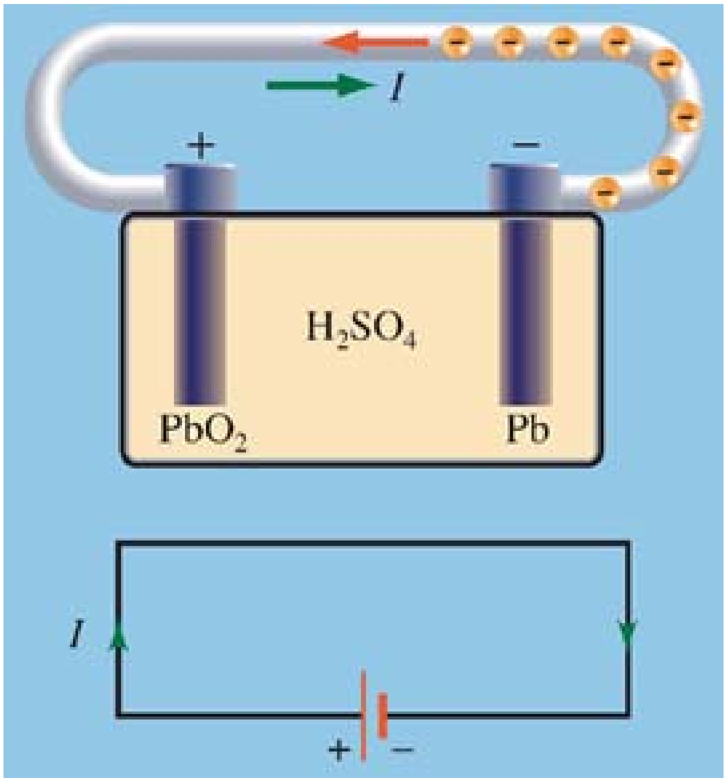
MODULE 2

LES CIRCUITS ALIMENTÉS EN COURANT CONTINU (C.C.)



Représentation schématique d'une pile

2.1 LOI D’OHM

Dans le module précédent, nous avons considéré des cas où les charges électriques étaient immobiles (électrostatique). Nous allons maintenant mettre ces charges en mouvement et étudier leur comportement dans un circuit électrique. De plus, ces éléments de théorie seront directement utilisés dans les prochains laboratoires.

A) Courant : Le courant électrique est défini comme étant la quantité de charges électriques passant à un endroit donné par intervalle de temps.

$$I = \Delta Q / \Delta t$$ **Courant électrique (2.1)**

où : I = intensité moyenne du courant électrique (A) (ampère)

ΔQ = charge net (C) (coulomb)

Δt = intervalle de temps (s) (seconde)

Plus il passe de charge à un endroit donné pour un même intervalle de temps, plus le courant est élevé (I est directement proportionnel à la charge nette). Si une même quantité de charge passe à un endroit donné, le courant sera davantage élevé si le temps de passage est plus faible (I est inversement proportionnel au temps).

Dans un circuit électrique ce sont les électrons (libres ou de conduction) qui se déplacent dans le fil conducteur et qui transportent par le fait même leur charge d’un point à l’autre du circuit. On dit que les électrons sont les porteurs de charge dans un circuit.

Notez également qu’un ampère est égal à un coulomb par seconde (1 A = 1 C / s). Si on se rappelle qu’un électron porte une charge de $1{,}602 \times 10^{-19}$ C, il est possible de déterminer combien d’électrons doivent passer une section d’un fil par seconde pour générer un courant de 2,3 A par exemple. Si vous faites le calcul (je vous invite à le faire), vous devriez arriver à $1{,}436 \times 10^{19}$ électrons.

Si on regarde maintenant la figure 2.1, on peut y voir une pile dont on a relié ses bornes par un fil conducteur. Le rôle de la pile est de générer une différence de potentiel (voir la section 2.1 B)) pour ainsi permettre le déplacement des électrons de la borne négative (-) vers la borne positive (+), puisque la borne négative repousse les électrons de charge négative et que la borne positive attire ces mêmes électrons.

Il faut cependant distinguer ici le sens du courant et le sens du mouvement des électrons. Par convention, le sens du courant est celui des charges positives. Le courant circule donc de la borne positive (+) à la borne négative (-). Cependant, comme mentionné plus haut, ce sont les électrons (-) qui se déplacent physiquement dans le conducteur. Le courant est donc dans le sens contraire au mouvement des électrons.

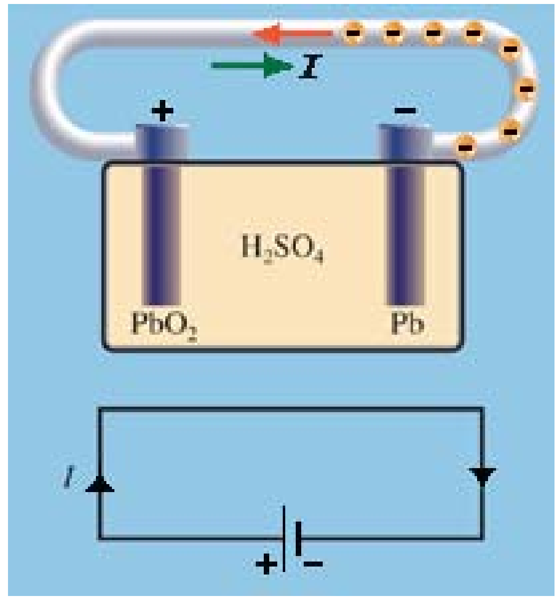


Figure 2.1 Schémas représentant une pile dont ses bornes ont été reliées par un fil.

Le courant est un écoulement de charges électriques à travers une surface. Il s'apparente beaucoup au courant d'un fluide (écoulement d'eau dans un boyau par exemple). Voyez maintenant quelques effets du courant sur le corps humain dans le tableau suivant :

Courant (A)	**Effet**
0,0025	Peut être ressenti
0,005	Douloureux
0,010	Contraction musculaire
0,030	Choc grave
0,070	Probablement fatale s'il dure plus d'une seconde
0,3	Brûlures graves
2,0	Mort instantanée

La vitesse de dérive est la vitesse à laquelle se déplacent les électrons libres dans un matériau après avoir établi une différence de potentiel entre ses bornes. Les électrons libres qui ne sont pas soumis à une ddp se déplacent à grande vitesse ($\approx 10^6$ m/s) et de façon aléatoire, ne générant aucun mouvement net en moyenne. Cependant, l'application d'une ddp génère un léger mouvement net des électrons libres qui vient se superposer au mouvement thermique aléatoire mentionné plus haut.

La vitesse de dérive constitue donc la vitesse de ce mouvement net d'électrons libres sous l'application d'une ddp. Pour des courants et des grosseurs de fils usuels, la vitesse de dérive est très petite (< 1 mm/s) et les électrons prennent plusieurs dizaines de minutes pour parcourir un mètre de fil. Lorsqu'un appareil est branché, il fonctionne quasiment instantanément sans que nous ayons besoin d'attendre que les électrons voyagent d'un bout à l'autre du fil. Le signal se propage à la vitesse de la lumière, puisque chaque électron libre ″pousse ″ sur son voisin créant ainsi le courant. Le phénomène est semblable à celui d'un tube rempli de billes, dans lequel on introduit une bille supplémentaire à une extrémité. Presque instantanément, une autre bille est éjectée à l'autre bout.

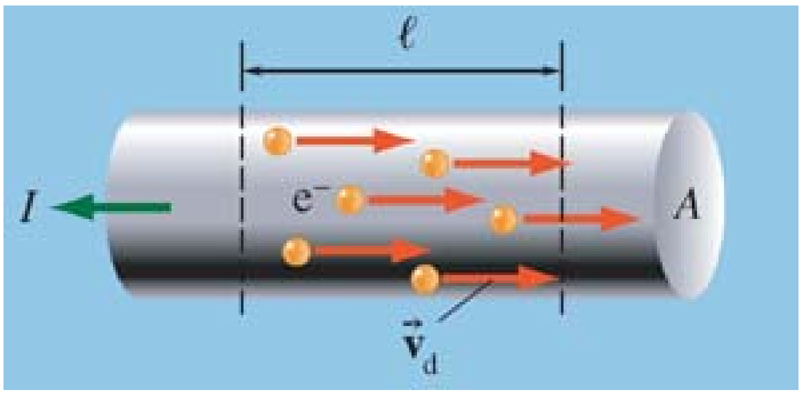


Figure 2.2 Schéma représentant la vitesse de dérive.

$$I = n\ A\ e\ v_d$$ **Vitesse de dérive et courant (2.2)**

où : I = courant (A) (ampère)

n = nombre d'électrons libres par unité de volume (é / m^3)

A = aire de la section du fil (m^2)

e = charge par électron = $1{,}602 \times 10^{-19}$ C / é

v_d = vitesse de dérive (m/s)

L'équation précédente provient du calcul suivant (issue de l'équation 2.1)

$$I = \Delta Q / \Delta t = [\ n\ (A\ l\ )\ e\ ]\ /\ [\ l\ /\ v_d\ ]\ , \qquad \text{où } l \text{ est la longueur du fil considéré}$$

B) Différence de potentiel : La différence de potentiel (ddp) ou tension électrique est la différence de population d'électrons aux bornes d'un élément donné. Elle se mesure en volt (V).

Le rôle des sources électriques est en fait de transformer de l'énergie mécanique (dynamo, alternateur) ou chimique (pile, accumulateur) en énergie électrique. Elles doivent générer et maintenir une différence du nombre d'électrons entre leurs bornes, créant ainsi un manque d'électrons à la borne positive (+) et un surplus d'électrons à la borne négative (-). C'est ce déséquilibre des charges (aux bornes de la pile) qui permet aux électrons libres d'un fil conducteur de fuir la borne négative (-) et de se diriger vers la borne positive (+), créant ainsi un courant en se déplaçant. Une tension électrique doit absolument être présente entre deux points d'un circuit pour qu'un courant apparaisse entre ses deux mêmes points.

C) Résistance : La résistance est définie comme étant une mesure de l'opposition d'un matériau à la circulation des porteurs de charge. Elle se mesure en ohm (Ω).

La résistance dépend des propriétés géométriques (aire de la section et longueur du fil) et électriques (résistivité) du matériau. Ces propriétés seront étudiées à la section 2.3 qui porte sur la résistivité. Pour l'instant, limitons-nous au fait qu'un matériau empêche à des degrés différents le passage des électrons à l'intérieur de lui (bien qu'il soit conducteur). On peut dire également que la résistance d'un objet limite le courant dans un circuit. Plus la résistance est élevé, plus le courant est faible.

Notez en terminant que la résistance du corps humain varie de 100 Ω (peau très humide) à 10 000 Ω (peau très sèche). C'est pour cette raison qu'une personne prenant un choc dans une prise électrique peut s'en sortir. Une résistance de 10 000 Ω laisse passer peu de courant limitant les dommages qu'un courant élevé pourrait causer sur l'organisme. Nous reviendrons sur cet aspect dans quelques instants, c'est-à-dire après avoir présentée la loi d'Ohm, qui fait le lien entre les trois précédentes notions, c'est-à-dire le courant, la différence de potentiel et la résistance.

$$\Delta V = RI \qquad \textbf{Loi d'Ohm (2.3)}$$

où : ΔV = différence de potentiel (V) (volt)

R = résistance (Ω) (ohm)

I = courant (A) (ampère)

La loi d'Ohm est valide seulement si la résistance est constante (relation linéaire entre la ddp et le courant). Elle ne s'applique donc pas pour les diodes et les transistors, puisque la résistance de ces éléments n'est pas constante.

Si nous calculons maintenant le courant traversant le corps humain après avoir introduit une fourchette dans une prise de courant domestique standard (15 A maximum et 110 V) par exemple, nous aurons pour les deux cas de résistance mentionnés plus haut le calcul suivant :

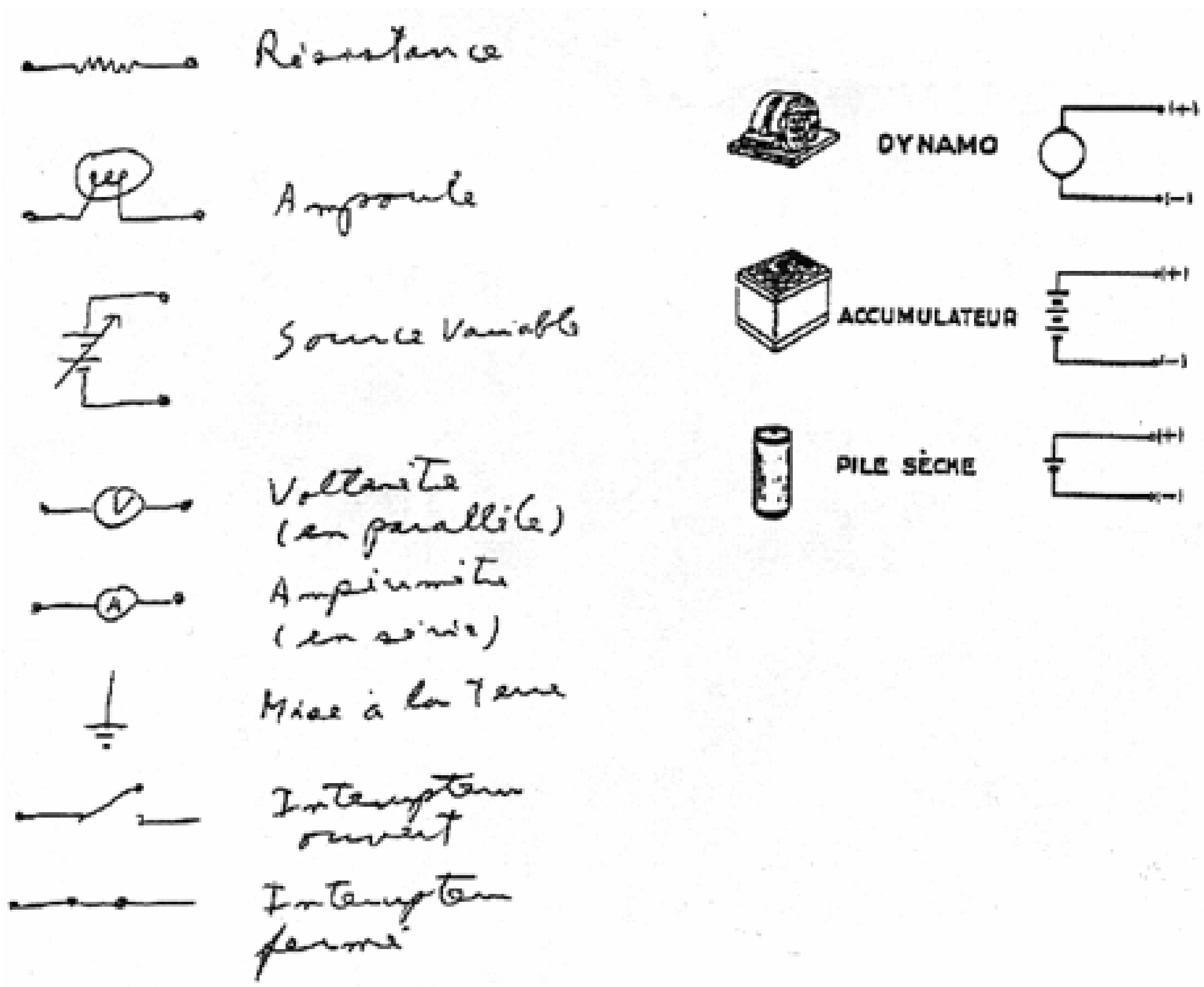
$\Delta V = RI$	$\Delta V = RI$
$110 = 100\ I$	$110 = 10\ 000\ I$
$I = 1{,}10$ A	$I = 0{,}011$ A

Dans le premier cas, le courant est fatal, alors que dans le second, il n'est que très douloureux.

2.2 ÉLÉMENTS D'UN CIRCUIT ÉLECTRIQUE

Nous verrons dans cette section les principaux symboles utilisés pour représenter schématiquement un circuit électrique réel et les principaux instruments de mesure utilisés en électricité. Ces symboles et instruments de mesure seront surtout utilisés en laboratoire.

A) Symboles



B) Instruments de mesure

Cette partie est clairement expliquée au chapitre 7.3 du Benson. Je vous invite donc à le consulter pour avoir des informations sur le voltmètre, l'ampèremètre et l'ohmmètre, c'est-à-dire pour savoir à quoi ils servent et comment les brancher dans un circuit pour obtenir les mesures souhaitées.

2.3 RÉSISTIVITÉ

A) <u>Définition</u> : La résistivité est définie comme étant une propriété propre à chaque matériau qui dépend : 1) de la disposition des atomes, 2) de leur taille, 3) du nombre d'électrons libres dans le matériau. Elle se mesure en Ω·m.

La résistivité d'un matériau nous renseigne sur la difficulté qu'ont les charges électriques à traverser ce matériau. Plus la résistivité est élevée, plus le matériau s'oppose à la circulation des porteurs de charge. Il est donc un mauvais conducteur ou un bon isolant. Le tableau suivant (Tableau 6.1 du Benson) indique les valeurs de résistivité (à 20 °C) de certains matériaux :

Matériau	Résistivité ρ (Ω·m)	Coefficient thermique de résistivité α $(°C)^{-1}$
Mica	2×10^{15}	-50×10^{-3}
Verre	$10^{12} - 10^{13}$	-70×10^{-3}
Caoutchouc dur	10^{13}	
Silicium	2200	−0,7
Germanium	0,45	−0,05
Carbone (graphite)	$3{,}5 \times 10^{-5}$	$-0{,}5 \times 10^{-3}$
Nichrome	$1{,}2 \times 10^{-6}$	$0{,}4 \times 10^{-3}$
Manganin	44×10^{-8}	5×10^{-7}
Acier	40×10^{-8}	8×10^{-4}
Platine	11×10^{-8}	$3{,}9 \times 10^{-3}$
Aluminium	$2{,}8 \times 10^{-8}$	$3{,}9 \times 10^{-3}$
Cuivre	$1{,}7 \times 10^{-8}$	$3{,}9 \times 10^{-3}$
Argent	$1{,}5 \times 10^{-8}$	$3{,}8 \times 10^{-3}$

Dans ce tableau, nous remarquons que le mica, le verre et le caoutchouc dur sont de très bons isolants, puisque leur résistivité est très élevée. Par contre, les métaux (nichrome, manganin, acier, etc…) sont de bons conducteurs, puisque leur résistivité est très faible.

Notez que les fils électriques d'Hydro-Québec sont principalement fait de cuivre, mais que l'aluminium a aussi déjà été utilisé pour le filage électrique des maisons construites dans les années 70's. L'aluminium étant plus malléable (se casse plus facilement après quelques manipulations), sa résistivité légèrement supérieur au cuivre et son coût plus élevé ont donné au cuivre des avantages certains sur l'aluminium. L'argent a une meilleure résistivité que le cuivre, mais vous comprendrez qu'il est beaucoup plus dispendieux pour un avantage négligeable de la résistivité.

B) Lien entre la résistance et la résistivité

La résistance d'un échantillon donné dépend de ses caractéristiques géométriques (dimension et forme) et de ses propriétés électriques (résistivité). Ces dépendances se retrouvent dans l'équation suivante :

$$R = \rho L / A$$ **Lien entre R et ρ (2.4)**

où : R = résistance(Ω)

ρ = résistivité (Ω·m)

L = longueur du fil (m)

A = aire de la section du fil (m^2)

Dans les cas qui nous intéressent, nous n'allons utiliser que des fils électriques cylindriques, c'est-à-dire que l'aire de la section de ces fils sera circulaire ($A = \pi r^2$). Donc, plus le fil est long, plus la résistance mesurée entre ses deux extrémités est grande (R est directement proportionnelle à L). Aussi, plus le fil est gros (rayon du fil), plus la résistance est faible (R est inversement proportionnelle à A ou à r^2). Étant donnée que le rayon est au carré, cela signifie que si l'on double le rayon d'un fil, sa résistance sera quatre fois inférieure à la résistance originale du fil.

Considérons pour terminer deux fils d'aluminium ($L_1 = 5$ m, $L_2 = 10$ m et $r_1 = r_2$) ayant des longueurs différentes, mais des grosseurs identiques. Ces deux fils ont la même résistivité (ils sont faits tous les deux du même matériau), mais le fil numéro 2 a une résistance totale entre ses extrémités 2 fois plus grande que celle du fil numéro 1 (puisque sa longueur est deux fois plus grande). Ces deux fils ont les mêmes propriétés électriques, mais des caractéristiques géométriques différentes.

C) <u>Influence de la température sur la résistivité</u>

La résistivité des matériaux dépend de leur température. On voit à la figure 2.3 le comportement de la résistivité de différents types de matériaux avec l'augmentation de la température. Par exemple, un morceau de métal dont la température est plus élevée qu'un autre morceau du même métal, a une résistivité plus élevée (linéaire sur une grande plage de température) puisque le passage des électrons est davantage gêné par l'amplitude des vibrations des ions positifs qui est plus grande (la ligne pointillée est due aux impuretés et aux imperfections du métal).

Dans le cas des semi-conducteurs, la résistivité diminue avec l'augmentation de la température (pas linéairement), puisque davantage de porteurs de charge se libèrent et participent à la conduction.

Dans le cas des supraconducteurs, la résistivité s'annule brutalement à une température critique (T_c) qui dépend du matériau. De plus, la relation n'est pas linéaire pour les températures supérieures à T_c.

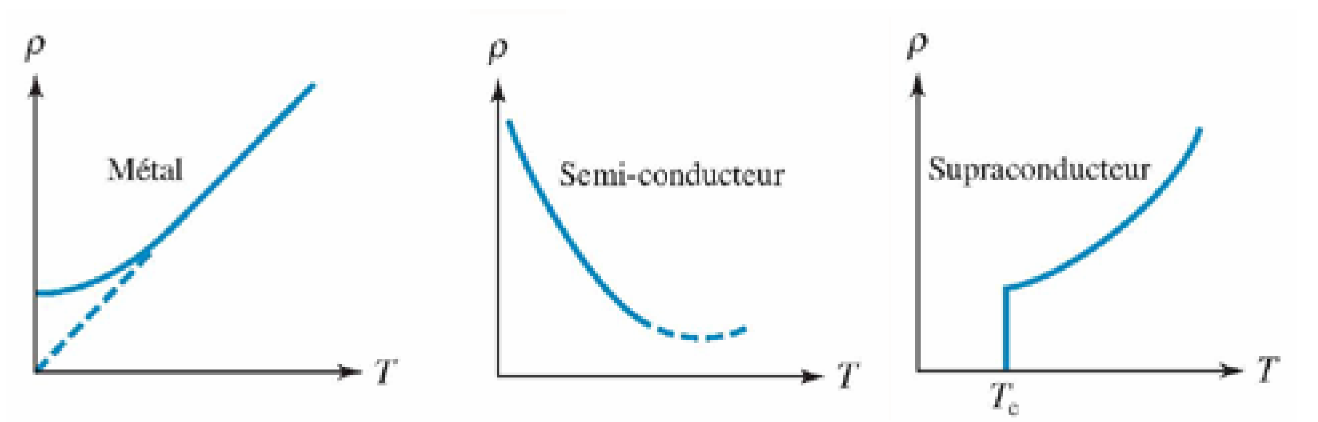


Figure 2.3 Graphiques de la résistivité en fonction de la température

L'équation suivante met donc en relation la température et la résistivité des métaux uniquement (la résistivité des semi-conducteurs et des supraconducteurs n'ayant pas une relation linéaire avec la température) :

$$\Delta\rho = \alpha\rho_o\Delta T$$ **Influence de T sur ρ (2.5)**

où : $\Delta\rho$ = variation de résistivité (ρ - ρ_o) ($\Omega\cdot$m)

α = coefficient thermique de résistivité (°C^{-1})

ρ_o = résistivité à la température initiale (à T_o) ($\Omega\cdot$m)

ΔT = variation de température (T - T_o) (°C)

Si l'on néglige le changement de dimensions du fil par dilatation thermique, on peut écrire l'équation 2.5 de la façon suivante :

$$\Delta R = \alpha R_o\Delta T$$ **Influence de T sur R (2.6)**

où : ΔR = variation de résistance (R - R_o) (Ω)

α = coefficient thermique de résistivité (°C^{-1})

R_o = résistance à la température initiale (à T_o) (Ω)

ΔT = variation de température (T - T_o) (°C)

D) Conductivité

La conductivité est l'inverse de la résistivité. Elle nous renseigne sur la facilité qu'a un matériau à laisser circuler les charges à l'intérieur de lui.

$$\sigma = 1 / \rho$$ **Conductivité (2.7)**

où : σ = conductivité ($\Omega^{-1}\cdot m^{-1}$)

ρ = résistivité ($\Omega\cdot$m)

Un bon conducteur électrique a une faible résistivité et une grande conductivité, alors qu'un bon isolant électrique a une grande résistivité et une faible conductivité.

2.4 EFFET JOULE

Lorsque vous branchez une ampoule électrique pour vous éclairer, vous avez sûrement remarqué qu'elle émet de la lumière (énergie lumineuse), mais aussi qu'elle dissipe de la chaleur (énergie thermique). L'énergie électrique utilisée pour faire fonctionner l'ampoule (produire de la lumière) n'est pas utilisée entièrement à cette fin, il y a perte d'énergie sous forme de chaleur.

$$E_{\text{électrique}} = E_{\text{lumineuse}} + E_{\text{thermique}}$$

Par contre, dans le cas où vous utilisez une ampoule à infrarouge (pour réchauffer une couvée de poussins ou de porcelets par exemple), vous souhaitez qu'elle produise le maximum de chaleur et le minimum de lumière visible.

A) Définition : L'effet Joule est le phénomène caractérisé par la transformation en chaleur d'une partie de l'énergie électrique lorsqu'un courant traverse une résistance.

Les pertes de chaleur par effet Joule ne sont pas toujours négatives. Dans plusieurs cas, nous utilisons ce phénomène à notre avantage, ne serait-ce que pour faire chauffer de l'eau dans une bouilloire électrique ou l'air de la maison avec une plinthe électrique.

B) Puissance électrique

La puissance étant une quantité d'énergie par intervalle de temps, elle nous renseigne sur le taux de consommation d'énergie. Par exemple, une ampoule de 100 W (le watt est l'unité de mesure de la puissance (1 W = 1 J/s)) nécessite une quantité d'énergie électrique de 100 J à chaque seconde pour fonctionner correctement.

$$P = I\Delta V = RI^2 = \Delta V^2 / R$$ **Puissance électrique (2.8)**

où : P = puissance électrique (W) (watt)

I = courant électrique (A) (ampère)

ΔV = différence de potentiel (V) (volt)

R = résistance (Ω) (ohm)

Exemple 2.1 : Un grille-pain fonctionne à 120 V avec un courant de 7 A. Il met 1 minute pour accomplir sa tâche, à raison de 0,05 $/kWh. Combien en coûte-t-il de griller 2 tranches de pain à la fois ?

$\Delta V = 120$ V

$I = 7$ A

$t = 60$ s

Prix = 0,05 $ / kWh

1 kWh = $3{,}6 \times 10^6$ J (voir les facteurs de conversion à l'avant-dernière page du Benson)

1. $P = I\,\Delta V$

   $P = (120)\,(7) = 840$ W

2. Coût = (840 J/s) (1 kWh / $3{,}6 \times 10^6$ J) (0,05 $ / kWh) (60 s) = **0,0007 $**

Il coûte donc en électricité environ 7 ¢ pour griller 200 ″toast″ (avec un grille-pain à 2 fentes). Notez que pour arriver à cette réponse, la méthode des facteurs de conversion vue en mécanique a été utilisée.

2.5 LOIS DE KIRCHHOFF

Les lois de Kirchhoff permettent d'analyser différents circuits électriques composés de sources électriques et de résistances (agencées en série ou en parallèle) pour obtenir par exemple les valeurs théoriques des courants circulant dans chacune des branches d'un circuit complexe. Elles permettent également de calculer la valeur de la résistance qu'un élément d'un circuit devrait avoir pour limiter le courant de la façon souhaitée (pour éviter qu'une ampoule grille si un courant trop élevé la traverse par exemple).

A) <u>Loi des nœuds</u> : La somme algébrique des courants pénétrant dans un nœud (jonction de fils où le courant peut se diviser en deux ou plus) et des courants qui en sortent est nulle.

$$\Sigma I = 0$$ **Loi des nœuds de Kirchhoff (2.9)**

où : I = courant électrique (A) (ampère)

Si deux courants entrent dans un nœud (I_1 et I_2) et trois courants en sortent (I_3, I_4 et I_5), alors nous pouvons écrire l'équation suivante (en considérant les courants entrant négatifs et les courants sortant positifs) :

$$-I_1 + -I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$$

En d'autres mots, nous pouvons dire aussi que ″tout ce qui entre est égal à tout ce qui sort″, alors nous pouvons écrire l'équation suivante (qui est la même que précédemment, mais qui interprète la loi des nœuds de Kirchhoff différemment) :

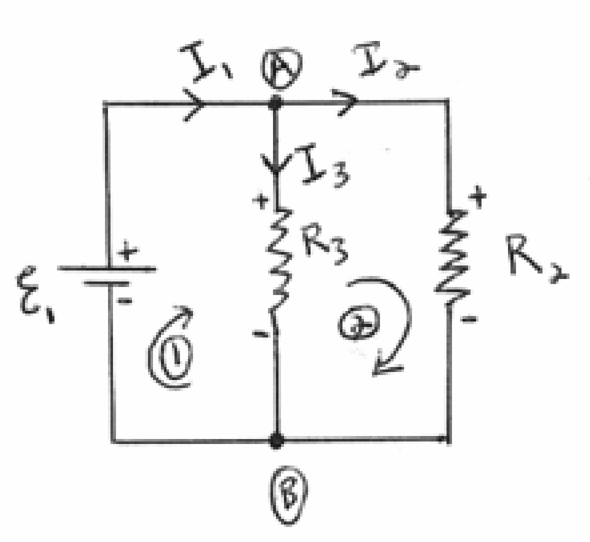
$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

B) <u>Loi des mailles</u> : La somme algébrique des variations de potentiel dans une maille fermée est nulle.

$$\Sigma \Delta V = 0$$ **Loi des mailles de Kirchhoff (2.10)**

où : ΔV = variation de potentiel (V) (volt)

Regardons maintenant comment appliquer ces lois de Kirchhoff. Sur le circuit électrique illustré, une pile fournissant $\mathcal{E}_1$ volts est branchée en parallèle avec 2 résistances de valeur R_2 et R_3.



Les nœuds A et B ont été identifiés. Au nœud A par exemple, un courant I_1 entre dans le nœud et se divise en deux, soit en un courant I_2 et un courant I_3. Au nœud B, ces mêmes courants (I_2 et I_3) se recombinent ensemble pour reformer I_1. Notez que c'est vous qui choisissez le sens des courants. Si vous choisissez le sens contraire au sens réel, votre solution va simplement vous donner un courant de signe négatif. Vous saurez alors qu'il va en réalité dans le sens contraire à celui que vous avez identifié au départ.

Les mailles 1 et 2 ont aussi été identifiées. Ces mailles constituent des parcours fermés dans un circuit. Pour appliquer la loi des mailles, il faut choisir un point de départ quelconque et parcourir la maille dans un sens (horaire) ou dans l'autre (anti-horaire) afin d'additionner tous les gains et toutes les pertes de potentiel. Si nous procédons, nous obtenons :

Nœud A : $I_1 = I_2 + I_3$

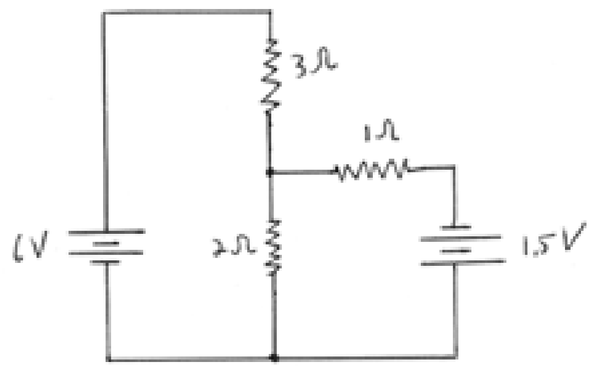
Nœud B : $I_2 + I_3 = I_1$ (équation inutile, puisque déjà obtenue avec le nœud A)

Maille 1 : $\mathcal{E}_1 - R_3 I_3 = 0$ $\Delta V_3 = R_3 I_3$ (correspondant à la ddp aux bornes de R_3)

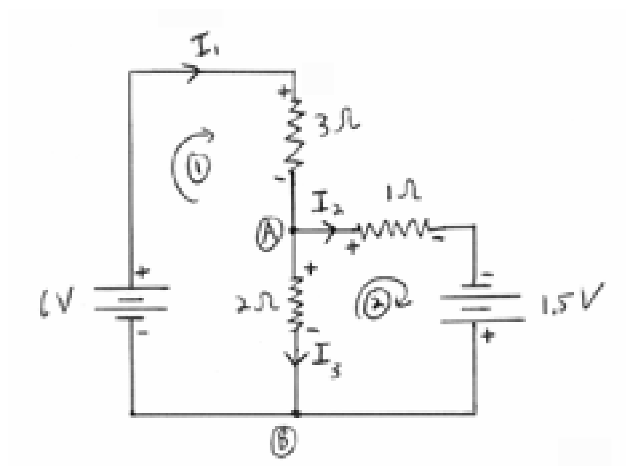
Maille 2 : $- R_2 I_2 + R_3 I_3 = 0$

Avant de continuer, je vous invite à consulter la méthode de résolution (aux pages 233-234 de la section 7.4 du Benson) que vous devrez appliquer dans les problèmes nécessitant l'utilisation des lois de Kirchhoff.

Exemple 2.2 : En appliquant les lois de Kirchhoff, déterminer le courant qui circule dans chacune des résistances du circuit illustré.



Vous devez dans un premier temps identifier sur votre circuit, un courant par branche (I_1, I_2 et I_3) (c'est vous qui choisissez un sens arbitraire), les nœuds (A et B) ainsi que les mailles (1 et 2) (avec un sens de rotation arbitraire). Ensuite, vous appliquez les lois de Kirchhoff dans le but d'obtenir autant d'équations que d'inconnues (dans ce problème, il y en a trois (I_1, I_2 et I_3)).



Nœud A : $I_1 = I_2 + I_3$

Maille 1 : $6 - 3\,I_1 - 2\,I_3 = 0$

Maille 2 : $1{,}5 + 2\,I_3 - 1\,I_2 = 0$

En isolant I_1 dans l'équation de la maille 1, I_2 dans celle de la maille 2 et en remplaçant dans celle du nœud A, on obtient $I_3 = 0{,}136$ A. En utilisant cette valeur dans les équations des mailles, nous obtenons finalement $I_1 = 1{,}91$ A et $I_2 = 1{,}77$ A.

Si nous avions choisi un sens de rotation contraire à celui illustré pour les deux mailles, nous aurions obtenu les mêmes valeurs de courant, mais les équations de départ auraient été légèrement différentes.

Maille 1 : $-6 + 2\,I_3 + 3\,I_1 = 0$

Maille 2 : $-1{,}5 + 1\,I_2 - 2\,I_3 = 0$ perte de potentiel en passant dans la pile (du + au -), gain de potentiel en passant dans la résistance de 1 Ω (du – au +) et perte de potentiel en passant celle de 2 Ω (du + au -).

2.6 RÉSISTANCES EN SÉRIE ET EN PARALLÈLE

Cette partie est clairement expliquée au chapitre 7.2 du Benson. Je vous invite donc à le consulter pour savoir comment additionner des résistances en série et d'autres en parallèle.

$$R_{éq} = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_N \qquad \textbf{R}_{\textbf{éq}} \textbf{ en série (2.11)}$$

$$R_{éq} = (R_1^{-1} + R_2^{-1} + R_3^{-1} + \ldots + R_N^{-1})^{-1} \qquad \textbf{R}_{\textbf{éq}} \textbf{ en parallèle (2.12)}$$

2.7 FORCE ÉLECTROMOTRICE

La force électromotrice (f.é.m.) est la tension générée par une source (par exemple, une pile de 12 V neuve à une f.é.m. $\mathcal{E}_1$ = 12 V). Cependant, la tension réellement disponible pour alimenter un circuit est plus faible, puisque la pile possède une résistance interne. La pile offre donc elle-même une opposition à la circulation du courant lorsqu'elle est reliée dans un circuit, ce qui génère une certaine perte de potentiel, diminuant ainsi le potentiel disponible pour le circuit à alimenter.

$$\Delta V_s = \mathcal{E} - r\,I = RI \qquad \textbf{Force électromotrice (f.é.m.) (2.13)}$$

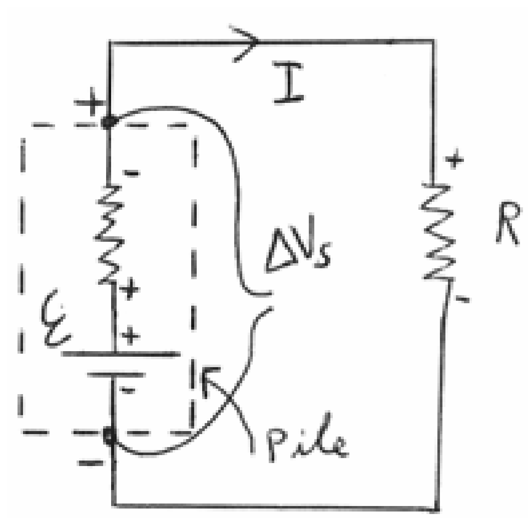
où : ΔV_s = différence de potentiel aux bornes de la pile (V) (volt)

$\mathcal{E}$ = f.é.m (V) (volt)

r = résistance interne de la pile (Ω) (ohm)

I = courant circulant dans r et R (A) (ampère)

R = résistance externe équivalente (Ω) (ohm)

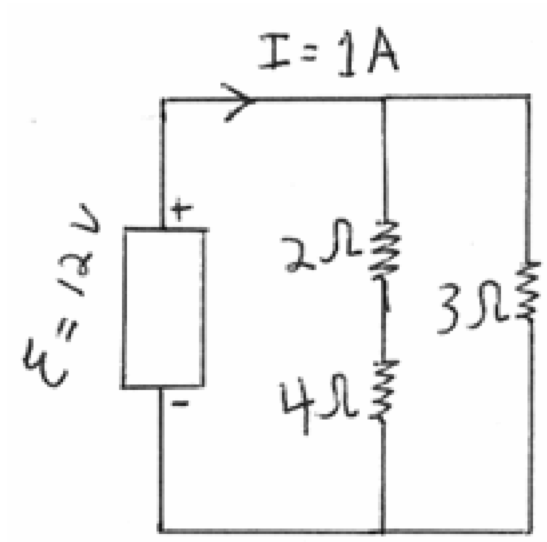


On néglige souvent la distinction entre la f.é.m. et la tension aux bornes de la pile dans la vie courante, puisque la résistance externe est pratiquement toujours beaucoup plus grande que la résistance interne de la pile. Lorsque c'est le cas, ces deux quantités sont à peu près égales. Par contre, lorsque R est du même ordre de grandeur que r, alors une erreur d'environ 100 % (double de la valeur réelle) surviendrait si nous n'en tenions pas compte. Voyez le calcul suivant :

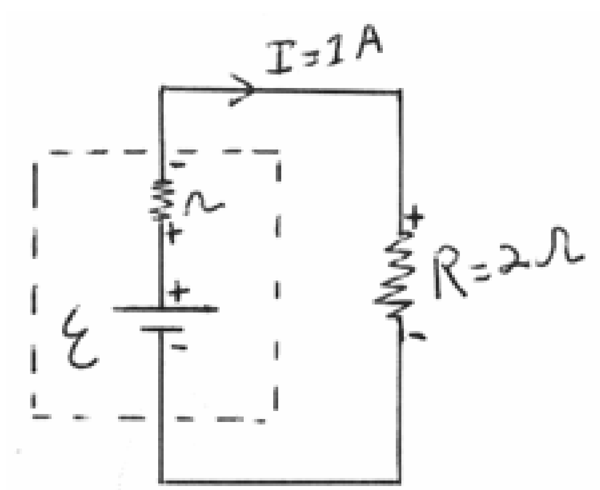
$R >> r \qquad \Sigma\Delta V = 0 = \mathcal{E} - rI - RI = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathcal{E} = (r + R)\,I \quad \Rightarrow \quad \mathcal{E} \approx RI \approx V_s$

$R \approx r \qquad \Sigma\Delta V = 0 = \mathcal{E} - rI - RI = 0 \quad \Rightarrow \quad \mathcal{E} = (r + R)\,I \quad \Rightarrow \quad \mathcal{E} \approx 2RI \approx 2V_s$

Exemple 2.3 : Déterminer la résistance interne d'une pile et la tension aux bornes de celle-ci, si elle fournit une f.é.m. de 12 V et un courant de 1 A dans le circuit suivant :



1. Il faut d'abord calculer la résistance externe équivalente et ramener le circuit au circuit de base.



2. Par la suite, on procède aux calculs :

$\Delta V_s = RI$

$\Delta V_s = (2)\,(1)$

$\mathbf{\Delta V_s = 2\ V}$

$\Delta V_s = \mathcal{E} - rI$

$2 = 12 - r\,(1)$

$\mathbf{r = 10\ \Omega}$