure de droite) où un bouton permet d'ajuster la différence de potentiel entre les bornes. Sur l'image, il y a 50 V entre les bornes (la borne rouge en bas a un potentiel 50 V plus élevé que la borne noire un peu plus à gauche).

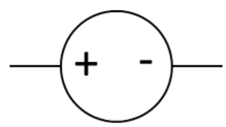
en.wikipedia.org/wiki/Nine-volt_battery

www.elexp.biz/tst_503e.htm

On utilise un des symboles suivants pour représenter une source dans un circuit.

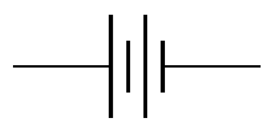


ou



La ligne la plus grande représente la borne qui a un potentiel plus élevé (le + sur le deuxième symbole).

(Parfois, on utilise le symbole de droite, mais il ne sera pas utilisé dans ces notes.)



On peut trouver le travail fait par la source. Si la source prend une charge Q à droite sur la figure et la transporte à gauche, où le potentiel est $\mathcal{E}$ plus élevé, le travail fait est

$$\begin{aligned} W_{source} &= \Delta U \\ &= Q\Delta V \end{aligned}$$

On a alors

Travail fait par une source qui déplace une charge *Q*

$$W_{source} = Q\mathcal{E}$$

On peut aussi trouver la puissance instantanée de la source.

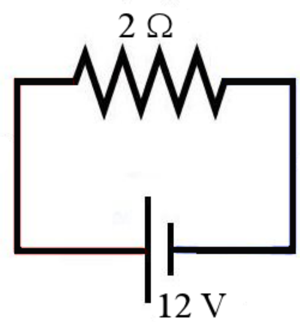
Puissance d'une source

$$P_{source} = I\mathcal{E}$$

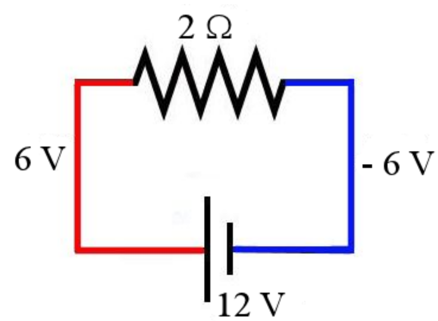
Cette formule est en accord avec celle trouvée au chapitre précédent donnant la puissance d'un élément d'un circuit $P = I\Delta V$. Comme le potentiel monte quand on va dans le sens du courant, la source fournit de la puissance.

03.2 Circuits avec sources et résistances

Commençons par un branchement très simple montré sur la figure.

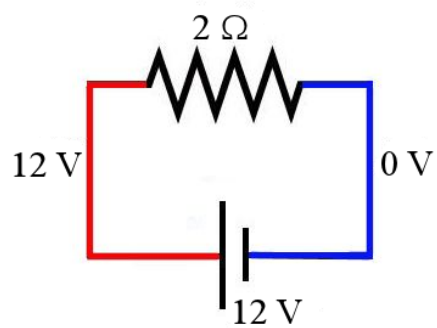


Pour trouver le courant dans la résistance, il faut trouver la différence de potentiel aux bornes de la résistance. Premièrement, les fils sont partout au même potentiel si on néglige leur résistance. Ainsi, le fil de gauche reliant la source et la résistance est partout au même potentiel et le fil de droite reliant la source et la résistance est partout au même potentiel (qui n'est pas le même que celui du fil de gauche). Ensuite, on sait qu'il y a une différence de potentiel de 12 V entre les bornes de la source. En combinant ces deux informations, on en arrive à la conclusion que le fil de gauche a un potentiel 12 V plus élevé que le fil de droite.



Comme la source prend des charges d'un côté pour faire baisser le potentiel et les amène de l'autre côté pour faire augmenter le potentiel. Illustrons le tout par des couleurs (figure de droite).

Notez qu'il y a maintenant un peu de charge à la surface des fils. Il y a un peu de charge positive à la surface du fil à 6 V et un peu de charge négative à la surface du fil à – 6 V.



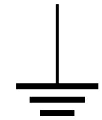
Toutefois, il n'est pas nécessaire d'utiliser les véritables valeurs de potentiels pour étudier les circuits. Pour déterminer comment va agir un circuit, la valeur du potentiel est très souvent arbitraire. On peut donc choisir nous-mêmes la valeur du potentiel d'un fil et ensuite déduire le potentiel des autres fils (si possible). On pourrait ici choisir que le fil de droite est à 0 V, ce qui nous amène à conclure que le fil de gauche est à 12 V.

Peu importe le choix des valeurs de potentiel utilisées, il devient alors évident que la différence de potentiel aux bornes de la résistance est de 12 V aussi. Le courant est donc

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{12V}{2\Omega} = 6A$$

C'est aussi le courant fourni par la pile.

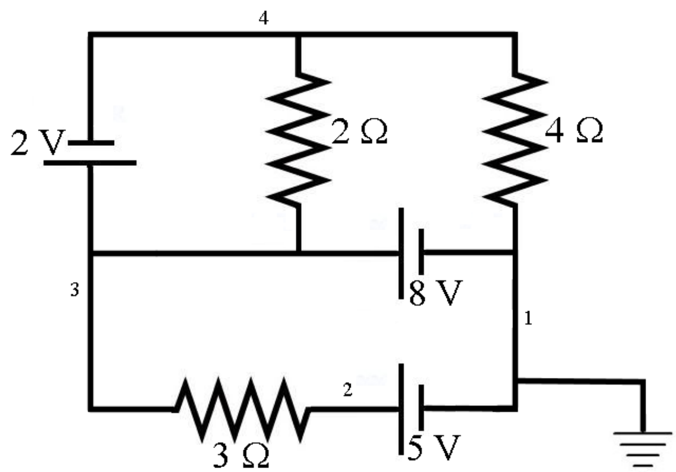
On a dit que très souvent la valeur du potentiel est arbitraire. Nous avons une exception quand on nous dit qu'un des fils est branché au sol (on dit aussi mis à la terre ou « *groundé* »). On représente ce branchement par le symbole de droite.



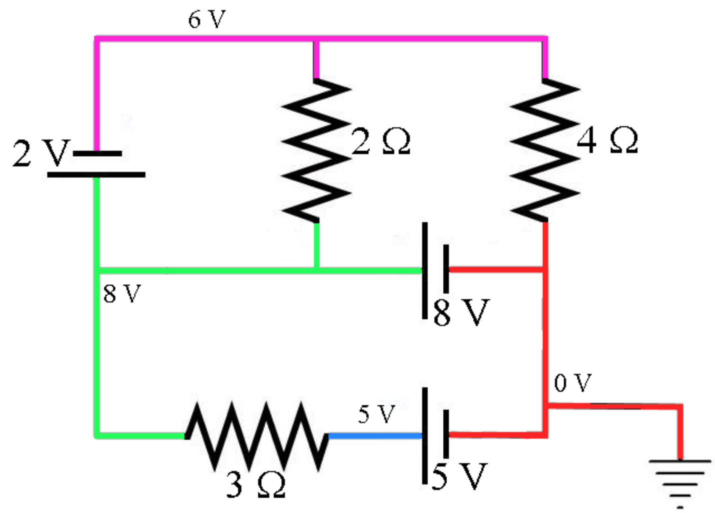
Si cela se produit, le fil mis à la terre a un potentiel de 0 V.

Exemple 03.2.1

Quel est le courant dans chacune de ces résistances ?



Trouvons le potentiel de chacun des fils (on les a numérotés de 1 à 4 sur la figure). Le fil 1 est évidemment à 0 V parce qu'il est mis à la terre. (Si ça n'avait pas été le cas, on choisirait une valeur arbitraire pour un des fils.) Le fil 2 est a un potentiel de 5 V parce que la source de 5 V augmente le potentiel de 5 V par rapport au fil 1. Le fil 3 est à un potentiel de 8 V parce que la source de 8 V augmente le potentiel de 8 V par rapport au fil de 1. Le fil 4 est à un potentiel de 6 V parce que la source de 2 V diminue le potentiel de 2 V par rapport au fil 3. Si on représente le tout par des couleurs, on a



La différence de potentiel aux bornes de la résistance de 3 Ω est donc de 3 V (8 V - 5 V). Le courant est donc

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{3V}{3\Omega} = 1A$$

Ce courant est vers la droite (toujours du potentiel le plus élevé vers le potentiel le plus bas pour une résistance)

La différence de potentiel aux bornes de la résistance de 2 Ω est donc de 2 V (8 V - 6 V). Le courant est donc

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{2V}{2\Omega} = 1A$$

Ce courant est vers le haut.

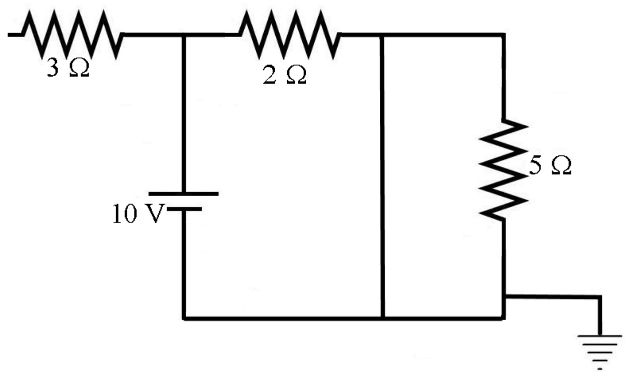
La différence de potentiel aux bornes de la résistance de 4 Ω est donc de 6 V (6 V - 0 V). Le courant est donc

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{6V}{4\Omega} = 1{,}5A$$

Ce courant est vers le bas.

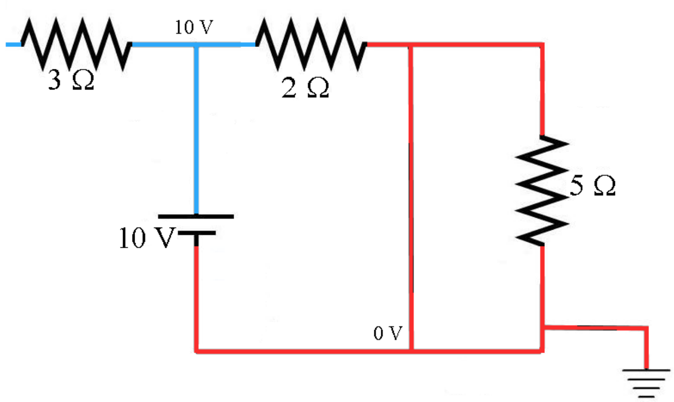
Exemple 03.2.2

Quel est le courant dans chacune de ces résistances ?



Le fil mis à la terre est à 0 V. Toutefois, la partie du circuit à 0 V est très grande. Elle inclut tout le fil du bas, le fil du milieu qui monte et tout le fil du haut à droite de la résistance de 2 Ω. Tant qu'on suit un fil sans traverser d'éléments du circuit, le potentiel reste le même. Le fil au-dessus de la source et qui mène vers les deux résistances est à 10 V parce que la source ajoute 10 V par rapport au fil de l'autre côté de la source, qui est à 0 V. Il ne reste que le petit bout de fil de l'autre côté de la résistance de 3 Ω. En fait, ce petit bout de fil est aussi à 10 V. Il en est ainsi parce que s'il y avait des charges qui traversaient la résistance de 3 Ω, elles n'auraient nulle part à aller. En fait, il y a un peu de charges qui vont traverser la résistance. Ces charges vont s'accumuler et modifier le potentiel de ce petit bout de fil. Les charges cesseront de s'accumuler quand il n'y aura plus de courant dans la résistance, donc quand les potentiels de chaque côté de la résistance seront égaux. Tout ceci se fait très rapidement quand on allume la source. C'est toujours ce qui se produira avec une telle branche ouverte : pas de courant dans les résistances de la branche et le potentiel est le même de chaque côté des résistances sur la branche ouverte.

On a donc la situation suivante en utilisant les couleurs.



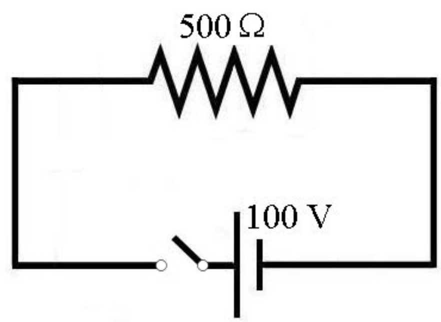
On remarque immédiatement qu'il n'y aura pas de courant dans les résistances de 5 Ω et de 3 Ω parce qu'il n'y a pas de différence de potentiel aux bornes de ces résistances. Il y a cependant du courant dans la résistance de 2 Ω. Ce courant est

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{10V}{2\Omega} = 5A$$

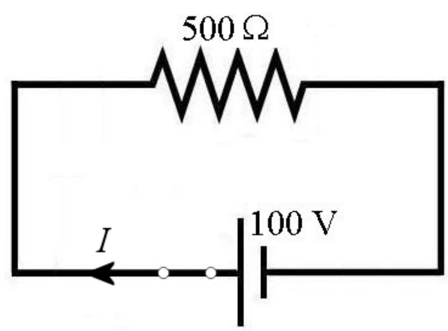
Ce courant est vers la droite.

L'interrupteur

Dans ce chapitre, on utilisera également des interrupteurs qui permettent de bloquer le courant dans une branche du circuit. Quand un interrupteur est ouvert, on a la situation suivante.



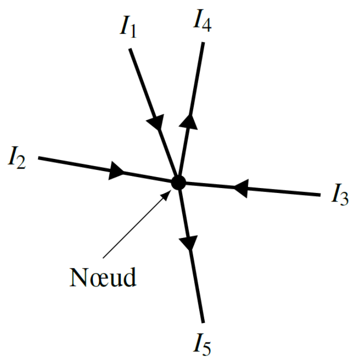
Dans ce cas, le courant ne peut circuler. On a en fait une branche ouverte et on a démontré plus tôt que le courant ne peut circuler dans une branche ouverte. Le courant pourra commencer à circuler seulement quand on fermera l'interrupteur.



03.3 Les lois de Kirchhoff

Il existe deux lois bien utiles pour analyser des circuits. Ces lois furent obtenues par Gustav Kirchhoff en 1845 (il était alors étudiant et n'était âgé que de 21 ans).

La loi des nœuds



La loi des nœuds est en fait la loi de la conservation de la charge électrique. Quand il y a un branchement entre des fils (qu'on appelle nœud ici), il y a des charges qui arrivent au nœud (courants I_1, I_2 et I_3 sur la figure) et il y a des charges qui quittent le nœud (courants I_4 et I_5 sur la figure). Puisque le nœud ne peut accumuler de charge, la somme des charges qui arrivent chaque seconde au nœud doit être égale à la somme des charges qui quittent le nœud chaque seconde. Cela signifie, dans notre exemple, que

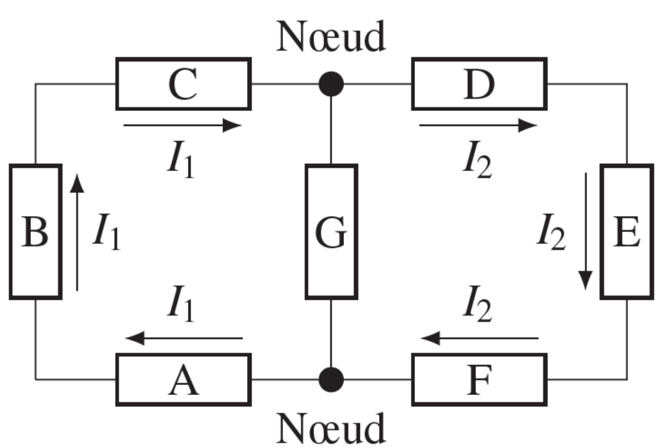
$$I_1 + I_2 + I_3 = I_4 + I_5$$

De façon générale, on aura la loi suivante.

Loi des nœuds de Kirchhoff

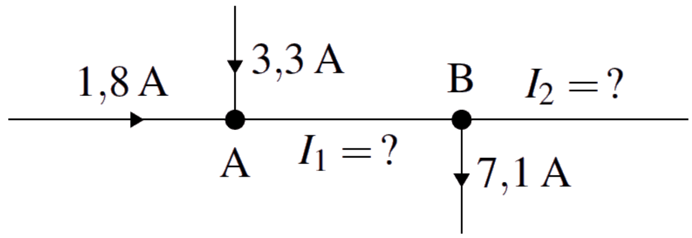
$$\sum \text{des courants qui entrent} = \sum \text{des courants qui sortent}$$

Une branche du circuit est constituée des éléments qui vont d'un nœud à un autre. Notez que le courant est le même dans tous les éléments qui sont sur la même branche. Ainsi, les courants sont les mêmes (I_1) dans les éléments A, B et C du circuit ici-bas parce qu'ils sont tous sur la même branche. Les courants sont aussi les mêmes (I_2) dans les éléments D, E et F du circuit parce qu'ils sont tous sur la même branche.



Exemple 03.2.3

Quelles sont les valeurs de I_1 et I_2 dans le circuit suivant ? (Déterminez aussi la direction des courants.)



On va faire la loi des nœuds au nœud A. Toutefois, on ne sait pas si le courant I_1 entre ou sort du nœud. Dans ce cas, on suppose une des deux possibilités. Si la réponse est positive, notre supposition était correcte. Si la réponse est négative, le courant est dans le sens contraire de celui supposé. On va supposer ici que le courant I_1 sort du nœud.

Au nœud A, on a donc

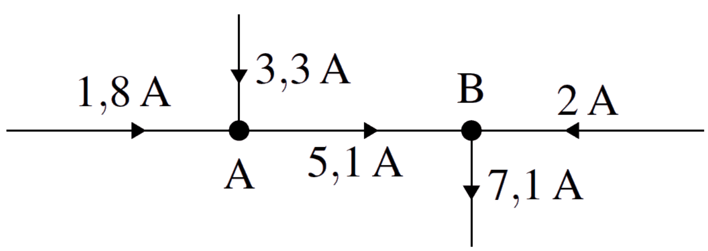
$$1{,}8A + 3.3A = I_1$$
$$I_1 = 5{,}1A$$

Comme la réponse est positive, le courant sort bel et bien du nœud pour se diriger vers le nœud B. Le courant dans cette branche est donc vers la droite.

Au nœud B, on va supposer que le courant I_2 sort du nœud. Avec le courant I_1 de 5,1 A qui arrive au nœud, on a donc

$$5{,}1A = I_2 + 7{,}1A$$
$$I_2 = -2A$$

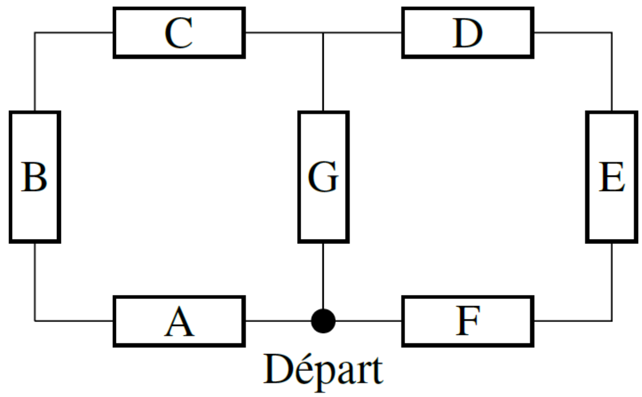
Comme le courant est négatif, il est dans le sens contraire de celui supposé. Comme on avait supposé que le courant sortait du nœud, la réponse signifie qu'on a un courant de 2 A qui se dirige vers le nœud B. Notre solution finale est donc la suivante.



La loi des mailles

Une maille est un parcours dans un circuit qui se referme sur lui-même. On se déplace le long des fils en suivant la trajectoire qu'on veut, pourvu qu'on revienne au point de départ.

Supposons qu'on ait un circuit comme le circuit illustré sur la figure de droite.



Chaque rectangle est un élément du circuit (ce pourrait être des sources, des résistances ou d'autre chose). Il y a plusieurs mailles dans ce circuit. Si on part du point identifié *départ* dans le circuit, il y a trois mailles possibles.

1) On suit les fils passant par les éléments *A, B, C* et *G*
2) On suit les fils passant par les éléments *F, E, D* et *G*
3) On suit les fils passant par les éléments *A, B, C, D, E* et *F*

Dans tous les cas, on revient à notre point de départ.

Chaque fois qu'on traverse un élément du circuit, le potentiel change s'il y a une différence de potentiel aux bornes de l'élément. Si on fait la somme des différences de potentiel aux bornes de tous les éléments d'une maille, on arrivera à une valeur nulle puisque, selon la loi vue à la fin du chapitre 4 (2e loi de Maxwell incomplète), la somme des différences de potentiel sur une trajectoire fermée doit être nulle. On a donc

Loi des mailles : La somme des différences de potentiel sur une trajectoire fermée est toujours nulle

$$\sum \Delta V = 0$$

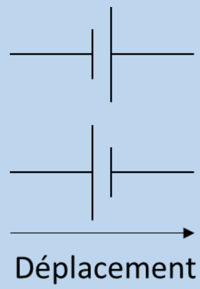
Dans notre exemple, on aurait, pour chaque maille.

1) $\Delta V_A + \Delta V_B + \Delta V_C + \Delta V_G = 0$
2) $\Delta V_G + \Delta V_D + \Delta V_E + \Delta V_F = 0$
3) $\Delta V_A + \Delta V_B + \Delta V_C + \Delta V_D + \Delta V_E + \Delta V_F = 0$

Notez que dans ces sommes, la différence de potentiel est positive si le potentiel monte quand on traverse l'élément et elle est négative si le potentiel descend quand on traverse l'élément.

Si on traverse une source, le potentiel va monter si on passe de la borne négative à la borne positive (qui a un potentiel plus élevé). Si on traverse la source en allant de la borne positive à la borne négative, la différence de potentiel sera négative.

Loi de Kirchhoff pour les sources

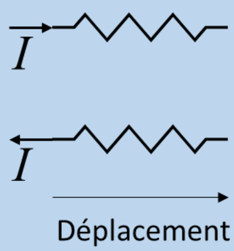


$$\Delta V = E$$

$$\Delta V = -E$$

Dans une résistance, le potentiel est le plus élevé du côté où le courant arrive. Si on traverse la résistance en allant dans le même sens que le courant, on passe de l'endroit où le potentiel est le plus grand à l'endroit où le potentiel est le plus petit. La différence de potentiel est donc négative puisque le potentiel diminue. Si on traverse la résistance dans le sens contraire du courant, on passe de l'endroit où le potentiel est le plus petit à l'endroit où le potentiel est le plus grand. La différence de potentiel est donc positive puisque le potentiel monte.

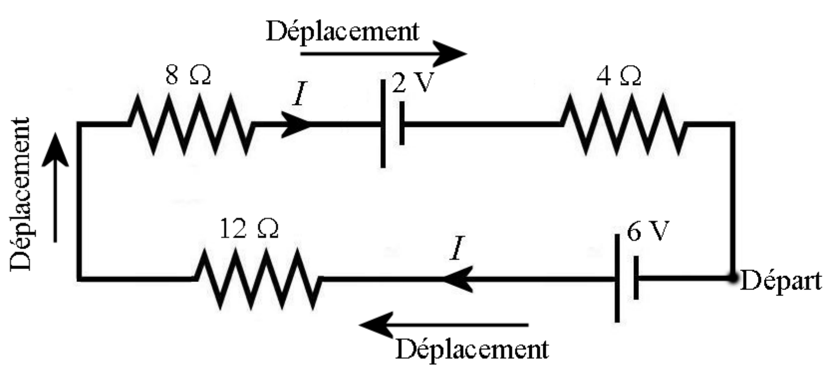
Loi de Kirchhoff pour les résistances



$$\Delta V_R = -RI$$

$$\Delta V_R = RI$$

Voyons ce que ça donne dans un circuit avec une seule maille.

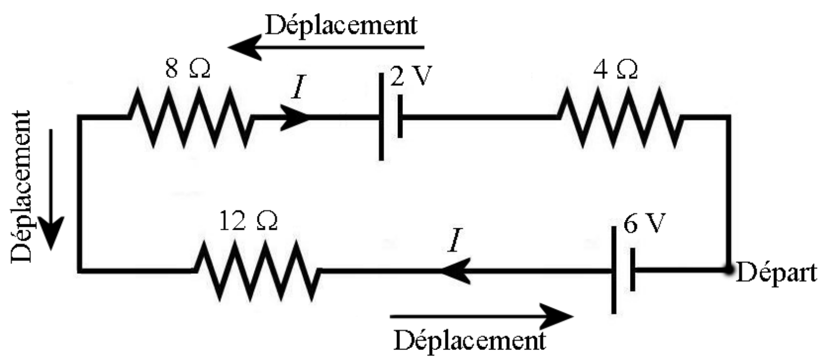


On va faire une maille en partant du point indiqué *Départ* sur la figure. On va suivre le fil en partant vers la gauche. On va donc faire le tour de la maille en se déplaçant dans le sens des aiguilles d'une montre. En suivant les règles indiquées précédemment, la somme des différences de potentiel est

$$6V - 12\Omega \cdot I - 8\Omega \cdot I - 2V - 4\Omega \cdot I = 0$$

Toutes les différences de potentiel des résistances sont négatives parce qu'on les traverse en allant dans le même sens que le courant. Pour la source de 6 V, la différence est positive parce qu'on la traverse en allant de la borne négative à la borne positive. Pour la source de 2 V, la différence de potentiel est négative parce qu'on la traverse en allant de la borne positive à la borne négative.

On aurait pu choisir de se déplacer dans l'autre sens.



Dans ce cas, l'équation aurait été

$$4\Omega \cdot I + 2V + 8\Omega \cdot I + 12\Omega \cdot I - 6V = 0$$

Toutes les différences de potentiel des résistances sont positives parce qu'on les traverse en allant dans le sens contraire du courant. Pour la source de 2 V, la différence est positive parce qu'on la traverse en allant de la borne négative à la borne positive. Pour la source de 6 V, la différence de potentiel est négative parce qu'on la traverse en allant de la borne positive à la borne négative.

Dans les deux cas, la solution est $I = \frac{1}{6}A$.

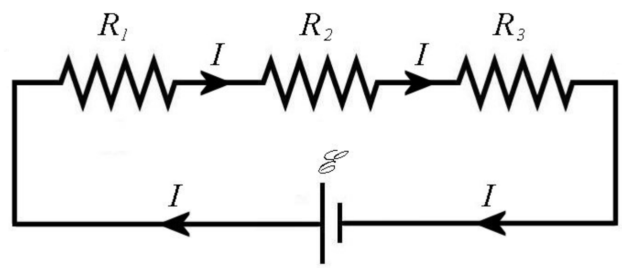
Différence de potentiel entre deux points d'un circuit

Si on demande de trouver la différence de potentiel entre deux points sur un circuit, on applique exactement les mêmes règles que celles utilisées pour faire les équations des mailles, sauf qu'au lieu de faire le tour d'une maille, on va d'un point à l'autre.

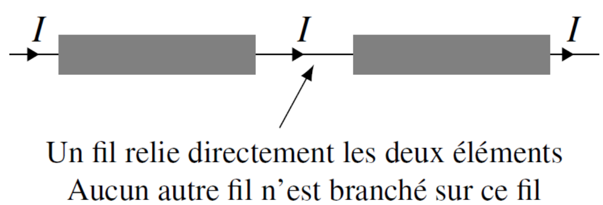
03.4 Les résistances en série et en parallèle

Résistances en série

Supposons qu'on ait plusieurs résistances branchées telles qu'illustrées sur cette figure.



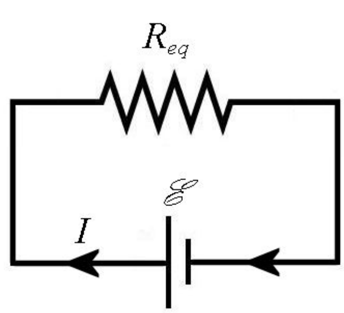
Ce genre de branchement est un branchement en série. Pour que deux éléments soient branchés en série, ils doivent être reliés directement par un fil et aucun autre fil ne doit se brancher au fil reliant les deux éléments. Ainsi, le courant dans les deux éléments est le même.



Branchement en série

Le courant est le même dans deux éléments branchés en série.

On veut trouver une résistance équivalente à ces trois résistances. Pour qu'elle soit équivalente, il faut que le courant fourni par la source soit le même avec la résistance équivalente qu'avec les trois résistances.



Appliquons la loi des mailles de Kirchhoff au circuit avec les trois résistances. Partons du coin inférieur droit et suivons le fil en partant vers la gauche. On aura alors

$$E - R_1 I - R_2 I - R_3 I = 0$$
$$E = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$

Si on fait aussi la loi des mailles avec le circuit avec la résistance équivalente, on a

$$E - R_{eq} I = 0$$
$$E = R_{eq} I$$

En égalant les deux équations obtenues pour chaque circuit, on obtient

$$R_{eq} I = R_1 I + R_2 I + R_3 I$$
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

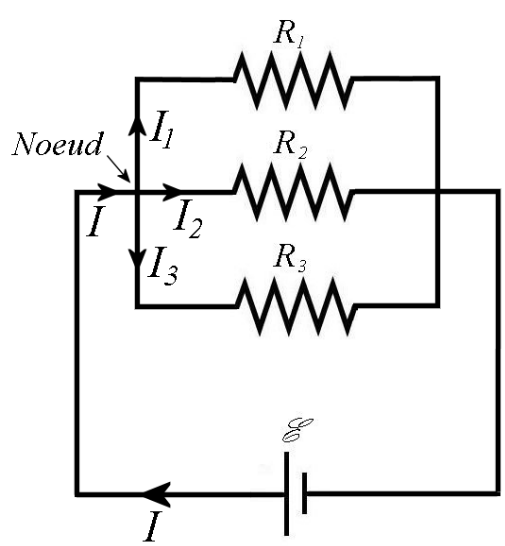
On peut extrapoler pour deviner la formule s'il y avait plus de trois résistances. On arrive alors à

Résistance équivalente : résistances en série

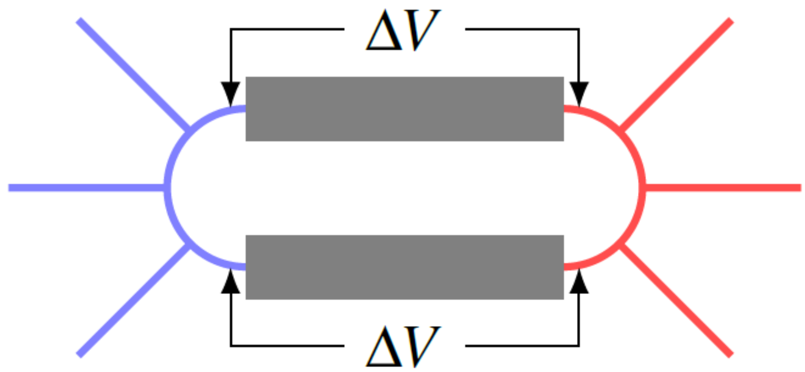
$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + \cdots$$

Résistances en parallèle

Supposons qu'on ait plusieurs résistances branchées telles qu'illustrées sur cette figure.



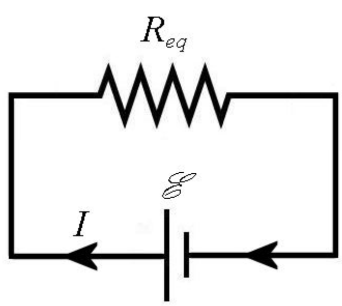
Ce genre de branchement est un branchement en parallèle. Pour que deux éléments soient branchés en parallèle, il doit y avoir un fil (en bleu sur la figure ci-dessous) qui les relie directement d'un côté et un autre fil (en rouge sur la figure) qui les relie aussi directement de l'autre côté. Il peut cependant y avoir des fils qui se branchent sur ces fils. Avec un tel branchement, la différence de potentiel aux bornes des éléments est la même.



Branchement en parallèle

La différence de potentiel est la même aux bornes des deux éléments branchés en parallèle.

On veut trouver une résistance équivalente à ces trois résistances. Pour qu'elle soit équivalente, il faut que le courant fourni par la source soit le même avec la résistance équivalente qu'avec les trois résistances.



Appliquons la loi des nœuds au circuit avec trois résistances.

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Puisque le courant dans chaque résistance est $\Delta V/R$, on a

$$I = \frac{\Delta V}{R_1} + \frac{\Delta V}{R_2} + \frac{\Delta V}{R_3}$$

On a mis la même différence de potentiel aux bornes de chaque résistance puisqu'elles sont branchées en parallèle. On remarque également que chaque résistance est aussi branchée en parallèle avec la source. La différence de potentiel aux bornes de chaque résistance est donc la même que la différence de potentiel aux bornes de la source.

$$I = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}$$

Le courant dans le circuit avec la résistance équivalente est

$$I = \frac{E}{R_{eq}}$$

Puisque les deux courants sont égaux si les circuits sont équivalents, on a

$$\frac{E}{R_{eq}} = \frac{E}{R_1} + \frac{E}{R_2} + \frac{E}{R_3}$$

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

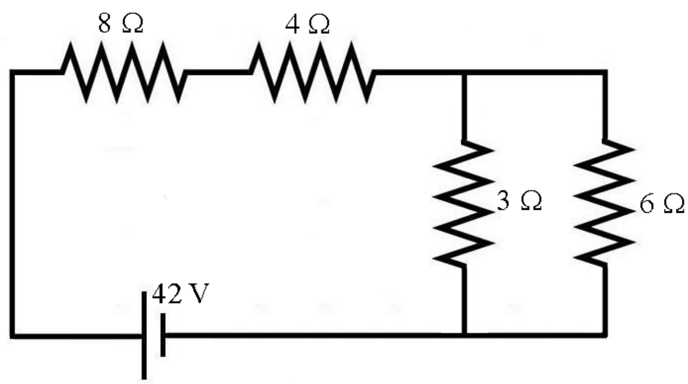
On peut extrapoler pour deviner la formule s'il y avait plus de trois résistances. On arrive alors à

Résistance équivalente : résistances en parallèle

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_4} + \cdots$$

Exemple 0.1

Quel est le courant dans chacune de ces résistances ?

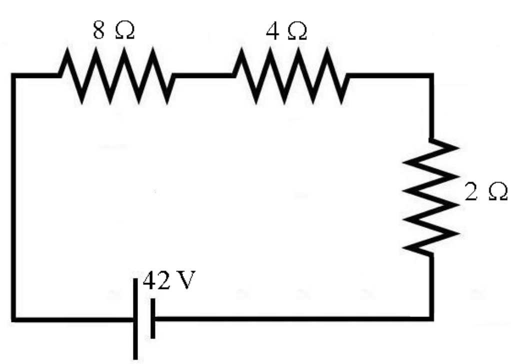


Pour résoudre ce genre de problème, on doit simplifier le circuit en trouvant la résistance équivalente. Ensuite, on pourra déduire la valeur des courants en reconstruisant le circuit de départ.

On remarque premièrement que les deux résistances de droite sont en parallèle. La résistance équivalente est

$$\frac{1}{R_{eq1}} = \frac{1}{3\Omega} + \frac{1}{6\Omega}$$
$$R_{eq1} = 2\Omega$$

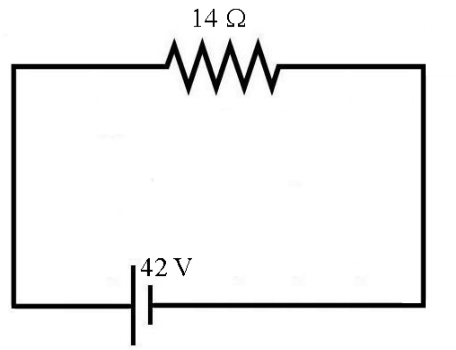
On a donc



On remarque alors que les trois résistances sont en série. La résistance équivalente est

$$\begin{aligned} R_{eq2} &= 8\Omega + 4\Omega + 2\Omega \\ &= 14\Omega \end{aligned}$$

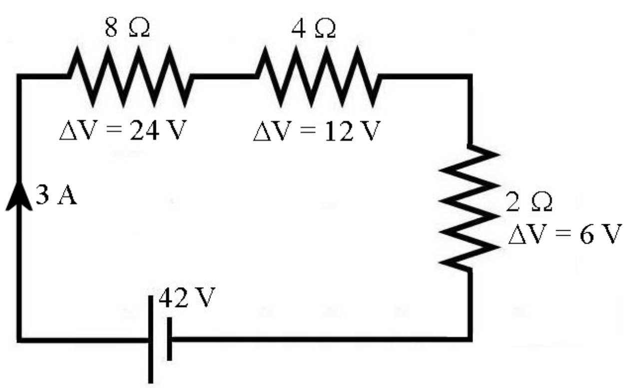
On a alors le circuit



Il est alors facile de calculer que le courant dans la résistance équivalente est de

$$I = \frac{\Delta V}{R} = \frac{42V}{14\Omega} = 3A$$

On va maintenant reconstruire le circuit de départ. Sachant que le courant dans la résistance équivalente est de 3 A, on pourra déduire le courant dans chacune des résistances. Il faut faire les mêmes transformations qu'on a faites pour arriver au circuit équivalent, mais en sens inverse. La dernière chose qu'on a faite, c'est de transformer les trois résistances en série en une résistance équivalente. Il faut donc remettre ces trois résistances en série. Quand on remet des résistances en série à partir d'une résistance équivalente, toutes les résistances sont traversées par le même courant que la résistance équivalente. On a donc

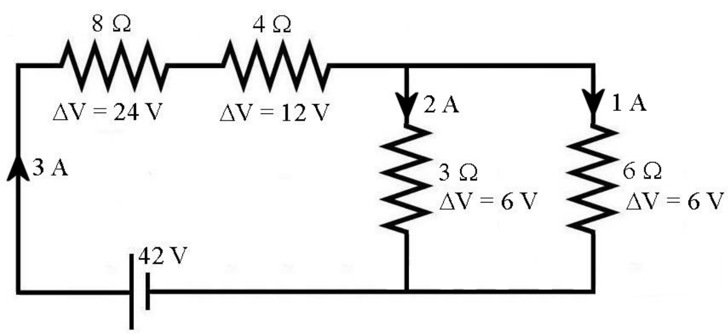


Sachant que les résistances sont toutes traversées par un courant de 3 A, on a calculé la différence de potentiel aux bornes de chaque résistance.

$$\Delta V_{8\Omega} = 8\Omega \cdot 3A = 24V \qquad \Delta V_{4\Omega} = 4\Omega \cdot 3A = 12V \qquad \Delta V_{2\Omega} = 2\Omega \cdot 3A = 6V$$

Cela sera peut-être utile pour une étape ultérieure et c'est aussi utile pour vérifier notre réponse. En effet, la somme des différences de potentiel des résistances en série doit être égale à la différence de potentiel qu'on avait aux bornes de la résistance équivalente à ces résistances en série. C'est le cas ici puisque 24 V + 12 V + 6 V = 42 V.

On va maintenant remettre les deux résistances en parallèle. Quand on remet des résistances en parallèle à partir d'une résistance équivalente, la différence de potentiel aux bornes de chaque résistance est la même que celle aux bornes de la résistance équivalente. On a donc



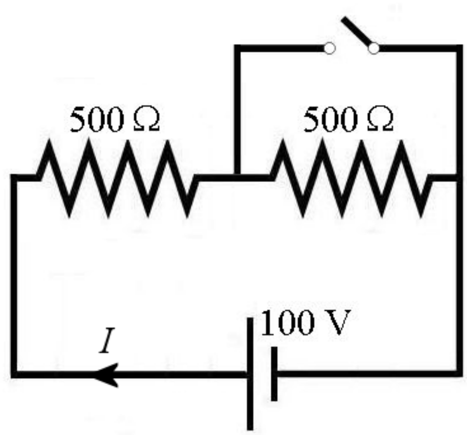
Sachant que la différence de potentiel aux bornes des résistances est de 6 V, on a calculé le courant dans chaque résistance

$$I_{3\Omega} = \frac{6V}{3\Omega} = 2A \qquad I_{6\Omega} = \frac{6V}{6\Omega} = 1A$$

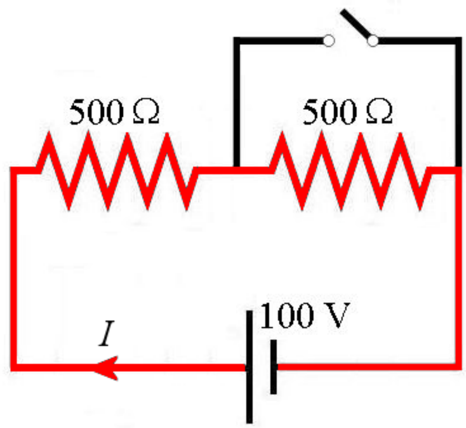
On peut alors vérifier notre réponse. En effet, la somme des courants dans des résistances en parallèle doit être égale au courant qu'on avait dans la résistance équivalente à ces résistances en parallèle. C'est le cas ici puisque 2 A + 1 A = 3 A.

Résistance en court-circuit

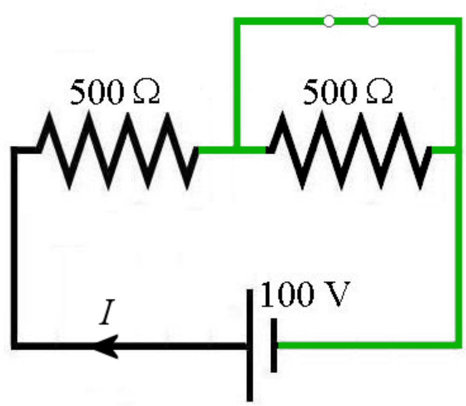
Examinons maintenant ce qui va se passer si on ferme l'interrupteur dans le circuit suivant.



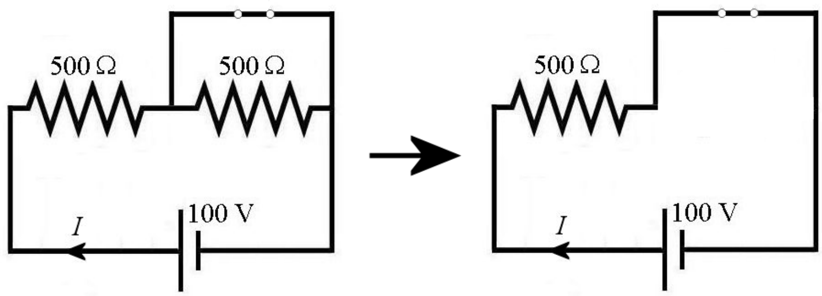
Au départ, le courant ne peut pas passer par le chemin avec l'interrupteur ouvert. Et il passe donc par les deux résistances en série et la résistance équivalente est de 1000 Ω. Dans la figure suivante, on a tracé en rouge le chemin emprunté par le courant.



Quand on va fermer l'interrupteur, la différence de potentiel aux bornes de la résistance de droite deviendra nulle. Pour comprendre pourquoi, examinons la figure suivante. Sur cette figure, on a mis en vert le fil au même potentiel que la borne négative de la source quand l'interrupteur est fermé.



On remarque alors que la différence aux bornes de la résistance devient nulle puisque les deux côtés de la résistance sont au même potentiel. En reliant ainsi chaque côté de la résistance avec un fil, on dit qu'on a *court-circuité* la résistance. Comme la différence de potentiel aux bornes de la résistance devient nulle, cela signifie que le courant dans la résistance est maintenant nul. Puisque le courant dans cette branche devient nul, on peut enlever cette branche du circuit pour simplifier et cela ne changera rien aux courants ailleurs dans le circuit.

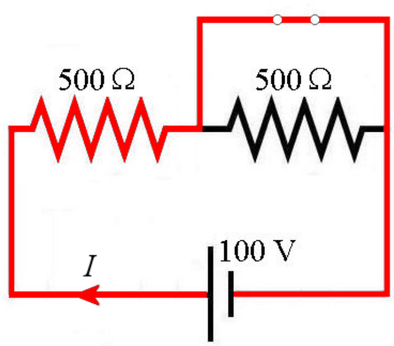


La différence de potentiel aux bornes des éléments court-circuités est nulle.

Pour une résistance, cela signifie que le courant est nul dans la résistance.

Dans ce cas, on peut enlever la branche court-circuitée pour simplifier le circuit.

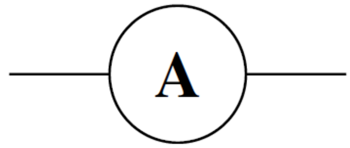
Dans le circuit montré sur la figure, cela veut dire que le courant passera maintenant par le fil de l'interrupteur. La figure suivante monte le chemin emprunté par le courant.



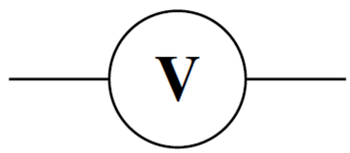
Dans ce cas, la résistance du circuit n'est plus que de 500 Ω. La résistance du circuit est donc passée de 1000 Ω à 500 Ω quand on a fermé l'interrupteur, ce qui signifie que la source fournit davantage de courant quand on ferme l'interrupteur.

03.5 Les ampèremètres et les voltmètres

L'**ampèremètre** est un appareil qui permet de mesurer le courant dans un élément. Si on veut connaitre le courant dans un élément d'un circuit, on doit absolument brancher l'ampèremètre en **série** avec l'élément. Cela signifie que l'ampèremètre doit avoir une résistance très petite pour ne pas influencer la valeur des courants dans le circuit. Par exemple, la résistance des ampèremètres utilisés au laboratoire est de 0,001 Ω. Ainsi, quand on branche un tel ampèremètre avec un résistor, la résistance équivalente de la résistance et de l'ampèremètre en série n'est pas tellement différente de celle de la résistance, à moins de travailler avec des résistors ayant des résistances très faibles (disons 0,01 Ω et moins). Le symbole d'un ampèremètre dans un circuit est



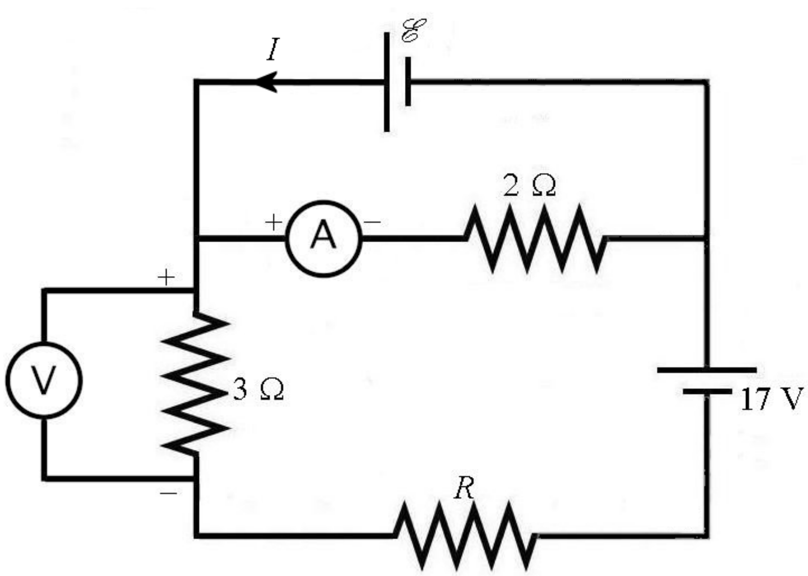
Le **voltmètre** est un appareil qui permet de mesurer la différence de potentiel aux bornes d'un élément. Si on veut connaitre la différence de potentiel aux bornes d'un élément d'un circuit, on doit absolument brancher le voltmètre en **parallèle** avec l'élément. Cela signifie que le voltmètre doit avoir une résistance très grande pour ne pas influencer la valeur des courants dans le circuit. Par exemple, la résistance des voltmètres utilisés au laboratoire est de 10 MΩ. Ainsi, quand on branche un tel voltmètre avec un résistor, la résistance équivalente de la résistance et du voltmètre en parallèle n'est pas tellement différente de celle de la résistance, à moins de travailler avec des résistors ayant des résistances très grandes (disons 1 MΩ et plus). Le symbole d'un voltmètre dans un circuit est



Parfois, on connait les informations données par ces appareils et cela nous permet de résoudre des circuits. En voici un exemple.

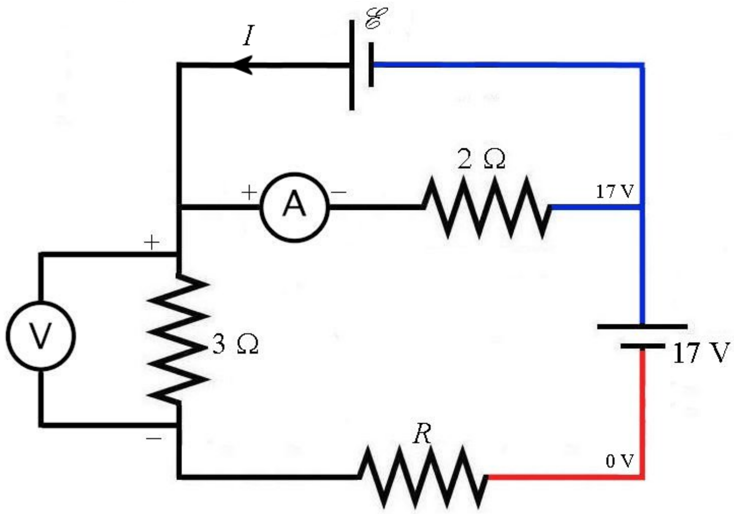
Exemple 03.5.1

Trouvez les valeurs de R, I et E dans le circuit suivant sachant que l'ampèremètre indique 2 A et que le voltmètre indique 9 V ?

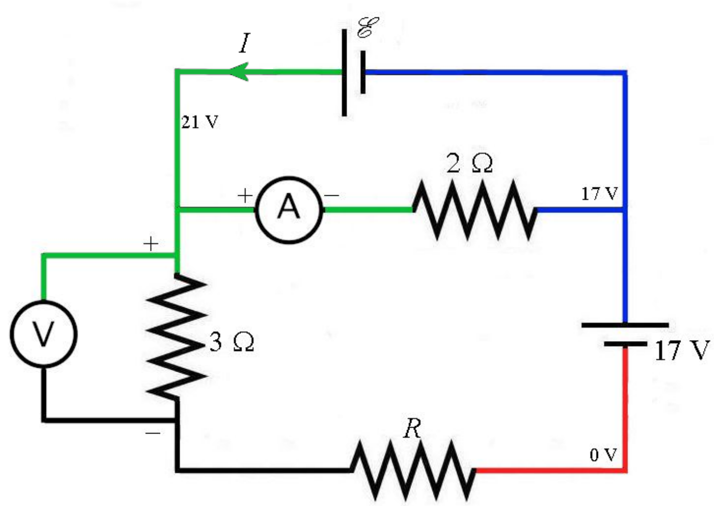


N.B. Les valeurs de + et – des appareils indiquent les choses suivantes : pour l'ampèremètre, le courant va du + vers le -, donc vers la droite ici ; pour le voltmètre, le côté + est à un potentiel plus élevé que le côté -.

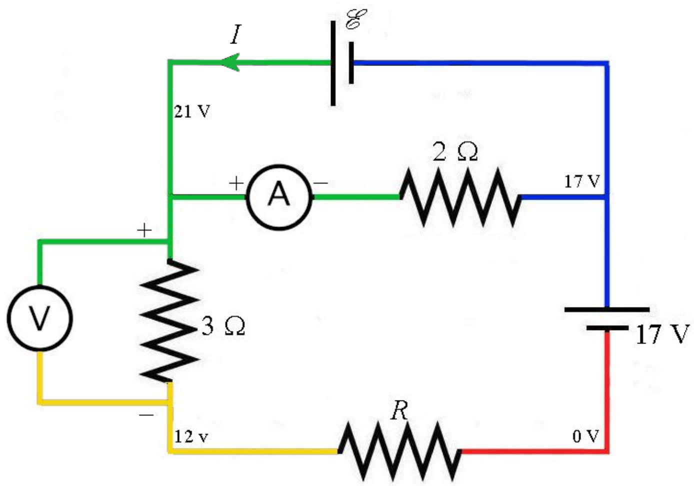
On va supposer que le coin inférieur droit du circuit est à 0 V. Au-dessus de la source de 17 V, le potentiel est de 17 V. On a donc



On peut également trouver la différence de potentiel aux bornes de la résistance de 2 Ω puisque le courant traversant cette résistance est le même que celui indiqué par l'ampèremètre (2A). La différence de potentiel aux bornes de la résistance est donc de *RI* = 2 Ω · 2 A = 4 V. Comme le courant est vers la droite, le côté gauche de la résistance a donc un potentiel plus élevé de 4 V que le côté droit. Comme il y a 17 V à droite, il y a 21 V à gauche. On a donc



Comme le voltmètre nous dit qu'il y a une différence de potentiel de 9 V aux bornes de la résistance de 3 Ω, on sait que le potentiel dans la partie au-dessous de cette résistance est 9 V plus bas que le potentiel au haut de la résistance. Il est donc de 21 V – 9V = 12 V. On a ainsi les potentiels suivants.



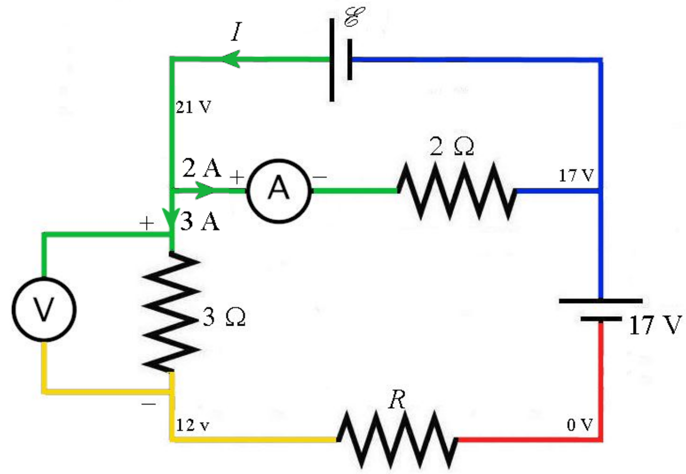
On constate alors que la différence de potentiel aux bornes de la source inconnue est de 4 V.

$$E = 4V$$

Pour la résistance inconnue, on sait que la différence de potentiel aux bornes de la résistance est de 12 V. On pourra trouver la valeur de la résistance si on sait le courant qui passe dans cette résistance. Heureusement, on peut le savoir, car le courant est le même que celui dans la résistance de 3 Ω. (Le branchement du voltmètre n'a pas d'influence, car la très grande résistance du voltmètre fait qu'il n'y a pratiquement pas de courant dans la branche passant par le voltmètre.) Comme le courant dans la résistance de 3 Ω est de *I* = 9 V / 3 Ω = 3 A, la valeur de la résistance inconnue est

$$R = \frac{\Delta V}{I} = \frac{12V}{3A} = 4\Omega$$

Il ne reste qu'à trouver le courant dans la branche du haut. On pourrait le faire avec la loi des nœuds. Les courants arrivant ou partant du nœud de gauche sont montrés sur cette figure.



En appliquant la loi des nœuds au nœud de gauche, on trouve

$$\sum \text{des courants qui arrivent} = \sum \text{des courants qui partent}$$
$$I = 2A + 3A$$
$$I = 5A$$

(Si on avait obtenu une réponse négative, le courant dans la branche du haut irait dans le sens opposé à la flèche, donc vers la droite.)

03.6 L'utilisation des lois de Kirchhoff pour résoudre des circuits plus complexes

Il arrive que les techniques montrées précédemment (trouver le potentiel des fils ou simplifier le circuit) ne permettent pas de résoudre le circuit. Quand on tombe sur ce genre de circuit, on peut appliquer les lois de Kirchhoff pour obtenir la solution. On commence par trouver le nombre d'inconnus qu'on doit trouver. Comme les lois de Kirchhoff nous permettent de trouver les courants, nos inconnus sont les courants dans chaque branche. Le nombre d'inconnus est donc égal au nombre de branches dans le circuit.

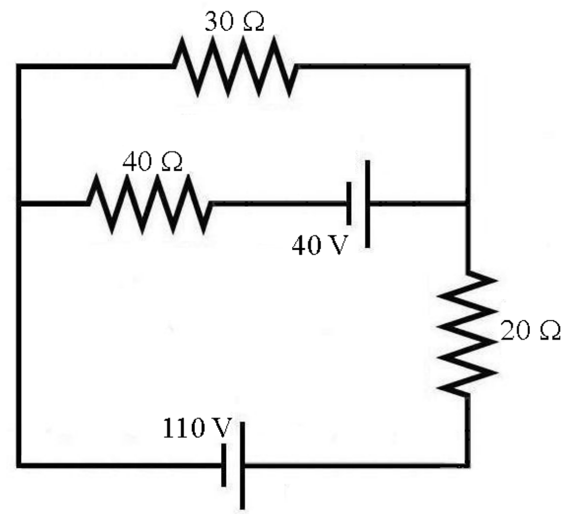
On fait ensuite les équations des nœuds. Le nombre d'équations maximal est égal au nombre de nœuds moins 1. (Car l'équation du dernier nœud n'est pas indépendante de celles des autres nœuds. Si vous la prenez, vous arriverez toujours à 0 = 0 comme solution)

On fait ensuite des équations des mailles, jusqu'à ce qu'on ait le même nombre d'équations qu'on a d'inconnu.

On résout ensuite le système d'équations obtenu pour trouver les courants.

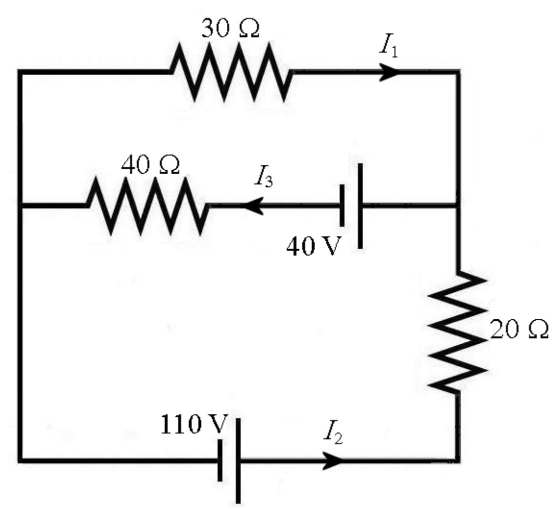
Exemple 03.6.1

Considérons le circuit suivant.



Quel est le courant dans chaque branche ?

Il y a trois branches dans ce circuit : la branche du haut, la branche du bas et la branche du milieu. Il y aura donc trois courants à trouver. On va les noter I_1, I_2 et I_3.



En fait, on ne sait pas si les courants indiqués sur cette figure sont dans la bonne direction. On a simplement supposé un sens pour chaque courant. Si on obtient une réponse positive, notre sens supposé est le bon et si la réponse est négative, le courant est dans le sens contraire de celui supposé.

Comme il y a deux nœuds, on ne peut faire qu'une seule équation avec la loi des nœuds. En prenant le nœud de droite, on a

$$I_1 + I_2 = I_3 \qquad (1)$$

On doit finir avec deux lois des mailles pour avoir trois équations. Pour notre première maille, on va partir du coin inférieur gauche et faire le tour de la grande maille (celle qui ne passe pas par la branche au centre) en allant dans le sens contraire des aiguilles d'une montre. On a donc

$$110V - 20\Omega \cdot I_2 + 30\Omega \cdot I_1 = 0 \qquad (2)$$

Pour notre deuxième maille, on va partir du coin supérieur droit et faire le tour de la maille du haut (on ne passe pas par la branche du bas) dans le sens des aiguilles d'une montre. On a alors

$$-40V - 40\Omega \cdot I_3 - 30\Omega \cdot I_1 = 0 \qquad (3)$$

On va maintenant résoudre ce système d'équations. L'équation 2 nous donne

$$I_2 = \frac{110V + 30\Omega \cdot I_1}{20\Omega} = \frac{11}{2}A + \frac{3I_1}{2}$$

L'équation 3 nous donne

$$I_3 = \frac{-40V - 30\Omega \cdot I_1}{40\Omega} = -1A - \frac{3I_1}{4}$$

En remplaçant ces deux valeurs dans l'équation 1, on obtient

$$I_1 + I_2 = I_3$$
$$I_1 + \left(\frac{11}{2}A + \frac{3I_1}{2}\right) = \left(-1A - \frac{3I_1}{4}\right)$$

On peut alors résoudre cette équation pour obtenir

$$I_1 + \frac{11}{2}A + \frac{3I_1}{2} = -1A - \frac{3I_1}{4}$$
$$4I_1 + 22A + 6I_1 = -4A - 3I_1$$
$$4I_1 + 6I_1 + 3I_1 = -4A - 22A$$

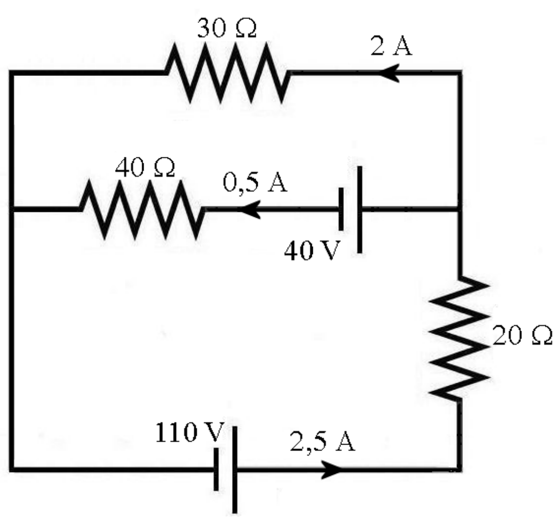
$$13I_1 = -26A$$
$$I_1 = -2A$$

Le courant I_1 vaut donc 2 A et il est dans le sens contraire de celui indiqué sur la figure. On trouve ensuite facilement les autres courants.

$$I_2 = \frac{11}{2}A + \frac{3I_1}{2} = \frac{11}{2}A + \frac{3(-2A)}{2} = \frac{11A - 6A}{2} = \frac{5}{2}A$$
$$I_3 = -1A - \frac{3I_1}{4} = -1A - \frac{3(-2A)}{4} = \frac{-4A + 6A}{4} = \frac{2}{4}A = \frac{1}{2}A$$

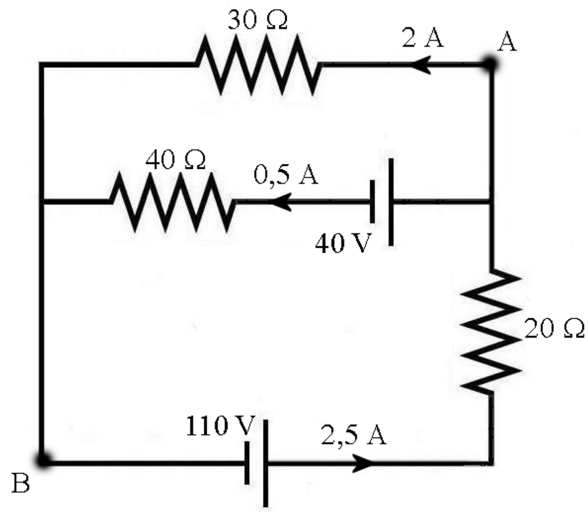
(**Remarque importante : il faut mettre les signes négatifs des courants quand on remplace dans les autres équations. Ici on a mis -2 A pour le courant I_1, et non pas simplement 2 A.**)

Les courants sont donc les suivants.



On peut vérifier rapidement que ces courants respectent la loi des nœuds puisque 2 A + 0,5 A = 2,5 A.

Quelle est la différence de potentiel entre les points A et B sur la figure ?



On va aller du point A au point B ici. Il y a toutefois plusieurs chemins pour faire ce trajet. Peu importe le trajet choisi, la réponse doit toujours être la même. On va faire ici les trois trajets possibles pour montrer que la réponse est la même pour les trois chemins.

En passant par la branche du haut, on a

$$-30\Omega \cdot 2A = -60V$$

En passant par la branche du milieu, on a

$$-40V - 40\Omega \cdot 0{,}5A = -60V$$

En passant par la branche du bas, on a

$$20\Omega \cdot 2{,}5A - 110V = -60V$$

Le point B a donc un potentiel 60 V plus bas que le point A.

Quelle est la puissance dissipée par chacune des résistances ?

Les puissances dissipées sont

$$P_{30\Omega} = RI_1^2 = 30\Omega \cdot (2A)^2 = 120W$$
$$P_{40\Omega} = RI_2^2 = 40\Omega \cdot (0{,}5A)^2 = 10W$$
$$P_{20\Omega} = RI_3^2 = 20\Omega \cdot (2{,}5A)^2 = 125W$$

Quelle est la puissance fournie par chacune des sources ?

Les puissances des piles sont

$$P_{110V} = E \cdot I_3 = 110V \cdot 2{,}5A = 275W$$
$$P_{40V} = -E \cdot I_2 = -40V \cdot 0{,}5A = -20W$$

La puissance de la pile de 40 V est négative, car la source reçoit du courant. Comme les charges passent ainsi d'un potentiel plus élevé à un potentiel plus bas, cette source fait perdre de l'énergie aux charges. C'est exactement ce qui se passe quand on recharge une batterie.

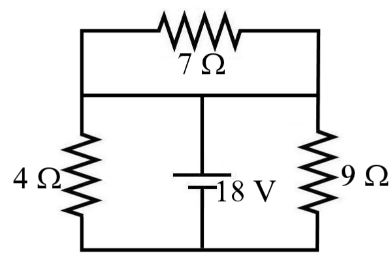
La seule puissance fournie dans ce circuit est donc la puissance de la source de 110 V, qui fournit 275 W au circuit. Sur ces 275 W fournis, 20 W vont dans la source de 40 V, 120 W se dissipent dans la résistance de 30 Ω, 10 W se dissipent dans la résistance de 40 Ω et 125 W se dissipent dans la résistance de 20 Ω, pour un grand total de 275 W. Ce doit toujours être ainsi : la somme des puissances fournies doit être égale à la somme des puissances reçues.

Exercices

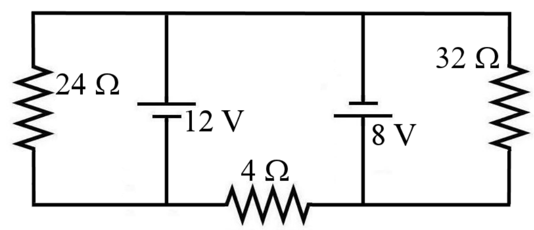
1. Il y a une différence de potentiel de 24 V entre les bornes d'une source. La source fournit un courant de 6 A.

   a) Quelle est la puissance fournie par la pile ?
   b) Quelle est l'énergie fournie par la pile en 2 minutes ?

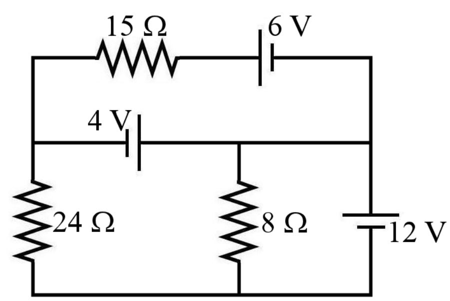
2. Quel est le courant (grandeur et direction) dans chacune de ces résistances ?



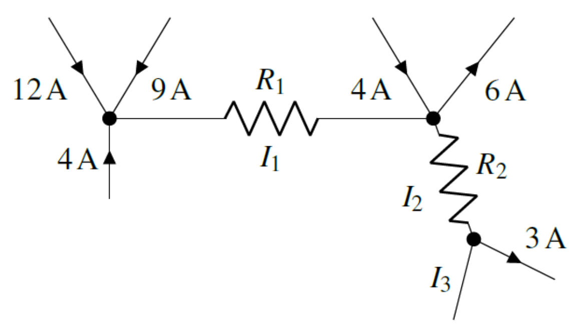
3. Quel est le courant (grandeur et direction) dans chacune de ces résistances ?



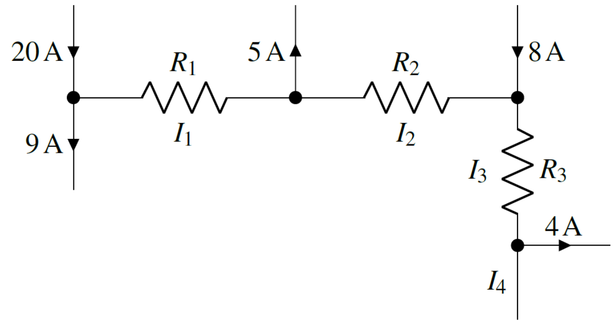
4. Quel est le courant (grandeur et direction) dans chacune de ces résistances ?



5. Quelles sont les valeurs de I_1, I_2, et I_3 (grandeur et direction) dans ce circuit ?

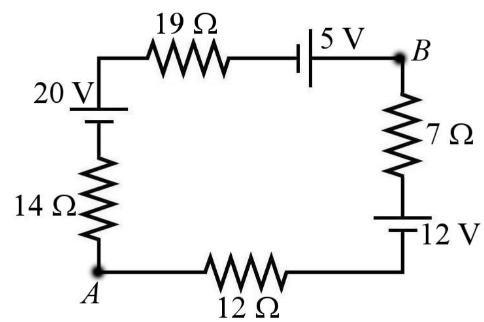


6. Quelles sont les valeurs de I_1, I_2, I_3 et I_4 (grandeur et direction) dans ce circuit ?

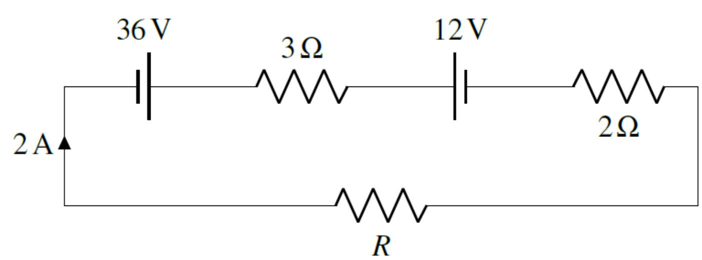


7. Voici un circuit.

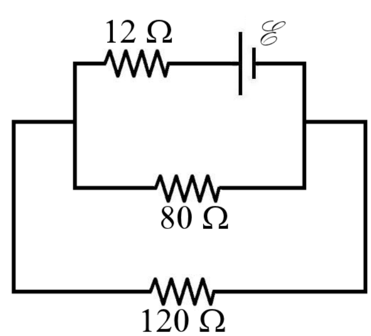
   a) Quel est le courant dans ce circuit (grandeur et direction) ?
   b) Quelle est la différence de potentiel entre les points *A* et *B* ?



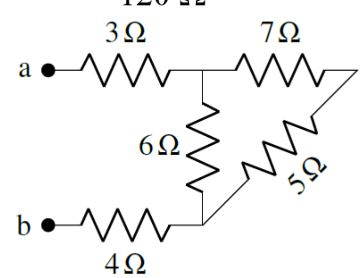
8. Quelle est la valeur de *R* dans ce circuit ?



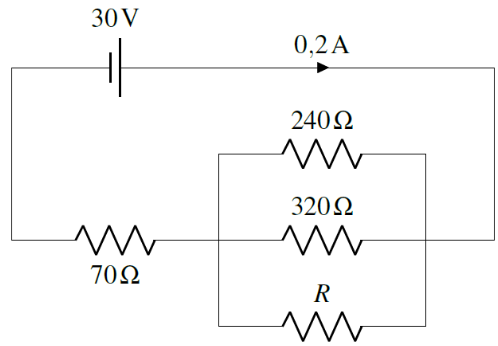
9. Dans ce circuit, la résistance de 120 Ω dissipe 30 W en chaleur. Quelle est la valeur de $\mathscr{E}$?



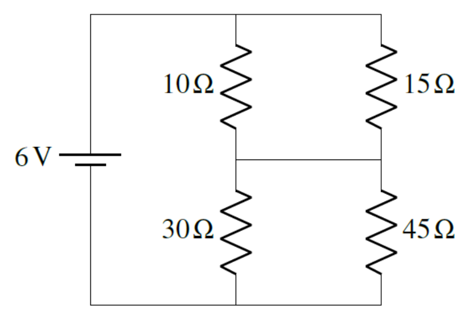
10. Quelle est la résistance équivalente entre les points *a* et *b* ?



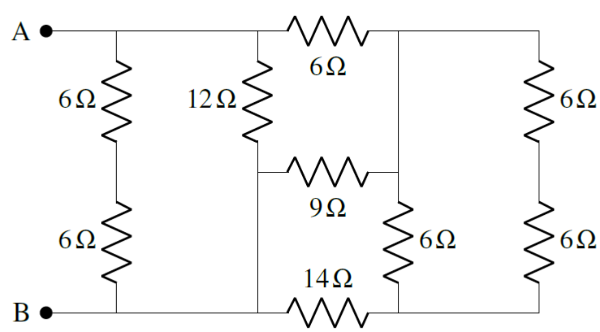
11. Quelle est la valeur de *R* dans ce circuit ?



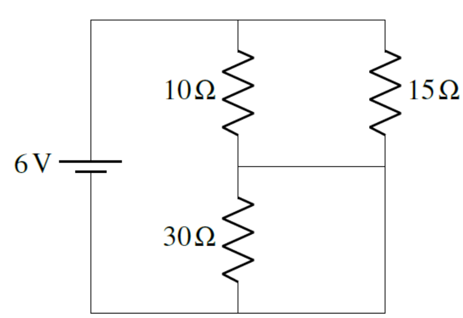
12. Quel est le courant fourni par la source de 6 V ?



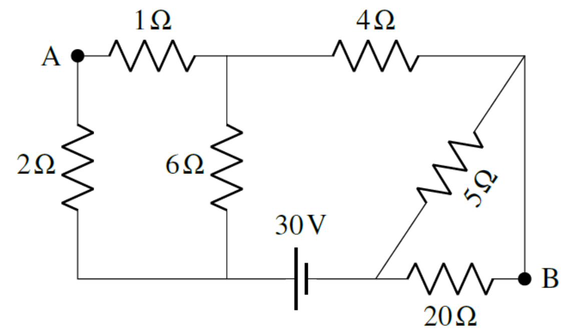
13. Quelle est la résistance équivalente entre les points *A* et *B* ?



14. Quel est le courant fourni par la source de 6 V ?

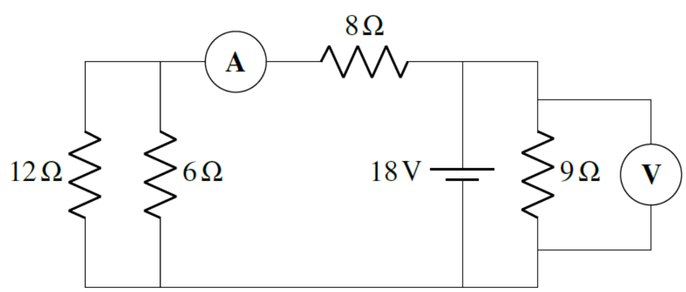


15. Voici un circuit.



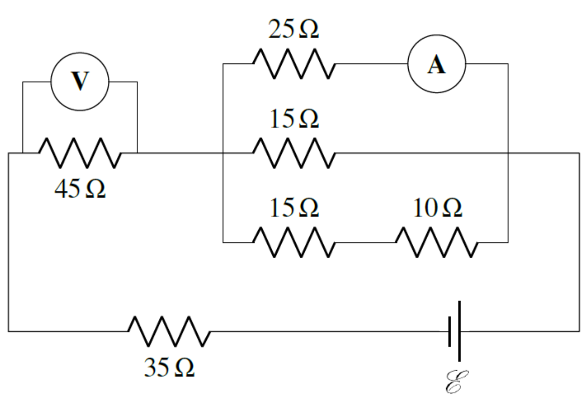
a) Quelle est la résistance équivalente ?
b) Quel est le courant dans chaque résistance ?
c) Quel est le courant fourni par la source ?
d) Quelle est la somme des puissances dissipées dans chaque résistance ?
e) Quelle est la puissance fournie par la pile ?
f) Quelle est la différence de potentiel entre les points *A* et *B* ?

16. Quelles sont les valeurs affichées par le voltmètre et l'ampèremètre dans ce circuit ?

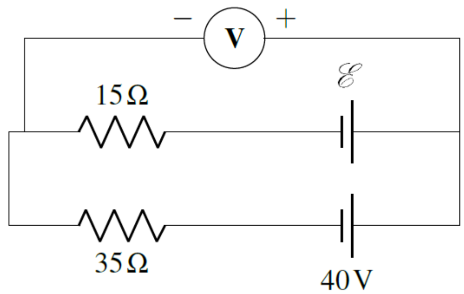


17. Dans ce circuit, l'ampèremètre mesure un courant de 2,4 A.

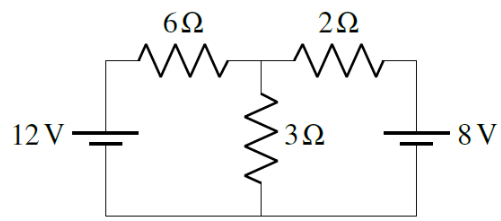
a) Qu'indique le voltmètre ?
b) Quelle est la différence de potentiel aux bornes de la source ?



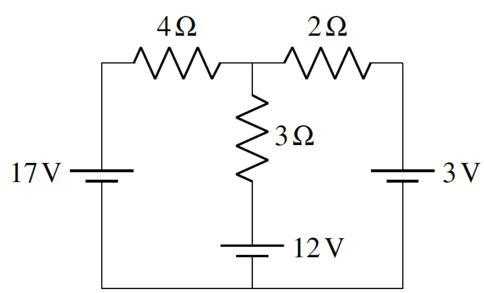
18. Dans le circuit suivant, le voltmètre indique 33 V. Quelle est la valeur de $\mathscr{E}$?



19. Quel est le courant dans chacune de ces résistances ?



20. Voici un circuit.

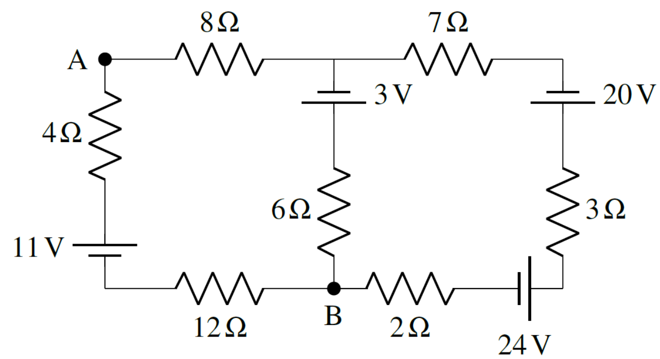


a) Quelle est la puissance dissipée en chaleur par chaque résistance ?
b) Quelle est la puissance fournie ou reçue par chaque source ?
c) Déterminez si la puissance totale fournie par les sources est égale à la puissance perdue en chaleur par les résistances. (C’est ce qu’on devrait toujours avoir.)

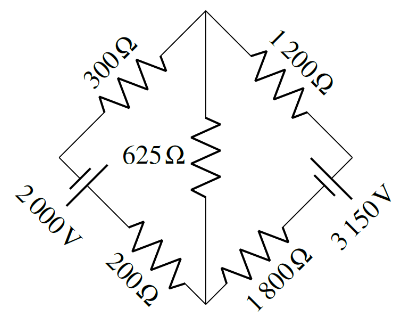
Exercices supplémentaires

21. Voici un circuit.

    a) Quel est le courant dans chacune de ces résistances ?
    b) Quelle est la différence de potentiel entre les points a et b ?

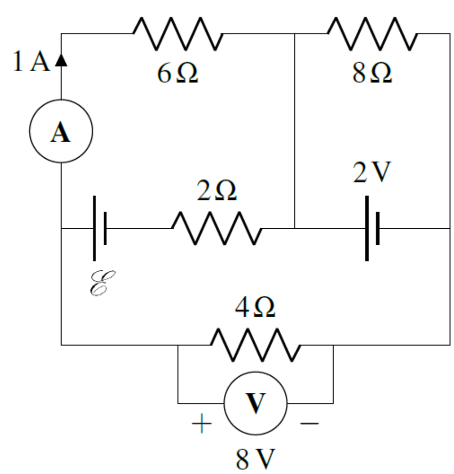


22. Quel est le courant dans chacune de ces résistances ?

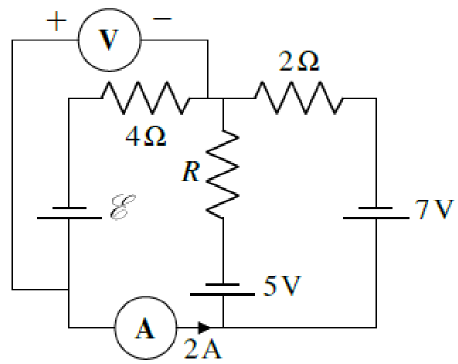


23. Voici un circuit.

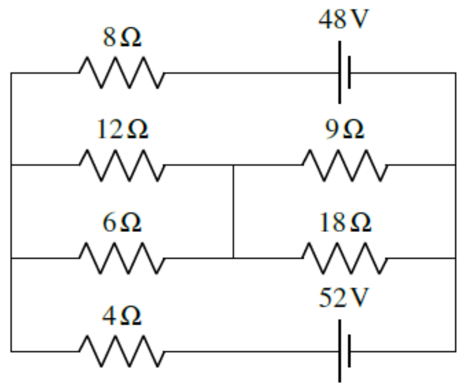
    a) Quel est le courant dans chacune des 6 branches de ce circuit ?
    b) Quelle est la valeur de $\mathcal{E}$?



24. Dans le circuit suivant, le voltmètre indique 10 V et l'ampèremètre indique 2 A. Quelles sont les valeurs de $\mathscr{E}$ et de R ?



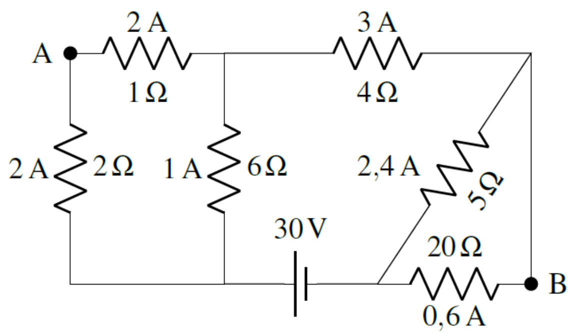
25. Quel est le courant dans chacune des branches de ce circuit ?



Réponses

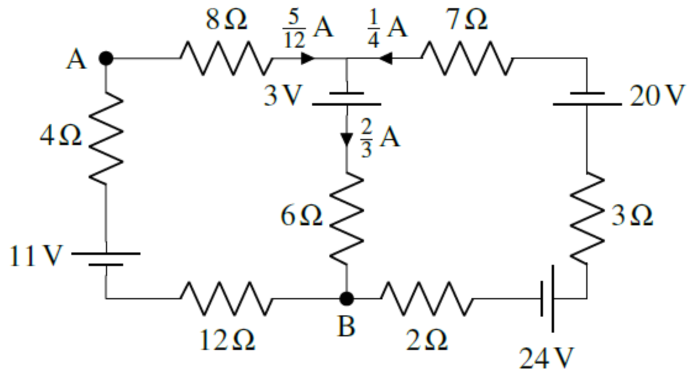
1. a) 144 W b) 17 280 J
2. Résistance de 7 Ω : courant nul
   Résistance de 4 Ω : courant de 4,5 A vers le bas

   Résistance de 9 Ω : courant de 2 A vers le bas
3. Résistance de 24 Ω : courant de 0,5 A vers le bas
   Résistance de 4 Ω : courant de 5 A vers la gauche
   Résistance de 32 Ω : courant de 0,25 A vers le haut
4. Résistance de 8 Ω : courant de 1,5 A vers le bas
   Résistance de 24 Ω : courant de 1/3 A vers le bas
   Résistance de 15 Ω : courant de 2/3 A vers la gauche
5. Le courant I_1 est de 25 A vers la droite.
   Le courant I_2 est de 23 A vers la droite et vers le bas.
   Le courant I_3 est de 20 A vers le bas et un peu vers la gauche.
6. Le courant I_1 est de 11 A vers la droite.
   Le courant I_2 est de 6 A vers la droite.
   Le courant I_3 est de 14 A vers le bas.
   Le courant I_4 est de 10 A vers le bas.
7. a) 0,25 A dans le sens des aiguilles d'une montre. b) 16,75 V
8. 7 Ω
9. 75 V
10. 11 Ω
11. 192 Ω
12. 0,25 A
13. 4 Ω
14. 1 A
15. a) 10 Ω
    b)



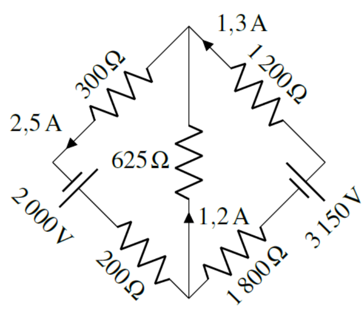
    c) 3A d) 90 W e) 90 W f) 14 V
16. Voltmètre : 18 V Ampèremètre : 1,5 A
17. a) 396 V b) 764 V
18. 30 V

19. Résistance de 6 Ω : 1 A vers la droite
    Résistance de 3 Ω : 2 A vers le bas
    Résistance de 2 Ω : 1 A vers la gauche
20. a) $P_{4\Omega}$ = 16 W $P_{3\Omega}$ = 3 W $P_{2\Omega}$ = 18 W
    b) P_{17V} = 34 W (fournie) P_{12V} = 12 W (fournie) P_{3V} = 9 W (reçoit)
    c) Les énergies fournies et les énergies dissipées sont toutes deux égales à 37 W.
21. a)

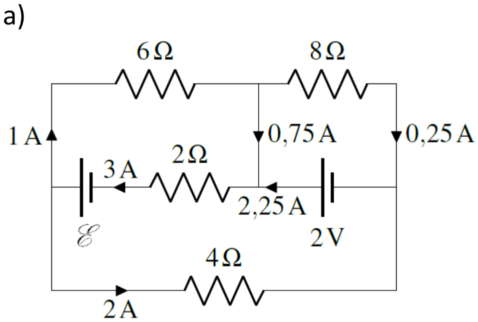


    b) 4,333 V

22.

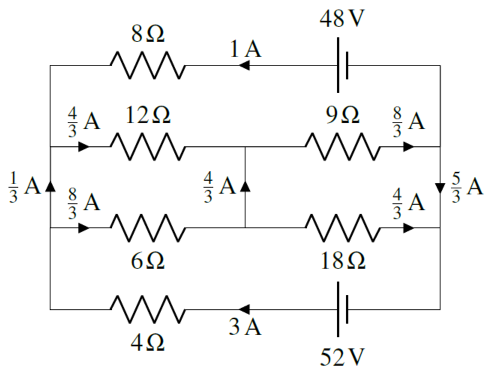


23. a)



    b) 12V

24. ℰ = 18 V et *R* = 10 Ω
25.


8 Ω
1 A
48 V
4/3 A
12 Ω
9 Ω
8/3 A
1/3 A
4/3 A
5/3 A
8/3 A
4/3 A
6 Ω
18 Ω
4 Ω
3 A
52 V