

Cours 2 : Notions fondamentales de circuits électriques

Table des matières

Cours 2 : Notions fondamentales de circuits électriques.....	1
Introduction.....	2
Mise en situation.....	2
Objectifs spécifiques.....	2
Vocabulaire.....	2
Nature de l'électricité.....	3
Constitution de la matière.....	3
Électrisation et charge électrique.....	3
Les électrons libres.....	4
Différence de potentiel et courant électrique.....	5
Conducteurs et isolants.....	8
Expérience de Stephen Gray et électricité statique.....	8
Conducteurs électriques.....	10
Isolants électriques.....	11
Principes de production de l'électricité.....	11
Conversion de l'énergie chimique en énergie électrique :.....	11
Production mécanique de l'énergie électrique.....	14
Production optique.....	15
Tension, courant et puissance électrique.....	16
Source de tension.....	16
Source de courant.....	18
Puissance et convention de signe.....	19
Énergie électrique.....	21
Comportement des charges électriques de base.....	21
Résistance.....	21
L'inductance.....	23
Le condensateur.....	24
Le circuit électrique.....	25
Montage série des éléments.....	25
Montage parallèle des éléments.....	27
Lois de Kirchhoff pour l'analyse des circuits.....	29

Introduction

Mise en situation

Les phénomènes électriques sont moins apparents que les phénomènes mécaniques. Si on applique une force à une table, on la verra se déplacer. Cependant ce que l'on désigne par **électricité** est produit dans des usines appelées centrales de production et arrive dans nos maisons sans faire de bruit, on a ainsi l'effet à travers une lampe qui s'allume, un grille-pain ou une poêle qui chauffent, etc.



L'objectif général de ce chapitre est d'éclaircir ce que l'on appelle communément **courant électrique** sans entrer dans la théorie des formules mathématiques. À partir de la définition du courant électrique, nous verrons son **principe de production du courant électrique**, ses **effets** de même que **quelques applications** et finalement les **dangers du courant électrique**.

Objectifs spécifiques

- Définir courant électrique.
- Acquérir le vocabulaire de base dans le domaine électrique
- Reconnaître les effets du courant
- Décrire les principaux moyens de production de l'électricité
- Distinguer le courant, la tension et la résistance électrique
- Reconnaître les montages série et parallèle des éléments
- Distinguer une source alternative d'une source à courant continu.
- Connaître les dangers de l'électricité
- Citer les dispositifs de protections de base.
- Acquérir les attitudes préventives concernant la sécurité.
- Distinguer une source d'une charge.
- Appliquer les lois de Kirchhoff

Vocabulaire

- Charge électrique
- Courant électrique
- Tension électrique
- Résistance électrique
- Puissance électrique
- Circuit série et parallèle
- Disjoncteur
- Fusible

Nature de l'électricité

Constitution de la matière

L'**électricité** ne peut exister dans le vide, il faut de la **matière** pour l'avoir. S'agissant de la matière, on définit l'**atome** comme sa plus petite constituante dont les mouvements servent à analyser les comportements macroscopiques de celle-ci. L'atome est constitué d'un **noyau** et des **électrons** qui gravitent autour de celui-ci. Le noyau est constitué de **protons (charges électriques positives)** et de **neutrons (charges électriques nulles)**; l'ensemble protons et neutrons est appelé **nucléons** et un atome comporte autant de protons que d'électrons. On dit que l'atome est **électriquement neutre**.

*Un atome est constitué de trois particules : les **protons** et les **neutrons** qui forment le noyau puis des **électrons** qui gravitent autour du noyau. L'atome est électriquement neutre par le fait qu'il comporte autant de charges positives que de charge négative.*

Électrisation et charge électrique

Expériences

- En peignant vos cheveux, vous vous êtes souvent rendu compte que ceux-ci étaient attirés par le peigne. Le même phénomène d'attraction apparaîtra lorsque l'on déballe un article enveloppé avec de cellophane. On dit que le peigne, la feuille de cellophane se sont **électrisés**.
- Lorsqu'on utilise deux règles en matière plastique frottées avec une peau de chat et deux bâtons en verre frottés avec de la laine, on constate que :
 - les deux règles frottées se **repoussent**,
 - la règle et le bâton de verre frottés **s'attirent**,
 - les deux bâtons de verres frottés se **repoussent**.

De la même façon que dans la première expérience, les règles et les bâtons de verre se sont électrisés.

Interprétation

Des corps sont électrisés à cause de la présence de **charges électriques**. Les règles et les bâtons en verre frottés ont alors été **chargés électriquement**, car toutes les particules qui possèdent une charge électrique peuvent subir des **forces électriques**. On utilise la lettre q pour désigner la charge électrique et son unité est le **coulomb (C)**. Le nom coulomb est emprunté au physicien français Charles-Augustin Coulomb (1736-1806).

*L'**électrisation de la matière** est l'action de charger électriquement un objet.*

Conclusion

- Il existe deux types de charge : positive et négative
- Deux charges de même signe se repoussent alors que deux charges de signe contraire s'attirent.

La force d'attraction ou de répulsion qui s'exerce entre deux charges est d'autant plus élevée que la distance entre les deux charges est faible. Plus spécifiquement, **la force d'attraction ou de répulsion est inversement proportionnelle au carré de la distance qui sépare les deux charges** : c'est la loi de Coulomb énoncé en 1785 par Charles Coulomb (1736-1806).

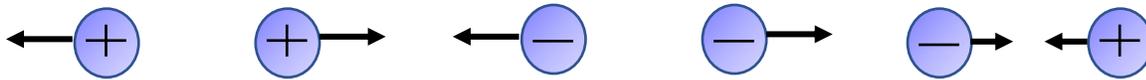


Figure 1.1. Interaction entre charges positives et charges négatives

La **charge électrique élémentaire** est la plus petite charge pouvant être portée par une particule dans la nature, on la note e et elle vaut : $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ qui est la charge d'un proton. S'agissant de l'atome, son noyau est chargé positivement par ses protons, les neutrons n'ont aucune charge et les électrons sont chargés négativement. La charge de chaque électron est alors de $-1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$. C'est pour cela que l'atome est **électriquement neutre** c'est-à-dire qu'il comporte autant de charges positives que de charges négatives et, car il a autant de protons que d'électrons.

Les électrons libres

Les électrons d'un atome sont disposés sur des couches appelées **couches électroniques** comme montré ci-dessous dans le cas d'un atome de **cuivre**. Cette représentation de l'atome est un modèle simplifié issu d'un modèle plus complet appelé modèle de Rutherford-Bohr.

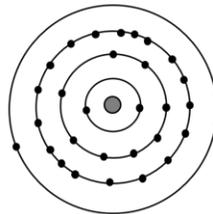


Figure 1.2. Modèle atomique simplifié du cuivre : 29 électrons, 29 protons et 35 neutrons.

La dernière couche d'un atome est appelée couche **périphérique** ou de **valence**. Pour un atome donné, les électrons de la couche de valence sont instables, car ils sont moins attirés par le noyau (loi de Coulomb); on les appelle des **électrons libres**. Rappelons que l'atome est le plus petit constituant de la matière; ainsi un matériau peut contenir des milliards d'atomes et ces atomes sont rangés les uns à côté des autres. Nous adoptons pour la suite la représentation simplifiée de l'atome de cuivre ci-dessous (sur cette représentation la couche de valence et son unique électron sont considérés).

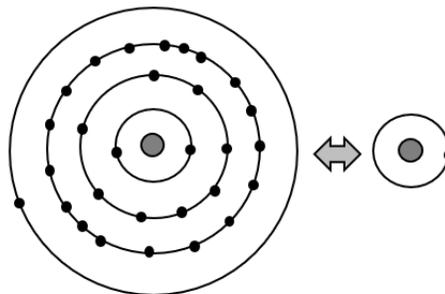


Figure 1.3. Représentation simplifiée de l'atome de cuivre.

Lorsqu'on frotte des matériaux à l'état normal, les électrons libres (ceux de la couche de valence) se déplacent d'un atome à un autre comme montré ci-dessous. Le déplacement des électrons se fait dans toutes les directions à l'intérieur du matériau (ici le cuivre) qui restera dans son ensemble **électriquement neutre**.

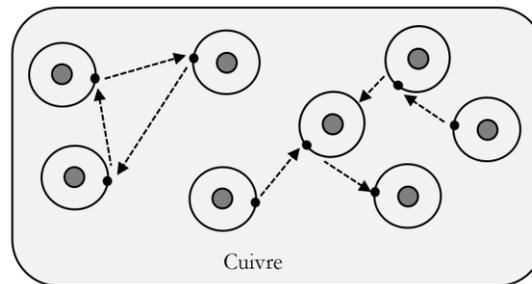


Figure 1.4. Mouvement aléatoire des électrons libres dans le cuivre

Différence de potentiel et courant électrique

Pour ordonner le mouvement des électrons libres, il faut créer sur les deux bornes d'un matériau une **différence de population des électrons**. Une des bornes présentant un défaut d'électrons (appelée **borne positive**) et l'autre avec un excès d'électrons (appelée **borne négative**). Entre ces deux bornes, on dit qu'il existe une **différence de potentiel (d.d.p.)**.

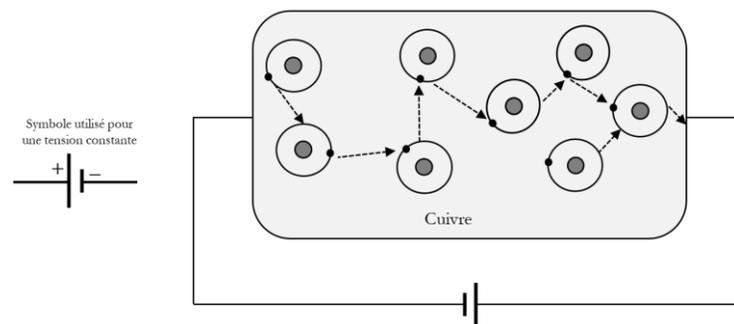


Figure 1.5. Mouvement ordonné des électrons libres dans le cuivre

Les électrons libres sont attirés vers la borne positive (borne ayant un défaut d'électrons); ce déplacement ordonné des électrons libres de **l'extrémité positive à l'extrémité négative du matériau conducteur** est appelé **courant électrique**. Le **sens conventionnel** du courant est **choisi** comme le **sens contraire de celui des électrons**. La d.d.p. est aussi appelée **tension électrique** et s'exprime en **volts (V)**. Elle sera symbolisée par la lettre majuscule **V** dans le cas d'une **tension constante** et par la lettre minuscule **v** dans le cas d'une **tension variable**. Le courant électrique s'exprime en **ampères (A)** et il est symbolisé par la lettre **I** pour un courant constant (lorsque la tension appliquée est constante) ou alors **i** dans le cas d'un **courant variable**.

- Tout dipôle électrique ne peut être traversé par un courant que s'il existe entre ses bornes une différence de potentiel.
- Un **dipôle électrique** est un composant électrique possédant deux bornes (Figure 1.6).
- Le **courant électrique** est le mouvement d'ensemble des électrons libres dans un matériau soumis à une **tension électrique**.
- Le **sens conventionnel** du courant est le sens contraire de celui des électrons.



Figure 1.6. Le dipôle électrique

Analogie électrique-mécanique: Bien que l'eau et l'électricité font rarement bon ménage, il existe plusieurs points communs entre les circuits électriques et les circuits hydrauliques. La Figure 1.7 permet d'établir les différentes analogies.

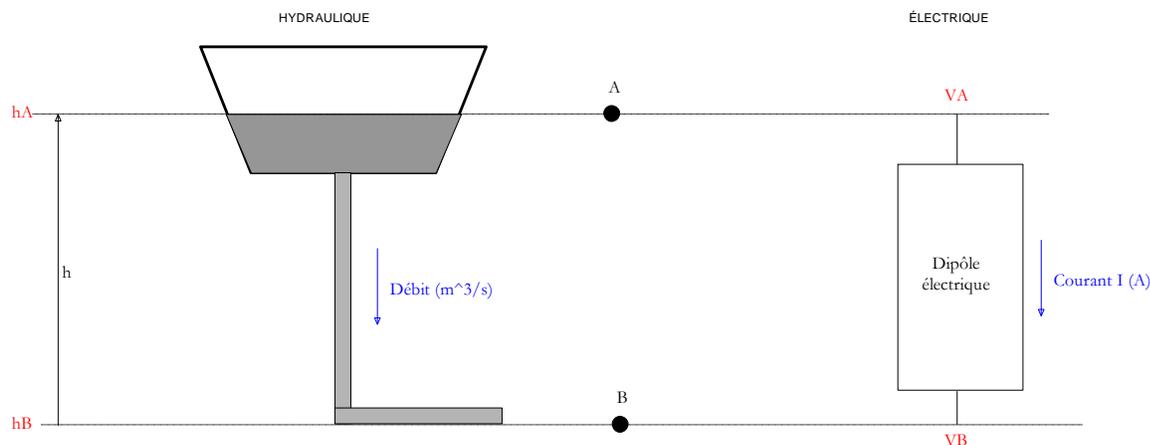


Figure 1.7. Analogie électrique-hydraulique

- Le **courant électrique** est une circulation ordonnée d'électrons et l'**intensité du courant** peut être comparée au **débit d'eau d'un circuit hydraulique**. Plus le nombre d'électrons qui circulent à chaque instant est important, plus le courant électrique est intense. Comme pour le circuit hydraulique, nous verrons qu'il est important d'adapter la **section (grosueur)** du conducteur à l'intensité de courant que l'on désire faire passer.
- **Potentiel électrique** : Il a été fait allusion plus haut de la force d'attraction ou de répulsion qui s'exerce entre deux particules chargées électriquement. Cette force électrique est analogue à la force gravitationnelle entre deux masses. C'est ainsi que l'on définit l'**énergie potentielle électrique** qui est analogue à l'énergie potentielle gravitationnelle. Le **potentiel électrique noté V ou v** est l'**énergie potentielle électrique par unité de charge**. Comme montré sur la Figure 1.7, on fait l'analogie entre le **potentiel** et l'**altitude**. Dans la partie hydraulique, le débit d'eau est d'autant plus élevé que la dénivellation $h = h_A - h_B$ est importante. Ainsi aux altitudes h_A et h_B correspondent les potentiels V_A et V_B ; avec la d.d.p. $V_A - V_B$ qui correspond à la dénivellation h .

- On parle de potentiel d'un point mais seules **les différences de potentiel sont mesurables**.
- La différence de potentiel entre A et B est égale au potentiel A diminué du potentiel de B. On a la note V_{AB} (tension constante) ou v_{AB} (tension variable) avec :

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

Remarque : Sur la **Figure 1.7**, l'altitude h_B n'a pas d'importance et peut donc être approximée à zéro. Cela reste valable pour les potentiels c'est-à-dire que le potentiel le plus bas peut donc **être choisi égale à zéro**. Le point de potentiel **pris arbitrairement nul** dans un circuit électrique s'appelle selon les cas le **neutre**, la **masse** ou la **terre** du circuit et plus globalement la **référence**. L'un ou l'autre des symboles ci-dessous pourra être utilisé dans un circuit électrique pour spécifier la référence du circuit c'est-à-dire le potentiel zéro.

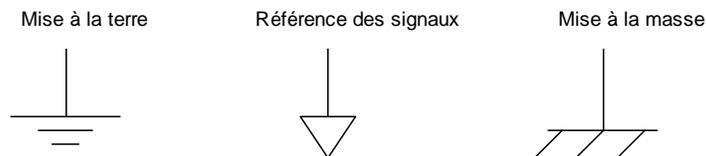


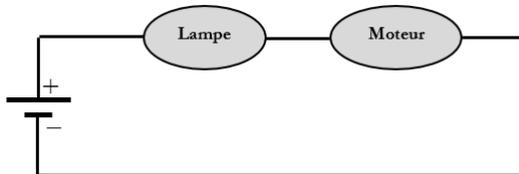
Figure 1.8. Différents symboles de la référence (potentiel zéro)

*Le **potentiel de la terre ou des masses métalliques reliées à la terre sert souvent de référence et vaut arbitrairement 0 volt.***

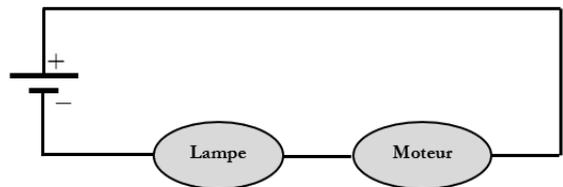
Exemple d'application 1-1 : Sens conventionnel du courant électrique

Indiquez le sens du courant dans les cas de figure ci-dessous pour la lampe et le moteur.

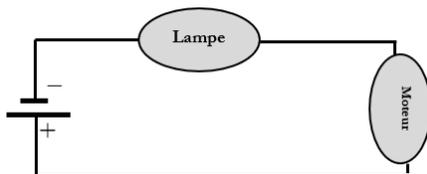
a. 1^e cas



b. 2^e cas



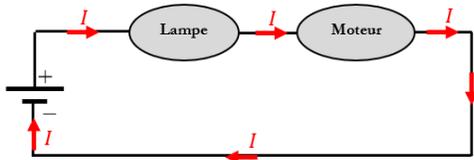
c. 3^e cas



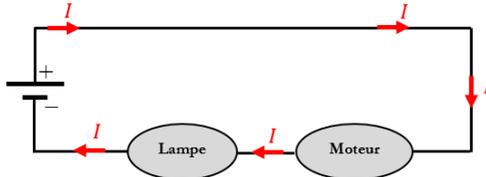
Solution de l'exemple 1-1

Le sens du courant est le sens contraire de celui des électrons. Les électrons, qui sont des charges négatives, seront attirés vers la borne positive de la d.d.p. Le sens de courant est donc imposé par la polarité de la d.d.p et le courant sortira de la borne positive pour revenir par la borne négative de la d.d.p; d'où les orientations indiquées en rouge ci-dessous.

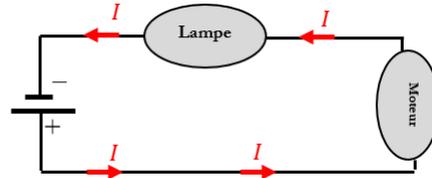
a. 1^{er} cas



b. 2^e cas



c. 3^e cas



À retenir : Lorsque le montage ne comporte qu'une d.d.p., le courant sort par la borne positive de la d.d.p. et retourne par sa borne négative.

Conducteurs et isolants

Expérience de Stephen Gray et électricité statique

Dans la section précédente, il a été montré comment sont générées les charges électriques et quels sont leurs effets. En février 1729, l'astronome britannique **Stephen Gray (1666-1736)**, s'aperçut que des bouchons de liège placés aux extrémités d'un tube de verre qui était préalablement chargé devenaient à leur tour chargés. Ainsi, un corps **sans être forcément frotté**, pouvait se **charger par contact** avec un autre corps déjà chargé. Pour montrer que cette charge pouvait ainsi se transmettre de proche en proche, Gray fit en 1730 l'**expérience de l'enfant suspendu** qui est montré sur la **Figure 1.9**. Comme montré sur cette figure, un garçon entre 8 et 9 ans pesant tout au plus 22 kg a été suspendu horizontalement entre deux cordes semblables à celles utilisées pour sécher du linge. Les pieds de l'enfant étaient en contact avec une machine produisant des charges électriques et des feuilles de cuivre étaient posées sur un guéridon rond recouvert de papier blanc. Les observations suivantes ont été faites :

- Dès lors que la machine produisant les charges était mise en service, le visage de l'enfant attirait les feuilles de cuivre.
- Les doigts du garçon donnaient également des décharges électriques aux personnes se trouvant aux alentours.

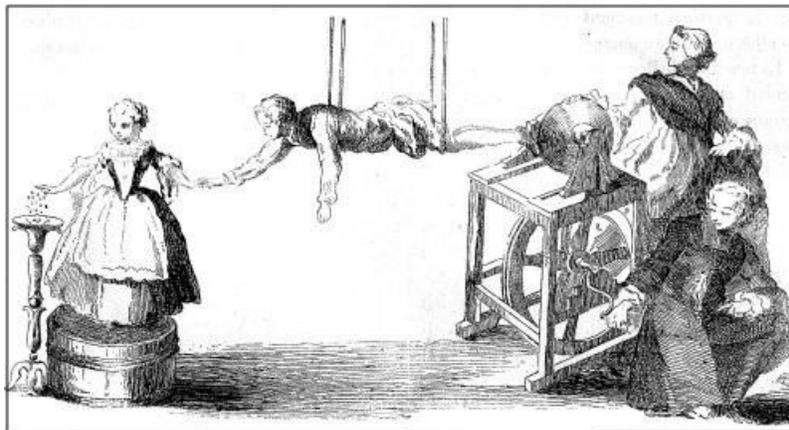


Figure 1.9. Expérience de l'enfant suspendu. ([Source ici](#))

C'est la première expérimentation sur la **conduction électrique**, car Gray parvient par la suite à transmettre sur de **grandes distances** le pouvoir d'attraction en utilisant une ficelle d'environ 80 m de longueur, suspendue à des fils de soie. Cependant l'**expérience échouait** lorsqu'il remplaçait **les fils de soie** par des **fils de laiton**. C'est ainsi que Gray parvient à distinguer deux catégories de corps :

- les **conducteurs** qui laissent circuler les charges libres et laissent alors passer ainsi le courant électrique : on dit qu'ils cèdent facilement leurs électrons et ont leur dernière couche incomplète. Des exemples de bons conducteurs sont le **cuivre**, l'**aluminium**, le **fer**, l'**acier**, l'**or**, l'**argent**, etc.
- les **isolants** conservent les charges électriques à leurs surfaces; ils ont alors la propriété de ne pas laisser passer le courant électrique. Des exemples d'isolants sont : le **bois**, les **matières plastiques**, le **papier**, le **verre**, etc.

Note : Une troisième catégorie de corps appelé **semi-conducteur** sera découverte au 20^e siècle et comprend des matériaux tels que le silicium, le germanium et le carbone. Un **semi-conducteur** est un matériau qui à l'état pur possède les caractéristiques d'un isolant et peut être conducteur lorsqu'on lui ajoute certaines impuretés. Les composants électriques basés sur les matériaux semi-conducteurs seront brièvement présentés dans le chapitre 6.

Remarque: L'expérience de Gray permet aussi de valider le fait qu'il y'a une accumulation de charges électriques à la surface des objets électrisés par frottement. De tels objets accumuleront soit une charge positive soit une charge négative et donnant ainsi lieu à un déséquilibre de charges dans chacun des objets. Ce stockage des charges à la surface des objets est appelé **électricité statique** par opposition à l'**électricité dynamique** ou simplement **électricité** qui se caractérise par la circulation des charges électriques dans des matériaux conducteurs. Vous avez probablement déjà expérimenté l'effet de l'électricité statique qui consiste en ce petit choc que l'on peut ressentir lorsqu'on touche par exemple une poignée de porte ou encore vos cheveux qui flottent en l'air après les avoir peignés (**Figure 1.10**).

*L'**électricité statique** est le résultat d'un déséquilibre entre les charges négatives et positives qui existent dans un objet. Ces charges s'accumuleront à la surface de l'objet jusqu'à ce qu'elles trouvent un moyen pour être libérées ou déchargées.*



Figure 1.10. Quelques effets de l'électricité statique

Lorsque l'on travaille sur des surfaces conductrices comme des plaquettes électroniques, afin de protéger le matériel et éviter de subir des chocs électriques due à l'accumulation des charges, on utilise un **bracelet antistatique** qui est un appareil pouvant être porté sur le poignet du corps humain permettant de libérer les charges accumulées par celui-ci. Comme montré sur la **Figure 1.11**, ce bracelet mettant en contact le corps humain et une masse métallique permettra

d'évacuer en toute sécurité l'électricité statique générée par le corps humain. Ce fait sera expliqué plus loin dans ce chapitre, car nous verrons que le courant électrique suit des chemins préférentiels aussi appelés appelés les **chemins les plus courts**.



Figure 1.11. Protection contre l'électricité statique par bracelet antistatique ([Source](#))

Conducteurs électriques

La **conductivité** (facilité à laisser passer le courant) de certains matériaux pourra dépendre de plusieurs facteurs. Par exemple, le bois peut devenir conducteur lorsqu'il est mouillé alors qu'il est isolant lorsqu'il est sec; on retiendra alors que :

Un **conducteur électrique** est un corps qui laisse passer le courant.

Les **conducteurs** servent à **transporter le courant** du lieu de production à son point d'utilisation. Les meilleurs matériaux conducteurs sont les métaux et on utilise la **conductivité** pour caractériser un conducteur. Le symbole généralement utilisé pour la conductivité est la lettre grecque **sigma** σ et son unité dans le système international d'unités (SI) est le **siemens par mètre** (S/m). Le **Tableau 1-1** ci-dessous donne un classement des matériaux conducteurs en fonction de leur conductivité. L'or et l'argent qui sont des excellents conducteurs **sont rarement utilisés pour des fins de conductivité du fait de leur prix élevé**.

Tableau 1-1. Conductivités électriques des matériaux conducteurs

Matériaux	Conductivité en S/m	Matériaux	Conductivité en S/m
Argent	$62,1 \times 10^6$	Tungstène	$8,9 \times 10^6$
Cuivre	$58,7 \times 10^6$	Étain	$8,7 \times 10^6$
Or	$44,2 \times 10^6$	Bronze 67Cu33Sn	$7,4 \times 10^6$
Aluminium	$36,9 \times 10^6$	Acier au carbone	$5,9 \times 10^6$
Molybdène	$18,7 \times 10^6$	Carbone (Ex PAN)	$5,9 \times 10^6$
Zinc	$16,6 \times 10^6$	Plomb	$4,7 \times 10^6$
Laiton	$15,9 \times 10^6$	Titane	$2,4 \times 10^6$
Nickel	$14,3 \times 10^6$	Inox 304 EN1.4301	$1,37 \times 10^6$
Lithium	$10,8 \times 10^6$	Inox 316L EN1.4404	$1,32 \times 10^6$
Fer	$10,1 \times 10^6$	Inox 310. EN1.4841	$1,28 \times 10^6$
Palladium	$9,5 \times 10^6$	Mercure	$1,1 \times 10^6$
Platine	$9,3 \times 10^6$	Fe. Cr. Allo	$0,74 \times 10^6$

Isolants électriques

Les **isolants** sont principalement utilisés pour protéger les conducteurs dans le transport de l'électricité; ils sont aussi appelés **matériaux diélectriques**. Les matériaux isolants sont aussi importants que les matériaux conducteurs. La figure ci-dessous représente un **câble électrique** qui est un ensemble de fils **conducteurs isolés** les uns des autres et enfermés dans une **gaine** commune qui les protège électriquement et mécaniquement, utilisé pour l'alimentation électrique.

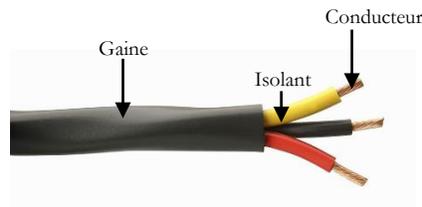


Figure 1.12. Constituante d'un câble électrique

Principes de production de l'électricité

Pour générer de l'électricité, il faut changer le peuplement relatif des électrons entre deux points. Les dispositifs capables de créer un surplus d'électrons en un point et un manque à un autre point sont appelés **générateurs** ou **sources d'électricité**. Une **source électrique** est un dispositif qui **transforme** toute autre forme d'énergie primaire (pression d'eau, soleil, vent, uranium, etc.) en énergie électrique. Les usines de transformation sont appelées des **centrales de production**. Trois principaux types de conversion sont couramment considérés pour produire de l'énergie électrique. Il s'agit de la transformation de l'énergie **chimique en énergie électrique**, de la conversion de **l'énergie mécanique en énergie électrique** et finalement de la conversion de la **lumière en énergie électrique**.

Conversion de l'énergie chimique en énergie électrique :

Expérience

Soit deux lames métalliques, l'une en cuivre et l'autre en zinc dans un béccher contenant une solution de sulfate de cuivre. En connectant entre les deux électrodes, une lampe, on constate qu'elle **brille**. On a ainsi réalisé une **pile** qui est constituée de deux électrodes de nature différentes généralement métalliques plongeant dans une solution conductrice appelée **électrolyte**. La consommation des réactifs entraîne **l'usure de la pile**.

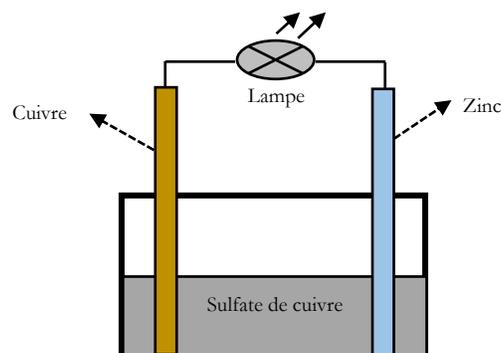


Figure 1.13. Conversion de l'énergie chimique en énergie électrique : la pile

Interprétation de l'expérience

Lorsque la pile fonctionne, une transformation chimique spontanée d'**oxydoréduction** (*transfert chimique d'un composé vers un autre*) provoque un mouvement d'**ions** (atomes ayant perdu ou gagné des électrons) dans la solution conductrice et un mouvement d'électrons dans les barres conductrices (cuivre et Zinc dans ce cas). C'est ce mouvement d'électrons qui est à l'**origine d'une tension aux bornes de la pile**. C'est également ce moyen de production de l'électricité qui est utilisé dans une **batterie d'automobile**.

Stockage électrochimique de l'énergie : la batterie

Les **batteries** aussi appelées **accumulateurs** sont des systèmes électrochimiques qui stockent de l'énergie sous forme chimique et la restituent sous forme électrique. Contrairement aux piles, les batteries sont **réversibles** c'est-à-dire qu'elles peuvent être **chargées** et **déchargées**. Pour cela, on les appelle aussi des **piles secondaires** par opposition aux piles primaires qui ne sont pas réversibles. La charge de la batterie consistera en une conversion **électrochimique**; sa décharge étant le principe inverse c'est-à-dire une conversion **chimique-électrique**. Ainsi, durant la charge, la batterie **absorbe** de l'énergie électrique; on dit alors qu'elles se comportent comme un **récepteur électrique**. Pendant sa décharge, une batterie **fournit** de l'énergie électrique; dans ce cas, elle est une **source électrique**.

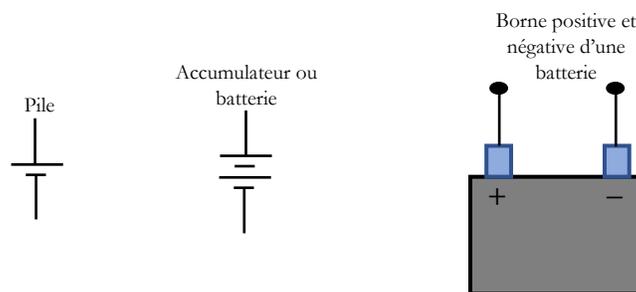


Figure 1.14. Symboles utilisés pour une pile et une batterie

Généralement la tension des piles est faible et pour obtenir des tensions plus élevées, on doit grouper de manière convenable plusieurs piles. Les piles sont identifiées par des lettres allant de la plus faible **AAA** à la plus puissante comme capacité énergétique **D**.



Figure 1.15. Quelques grosseurs de piles ([Source](#)).

De ce qui précède, il ressort qu'une batterie produit de l'électricité à partir d'une réaction chimique d'oxydoréduction. La batterie est constituée d'une ou plusieurs cellules en série chacune ayant trois constituants de base :

- Une **anode** généralement un métal qui est l'électrode négative fournissant des électrons au circuit extérieur.

- Une **cathode** généralement un oxyde métallique qui est l'électrode positive acceptant les électrons du circuit extérieure.
- Un **électrolyte** qui est le siège des réactions chimiques.

La **Figure 1.16** illustre le fonctionnement d'une batterie **lithium-ion (Li-ions)**.

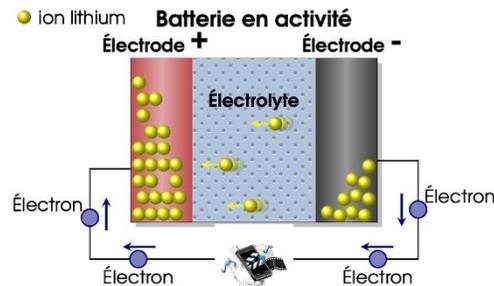


Figure 1.16. Principe de fonctionnement de la batterie

Lorsque l'on raccorde les électrodes de la batterie à une charge (le **circuit extérieur**), les atomes de lithium perdent des électrons et deviennent des ions. Ces ions vont ensuite traverser l'électrolyte pour récupérer les électrons ayant parcouru le circuit et se trouvant à l'électrode négative; c'est ce processus qui permet d'alimenter le circuit extérieur qui peut être les autres composants d'un téléphone portable, un ordinateur portable et plus aujourd'hui un **véhicule électrique**.



Figure 1.17. Image de la voiture électrique de Thomas Parker 1884 ([Source](#))

Initialement, les batteries étaient considérées pour le démarrage des véhicules. Ensuite pour répondre aux besoins des utilisateurs, les véhicules ont été équipés par de nombreux capteurs permettant à la fois de surveiller l'état du véhicule et d'assister les conducteurs. Plus précisément, les capteurs incorporés dans les véhicules permettent de mesurer la température, contrôler le régime du moteur, réguler les angles et les positions, etc. Dès lors, en plus de démarrer les

véhicules, les batteries devaient aussi alimenter ces nombreux capteurs incorporés au sein des véhicules. La **Figure 1.18** ci-dessous montre quelques images des batteries.



Figure 1.18. Images de quelques batteries : Véhicules à essence versus véhicule électrique ([Source](#))

Sur l'image de gauche de la **Figure 1.18**, on peut observer quelques caractéristiques de base d'une batterie que sont

- Sa **capacité mesurée en ampères-heures (Ah)** aussi appelée quantité d'électricité et symbolisée par la lettre Q : elle représente la quantité d'énergie que la batterie peut stocker. On peut ainsi obtenir la quantité de courant que peut fournir la batterie au fil du temps. Par exemple si une batterie de 100 Ah est déchargée avec un courant constant de 5 A alors la batterie sera entièrement déchargée au bout de 20 heures.
- La tension en volts est la force électrique qui pousse l'énergie à travers le circuit.

Exemple d'application 1-2 : Estimation de la quantité d'électricité d'une batterie.

Une batterie d'accumulateurs 12 V est chargée à courant constant d'intensité 5 A durant 12 h. Quelle quantité d'électricité a été fournie à cette batterie ?

Solution de l'exemple 1-1 : Estimation de la quantité d'électricité d'une batterie.

$$Q = I \times t = 5 \times 12 = \boxed{60 \text{ Ah}}$$

Production mécanique de l'énergie électrique

Dans ce cas, on utilise un **aimant** en rotation autour d'un **conducteur** pour produire de l'électricité. Tout aimant naturel possède deux pôles, un pôle Nord et un pôle Sud ; le mouvement de rotation de l'aimant aux alentours d'un conducteur va attirer et repousser les électrons et ce déplacement d'ensemble des électrons est le courant électrique. La mise en rotation de l'aimant est réalisée par une autre forme d'énergie. Dans les centrales de production comme Hydro-Québec, on utilise l'énergie potentielle de l'**eau** pour mettre l'aimant en rotation. Ce mode de production de l'énergie électrique est alors basé sur les lois de l'électromagnétisme.

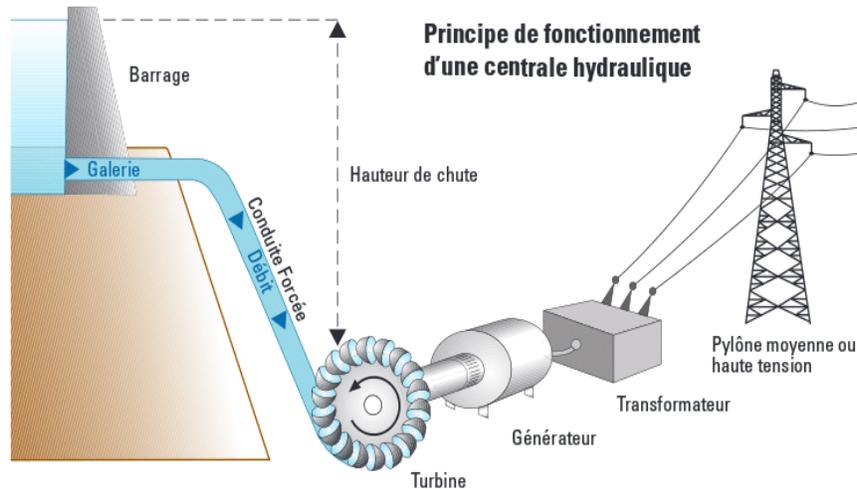


Figure 1.19. Schéma descriptif d'une centrale hydro-électrique. Source https://www.ctc-n.org/sites/www.ctc-n.org/files/UNFCCC_docs/ref10x09_3.pdf

Dans d'autre cas, la mise en rotation de l'aimant est obtenue avec du vent, c'est le cas de la **production éolienne**.



Figure 1.20. Aspect d'une éolienne

Production optique

En éclairant des métaux par une lumière ayant une fréquence importante, on extrait des électrons produisant ainsi le courant électrique. C'est le principe utilisé dans les **panneaux solaires**.

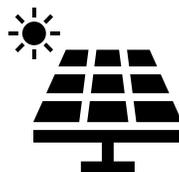


Figure 1.21. Aspect d'un panneau solaire

- ✓ Toutes les formes d'énergie peuvent être transformées en énergie électrique.
- ✓ Les systèmes de production de l'énergie dépendront essentiellement de la disponibilité de la ressource et au Québec c'est l'eau qui est le plus utilisée à cause de l'importance du réseau hydrographique.

La *production de l'énergie électrique* est alors le processus qui consiste à convertir l'énergie disponible dans la nature sous différente forme en énergie électrique. Le principal producteur d'électricité au Québec est **Hydro-Québec** qui est en même temps, le plus grand producteur d'énergie électrique du Canada.

L'**énergie électrique** qui est l'énergie fournie grâce à l'électricité est ainsi produite à partir d'énergie disponible sous diverses formes dans la nature. Parmi les principales sources d'énergie primaire, on peut citer l'**eau**, les **combustibles**, le **soleil**, le **vent** et l'**énergie nucléaire**. Parmi ces sources d'énergie, l'énergie due au soleil n'est pas très utilisée au Québec pour la production à grande échelle; ceci en raison d'un certain nombre de limitations.

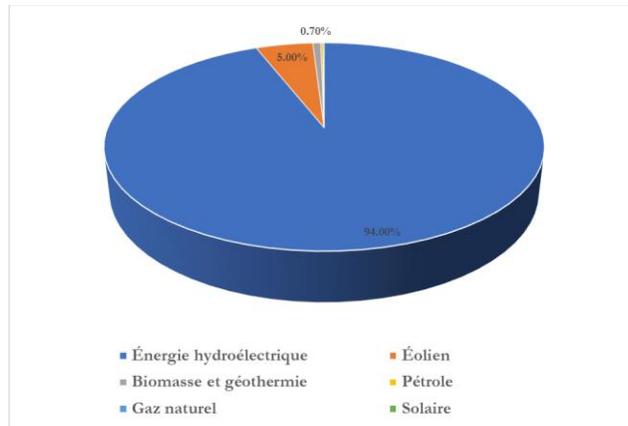


Figure 1.22. Production de l'électricité au Québec selon la source primaire.

Tension, courant et puissance électrique

Source de tension

Idéalement, il s'agit d'un élément de circuit capable de fournir une **tension constante** entre ses bornes indépendamment de la charge alimentée. Une source de tension ne fournit aucune énergie lorsqu'elle est en circuit ouvert, c'est-à-dire lorsqu'aucun courant y circule.

Dans la réalité lorsqu'une source de tension est branchée à un circuit extérieur, la tension à ses bornes dépendra du courant débité et donc de la charge. Cette tension diminue avec l'augmentation du courant comme montré sur la **Figure 1.23**.

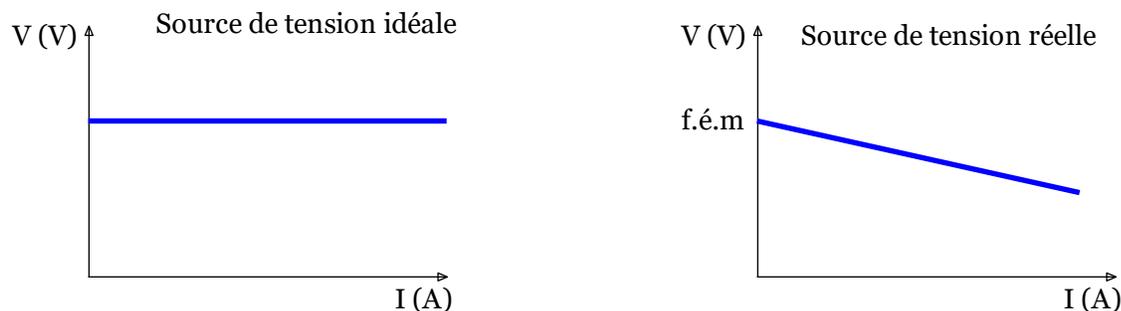


Figure 1.23. Source de tension idéale versus, source de tension réelle.

Dans le cas d'une source réelle, la valeur de la tension lorsqu'aucun courant n'est débité est appelée **f.é.m.** pour Force **ÉlectroM**otrice.

On utilisera les symboles suivants pour les sources de tension tout au long du cours.

Source de tension sinusoïdale



Source de tension continue



Figure 1.24. Symboles utilisés dans ce cours pour les sources de tension et de courant monophasé.

Exemple d'application 1-3 : Mise en évidence expérimentale de la résistance interne d'une source de tension réelle. On voudrait tracer les caractéristiques tension-courant d'une pile de 4,5 volts dont une image est montrée sur la **Figure 1.25**. Pour cela, on utilise la pile pour alimenter un circuit extérieur avec la possibilité de faire varier le courant débité. On choisit un débit maximal de **100 mA** pour ne pas décharger trop rapidement la pile étudiée.



Figure 1.25. Pile de 4,5 V pour applications à faible consommation d'énergie

Le tableau de relevés obtenu est la suivant :

$I(mA)$	0 (circuit ouvert)	30,7	45,4	59,2	71,5	94,3
$V(V)$	4,58	4,52	4,5	4,48	4,46	4,43

- Tracez la caractéristique tension en fonction du courant de cette pile.
- Comment évolue cette tension lorsque le courant débité augmente ?
- La caractéristique est une droite et donc une fonction du type $V = aI + b$. Quelle est la nature des constantes a et b ? Déterminez la valeur de ces constantes.

Solution de l'exemple 1-3 : Mise en évidence expérimentale de la résistance interne d'une source de tension réelle.

1. Caractéristique $V = f(I)$.

Pour tracer cette caractéristique, le logiciel MATLAB est utilisé et le script ainsi que la caractéristique obtenue sont montrés sur la **Figure 1.26**.

Script

```
close all
clear all
clc
% Vecteurs des valeurs de I et de V
I=[0,30.7,45.4,59.2,71.5,94.3];
V=[4.58,4.52,4.5,4.48,4.46,4.43];
% Tracé
figure(1)
plot(I,V,'k','linewidth',2);
grid on
xlabel('I (A)')
ylabel('V(V)')
axis([0 100 0 5])
```

Caractéristique

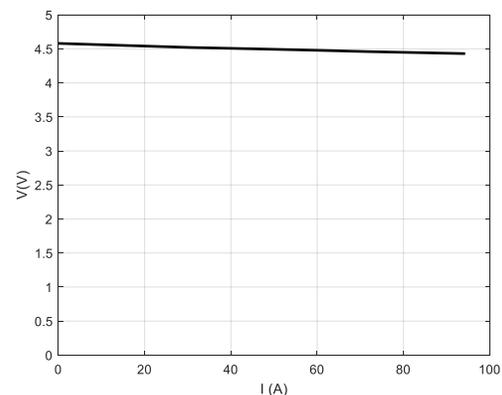


Figure 1.26. Caractéristique de la pile 4,5 V sous étude.

2. Analyse de la caractéristique

- La tension V diminue lorsque le courant débité augmente.
- La courbe obtenue est sensiblement droite ne passant pas l'origine.

3. Nature et valeurs des constantes a et b .

- Le paramètre b est l'ordonnée à l'origine qui vaudra **4,58** pour $I = 0$; cette quantité est exprimée en **volts**.
- Le paramètre a est la pente de la droite (décroissante et donc négative); sa valeur est approximée comme suit :

$$a \approx \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{4,43 - 4,58}{10^{-3} \times (94,3 - 0)} = -1,59$$

Cette valeur est le quotient d'un nombre de volts par un nombre d'ampères; elle représentera alors une quantité exprimée en V/A cette unité est l'**Ohm** et est utilisée pour une **résistance** symbolisée par la lettre R .

On dira alors que la **résistance interne de la pile est approximativement de 1,59 Ω** .

Le modèle équivalent réel de la pile est alors représenté sur la **Figure 1.27** et on dit **V et R sont en série**.

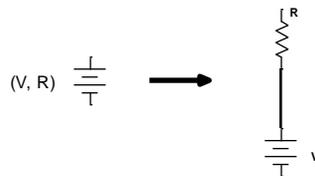


Figure 1.27. Résistance interne d'une source réelle.

Source de courant

Il s'agit d'un élément de circuit capable de fournir un **courant constant** entre ses bornes indépendamment de la charge alimentée. Une source de courant ne fournit aucune énergie lorsqu'elle est en court-circuit, c'est-à-dire lorsqu'aucune tension n'est appliquée à ses bornes. Une source de courant n'existe pas en tant que telle, mais elle représente tout dispositif qui fournit un courant indépendant de la charge électrique qui est raccordée à ses bornes. Une source de courant ne doit jamais **être laissée en circuit ouvert**.

On utilisera les symboles suivants pour les sources de courant tout au long du cours.

Source de courant sinusoïdale



Source de courant continu



Figure 1.28. Symboles utilisés dans ce cours pour les sources courants.

Comme pour la tension on doit tenir compte de la résistance interne de la source de courant et dans ce cas, le modèle équivalent est montré ci-dessous.

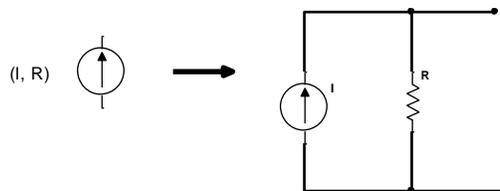


Figure 1.29. Source réelle de courant

Notes importantes : si aucune précision n'est faite dans un problème ou un exercice alors supposer pour les analyses des sources idéales.

Puissance et convention de signe

Définition de la puissance

Soit un élément d'un circuit auquel est appliquée une tension $v(t)$ et qui est parcourue par un courant $i(t)$.

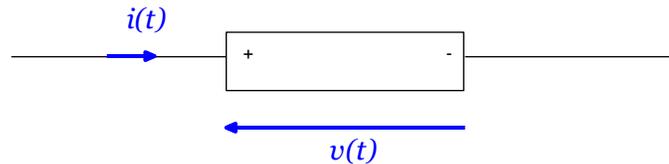


Figure 1.30. Orientation de la tension et courant pour la définition de la puissance

La puissance absorbée par l'élément exprimée en **watts (W)** et symbolisée par la lettre **p** est mesurée en calculant le produit de la tension et de l'intensité du courant dans le circuit comme suit.

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) \quad (1.1)$$

- $p(t)$ puissance instantanée en W
- $v(t)$ tension instantanée en V
- $i(t)$ courant instantanée en A

Lorsque la tension appliquée est continue constante de valeur V et le courant de valeur I , la puissance est également constante et vaut :

$$P = VI \quad (1.2)$$

À partir de la puissance instantanée, on définit la puissance moyenne comme suit :

Dans le cas d'un signal quelconque

$$P = \frac{1}{b-a} \int_a^b p(dt) dt = \frac{1}{b-a} \int_a^b v(t) \cdot i(t) dt \quad (1.3)$$

Dans le cas d'un signal périodique :

$$P = \frac{1}{T} \int_T p(dt) dt = \frac{1}{T} \int_0^T p(dt) dt = \frac{1}{T} \int_T p(dt) dt, etc \quad (1.4)$$

Convention de signe : source et charges

Soit un élément d'un circuit auquel est appliquée une tension $v(t)$ et qui est parcouru par un courant $i(t)$. Il a été vu précédemment que le courant et la tension ont des sens (c'est-à-dire qu'ils peuvent être orientés). On a ainsi que deux possibilités qui sont :

- les **flèches sont dans le même sens**, et on dit qu'il s'agit de la **convention générateur**;
- les **flèches sont de sens opposés**, et on dit qu'il s'agit de la **convention récepteur**.

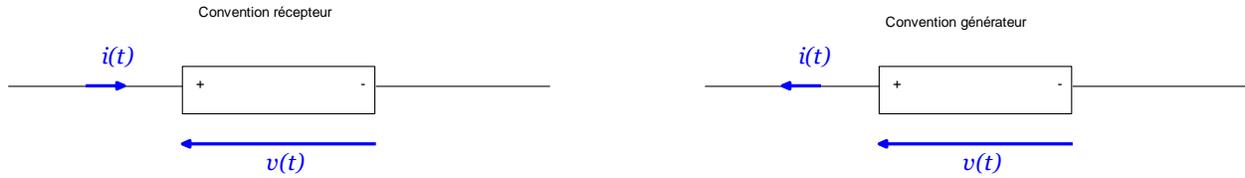


Figure 1. 31. Convention de signe

Les noms « convention générateur » et « convention récepteur » ne sont pas choisis par hasard. Bien que les conventions ne parlent que du sens relatif du courant et de la tension, les noms font référence aux producteurs d'énergie électrique (les **générateurs** ou **sources**) et aux consommateurs d'énergie électrique (les **récepteurs** ou **charges**).

- Un **générateur** ou **source** donne de l'énergie au circuit électrique. On dit qu'il **produit physiquement** de l'énergie. C'est par exemple le cas d'une pile qu'on branche sur une lampe : la lampe brille parce que la pile lui donne de l'énergie lorsque l'interrupteur est fermé comme montré sur la **Figure 1. 32**.
- Un **récepteur** ou **charge** prend de l'énergie au circuit électrique. On dit qu'il **consomme physiquement** de l'énergie.

Interprétation des conventions : La formule pour calculer la puissance $p = v \cdot i$ est interprétée différemment selon la convention.

- en convention récepteur, elle doit être interprétée comme la puissance **consommée** par le dipôle;
- en convention générateur, elle doit être interprétée comme la puissance **produite** par le dipôle.

Il faut cependant garder en tête que la puissance aussi a un signe; elle est positive ou négative. En plus de la convention il est nécessaire de connaître ce signe pour avoir la signification physique de la puissance.

- ✓ En **convention récepteur**, on parle de puissance **consommée**. Une puissance positive est alors **physiquement consommée**, alors qu'une puissance négative est **physiquement produite**.
- ✓ En **convention générateur**, on parle de puissance **produite**. Une puissance positive est alors **physiquement produite**, alors qu'une puissance négative est **physiquement consommée**.

Le tableau ci-dessous résume tous ces signes et leur signification physique :

Signe de la puissance $p = v \cdot i$	$p \geq 0$	$p \leq 0$
Convention récepteur	Puissance consommée	Puissance produite
Convention générateur	Puissance produite	Puissance consommée

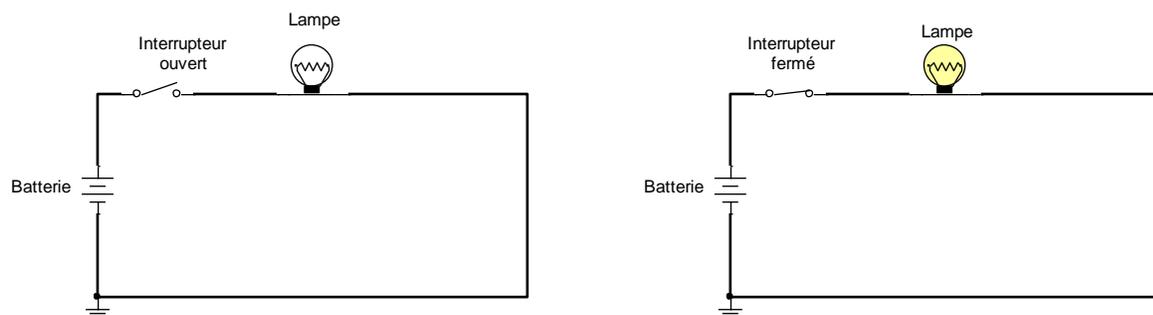


Figure 1. 32. Source et charge : la batterie est la source et la lampe est la charge

Notez-bien : Un dipôle n'est pas soit toujours générateur, soit toujours récepteur. Il peut être l'un ou l'autre à différents instants. Par exemple, les condensateurs et les inductances que nous verrons dans la section suivante stockent ou restituent de l'énergie en fonction des conditions d'utilisation.

Conservation de puissance : Dans une installation électrique, la somme des puissances absorbées (consommées) est égale à la somme des puissance fournies (produites).

$$P_{\text{absorbée}} = P_{\text{fournie}} \Rightarrow P_a = P_f$$

Énergie électrique

L'énergie consommée par un élément d'un circuit électrique correspond à la puissance de l'appareil multiplié par sa durée.

L'énergie s'exprime en **Joules (J)** et est symbolisée par la lettre **W** avec :

$$W(t) = \int_0^t p(t) dt \quad (1.5)$$

- $p(t)$ puissance instantanée en W
- $W(t)$ en J
- t : la durée en secondes (s)

L'énergie s'exprime aussi en Watt-heures (Wh) avec :

$$1 Wh = 3600 J \quad (1.6)$$

Comportement des charges électriques de base

Elles transforment l'énergie électrique en une autre forme d'énergie (chaleur, lumière, etc.). Elles consomment l'énergie électrique. Indépendamment de la charge, trois composants électriques de base permettent de traduire les différents effets du courant électrique dans un conducteur électrique. Il s'agit de la **résistance**, de l'**inductance** et du **condensateur**.

Résistance

Symbole et unité

La **résistance R** est une grandeur physique mesurée en **ohms (Ω)** représentant les effets d'échauffement dus au déplacement du courant électrique dans un conducteur. Son modèle idéalisé répond à la loi d'Ohm comme suit :

$$v(t) = Ri(t) \quad (1.7)$$

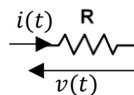


Figure 1. 33. Symbole et convention pour une résistance

- L'inverse de la résistance est appelé **conductance** notée **G** exprimée en Ω^{-1} ou **S**.

$$G = \frac{1}{R} \quad [\Omega^{-1} \text{ ou } S] \quad (1.8)$$

La montrent quelques aspects physiques de résistance

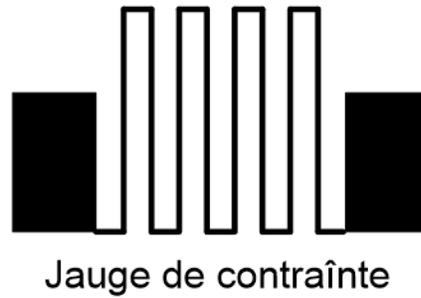
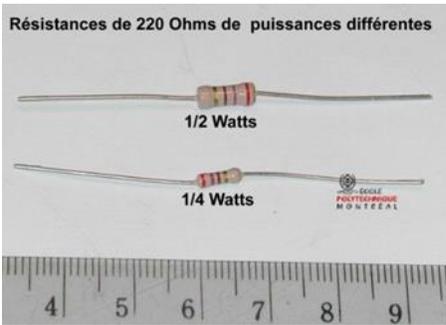


Figure 1. 34. Aspects physiques de quelques résistances

Puissance d'une résistance

- Puissance instantanée

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = Ri^2(t) = \frac{v^2(t)}{R} \quad (1.9)$$

- Puissance dans le cas du courant continu

$$p(t) = V \cdot I = RI^2 = \frac{V^2}{R} \quad (1.10)$$

- Puissance nominale d'une résistance

Il s'agit de la puissance maximale que peut dissiper une résistance. Elle est spécifiée par le fabricant.

Exemples :

- Résistance électronique de 10 Ω; 1/8 W
- Élément chauffant de 10 Ω; 240 V; 5,76 kW.

Autres applications des résistances



Figure 1. 35. Autres exemples d'utilisation des résistances

L'inductance

Symbole et unité

- Lorsqu'un courant circule dans un conducteur, il crée dans son environnement un champ magnétique sensible aux variations de i . Si ce champ magnétique est variable, il est à son tour capable de créer dans le conducteur, un courant venant s'opposer aux variations de i . Ce sont des effets d'auto-induction que l'on quantifie par **inductance L** mesurée en **henrys (H)**. Le composant permettant d'exploiter les effets inductifs (ou précisément d'auto-induction) est la **bobine**. Le symbole et la convention récepteur sont représentés ci-dessous.

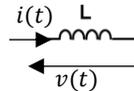


Figure 1. 36. Symbole et convention pour une inductance

- La relation tension-courant est la suivante;

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} \Rightarrow i(t) = \frac{1}{L} \int v(u) du \quad (1.11)$$

Remarque : en régime continu le courant est constant de sorte :

$$\frac{di(t)}{dt} = \frac{dl}{dt} = 0 \quad (1.12)$$

L'inductance se comporte alors comme un **court-circuit**. En régime continu, il n'y a pas d'effets d'auto-induction et une inductance se comporte comme un court-circuit.

Ainsi en courant continu, une inductance se comporte comme un court-circuit.

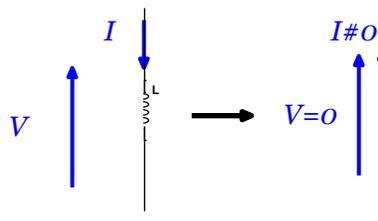


Figure 1. 37. Comportement d'une inductance en courant continu

Énergie stockée (emmagasinée) par une inductance

$$\begin{aligned} W_L(t) &= \int \frac{p_L(u)}{v_L(u) \cdot i_L(u)} du \Leftrightarrow W_L(t) = \int \frac{v_L(u)}{L \frac{di_L(u)}{du}} \cdot i_L(u) dt \Rightarrow W_L(u) = L \int \underbrace{i_L(u) \cdot \frac{di_L(u)}{du}}_{v_L^2(t)/2} du \Rightarrow W_L(t) \\ &= \frac{1}{2} L i_L^2(t) \end{aligned} \quad (1.13)$$

Ce qui donne en courant continu :

$$W_L = \frac{1}{2} L I_L^2 \quad (1.14)$$

Quelques applications des inductances

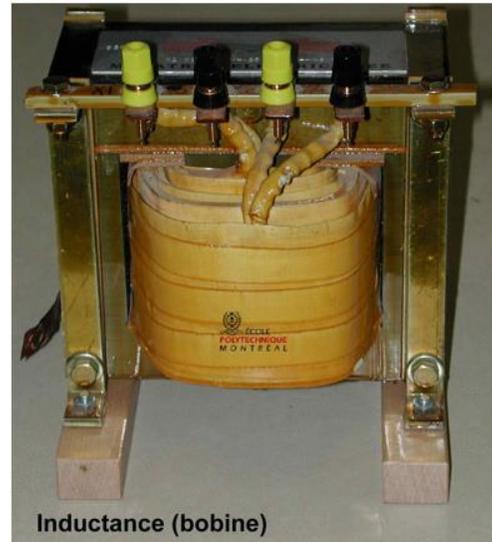


Figure 1. 38. Quelques applications des bobines

Le condensateur

Symbole et unité

- Le **condensateur** ou **capacité C** est une grandeur physique mesurée en **farads (F)** permettant de quantifier les effets électrostatiques des charges constituant le courant c'est-à-dire, selon leurs natures, leurs effets d'attraction ou de répulsion. Les symboles (non polarisé et polarisé) d'un condensateur sont les suivants :



Figure 1. 39. Symboles du condensateur

- La relation courant-tension : la tension aux bornes d'un condensateur est liée à son courant et à sa capacité C par la relation :

$$v(t) = \frac{1}{C} \int i(u) du \Rightarrow i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \quad (1.15)$$

Remarque : En régime continu, la tension est constante et il n'y a pas d'effet capacitif; une capacité se comportera comme un circuit ouvert.

$$v(t) = V = cste \Rightarrow i(t) = 0 \quad (1.16)$$

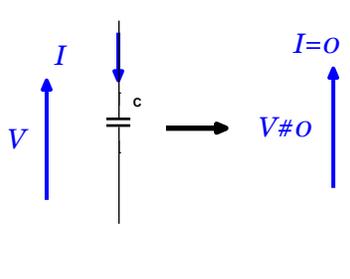


Figure 1. 40. Comportement d'un condensateur en courant continu

Notez bien : Ces relations des charges de bases sont vraies en convention récepteur. Ainsi si après calcul, on trouve une puissance négative, cela signifie que le composant fournit plutôt la puissance.

Énergie stockée (emmagasinée) par un condensateur

$$\begin{aligned}
 W_C(t) &= \int_0^t \underbrace{p_C(u)}_{v_C(u) \cdot i_C(u)} du \Leftrightarrow W_C(t) = \int_0^t v_C(tu) \cdot \underbrace{i_C(u)}_{C \frac{dv_C(u)}{du}} du \Rightarrow W_C(t) = C \int_0^t \underbrace{v_C(u) \cdot \frac{dv_C(u)}{du}}_{v_C^2(t)/2} du \Rightarrow W_C(t) \\
 &= \frac{1}{2} C v_C^2(t)
 \end{aligned} \tag{1.17}$$

Ce qui donne en courant continu :

$$W_C = \frac{1}{2} C V_C^2 \tag{1.18}$$

Le circuit électrique

Composition d'un circuit électrique

Un **circuit électrique** est un ensemble de dipôles reliés par des conducteurs et parcouru par un courant. Les principaux éléments d'un circuit électriques sont :

- la **source** ou générateur pour produire le courant électrique.
- les **charges** qui reçoivent de l'énergie
- les **fils conducteurs** pour interconnecter tous les autres dipôles.
- les **interrupteurs** pour établir la liaison entre les sources et les charges

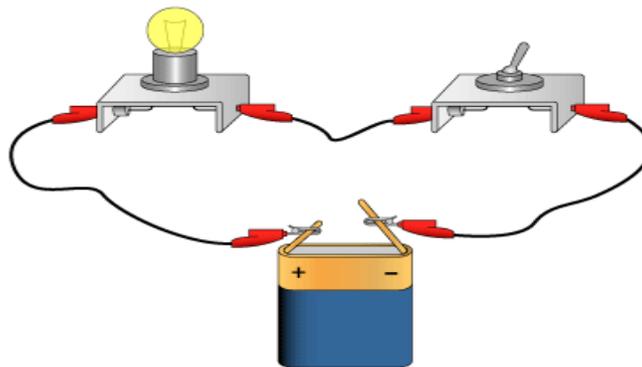


Figure 1. 41. Éléments de base d'un circuit électrique

Montage série des éléments

Règles d'un montage série des éléments

On dit que les composants d'un circuit électrique (ou encore des appareils, dispositifs, récepteurs électriques) sont branchés **en série** lorsqu'ils sont connectés dans un ordre successif, n'offrant qu'un seul chemin au passage du courant. La **Figure 1. 42** montre des exemples d'éléments raccordés en série.

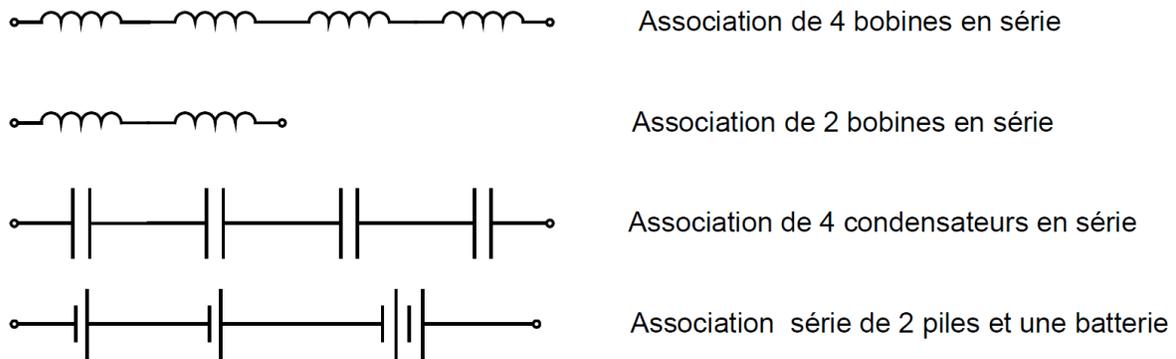


Figure 1.42. Exemples d'éléments raccordés en série

On tire les conclusions suivantes pour un montage série des éléments.

- Un groupement série s'alimente par les deux bornes qui restent non occupées et représente l'ensemble.
- La tension d'alimentation du groupement se distribue sur tous les composants de manière que la somme des tensions à leurs bornes est égale à celle d'alimentation.
- Le courant dans tous les composants du groupement série est le même, ce qui évident du fait qu'il n'y a qu'un seul chemin pour le passage du courant.
- Lorsqu'on considère un groupement série alimenté par **une** source, la somme des puissances absorbées par les composants est égale à la puissance fournie par la source.

Résistance, inductance et condensateur équivalent d'un groupement série

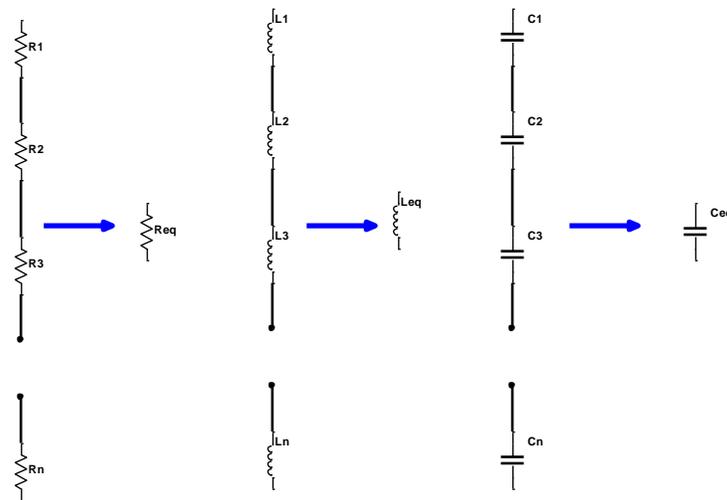


Figure 1.43. Groupement série des composants de base

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{eq} = \sum_{n=1}^N R_n \\ L_{eq} = \sum_{n=1}^n L_n = L_1 + L_2 + \dots + L_n \\ C_{eq} = \left(\sum_{n=1}^N \frac{1}{C_n} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n} \right)^{-1} \end{array} \right. \quad (1.20)$$

Montage parallèle des éléments

Définition et règles des montages parallèle des composants

On dit que les composants d'un circuit électrique (ou encore des appareils, dispositifs, récepteurs électriques) sont branchés **en parallèle** lorsque leurs bornes sont connectées aux deux mêmes points comme montré sur la **Figure 1. 44**. On trouve ainsi, aux bornes de chacun des composants, la même tension ou d.d.p. qui est la tension d'alimentation du groupement.

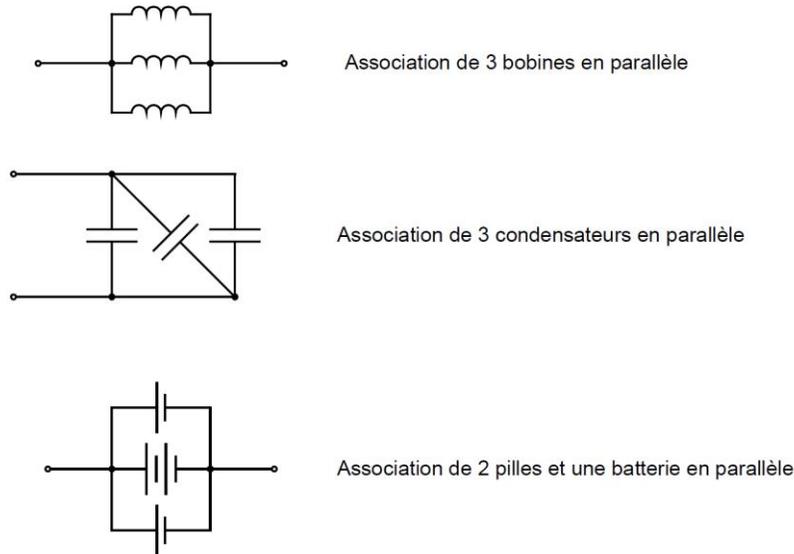


Figure 1. 44. Exemples d'éléments raccordés en parallèle

Dans un montage parallèle, on tire les conclusions suivantes :

- La somme des courants circulant dans les composants du groupement parallèle est égale au courant d'entrée dans le groupement (soit le courant débité par la source).
- Lorsqu'on considère le groupement parallèle alimenté par une source, la somme des puissances absorbées par les composants est égale à la puissance fournie par la source.

Résistance, inductance et condensateur équivalent d'un groupement parallèle

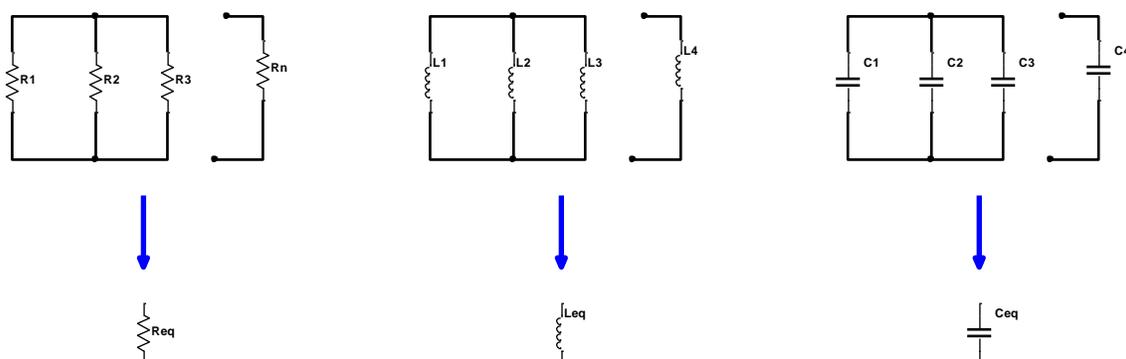


Figure 1. 45. Groupement parallèle des composants de base

$$\left\{ \begin{array}{l} R_{eq} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)^{-1} = \left(\sum_{n=1}^N \frac{1}{R_n} \right)^{-1} \\ L_{eq} = \left(\sum_{n=1}^n \frac{1}{L_n} \right)^{-1} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_1} + \dots + \frac{1}{L_n} \\ C_{eq} = \sum_{n=1}^N C_n = C_1 + C_2 + \dots + C_n \end{array} \right. \quad (1.21)$$

Quelques cas particuliers de groupement parallèle de résistance.

- Deux résistances quelconques en parallèle

$$R_{eq} = \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)^{-1} \Rightarrow R_{eq} = \left(\frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \right)^{-1} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad (1.22)$$

- Deux résistances identiques en parallèle

$$R_{eq} = \frac{R_0 \cdot R_0}{R_0 + R_0} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R_0^2}{2R_0} \Rightarrow R_{eq} = \frac{R_0}{2} \quad (1.23)$$

Exemple d'application 1-4 : Calcul de la résistance équivalente d'un groupement mixte.

On voudrait trouver le courant dans le circuit ci-dessous.

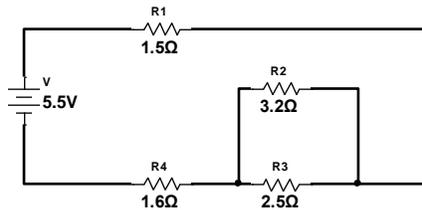


Figure 1. 46. Circuit pour l'exemple d'application 1-4.

1. Calculez de la résistance équivalente vue des bornes de la source.
2. Calculez le courant total débité par la source continue.
3. Calculez de la puissance totale consommée dans le circuit.
4. Calculez la puissance totale fournie dans le circuit.

Solution de l'exemple 1-4 : Calcul de la résistance équivalente d'un groupement mixte.

1. Calcul de la résistance équivalente vue des bornes de la source.
- Les résistances de $3,2 \Omega$ et celle de $2,5 \Omega$ sont en parallèles, elles peuvent alors être remplacées par une seule résistance de valeur égale à :

$$R_{eq_1} = \frac{2,5 \times 3,2}{2,5 + 3,2} = 1,4 \Omega$$

Le circuit prend alors la forme suivante

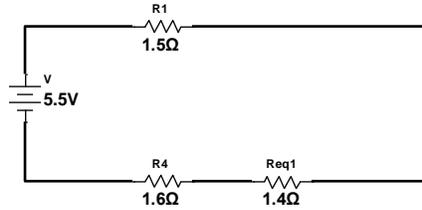


Figure 1. 47. Circuit équivalent au circuit de l'énoncé

- On obtient vue de la source, trois résistances en série. La résistance équivalente totale sera alors :

$$R_{eq} = 1,5 + 1,4 + 1,6 = \boxed{4,5 \Omega}$$

2. Calcul du courant totale débitée par la source continue.

Pour cela, on applique la loi d'Ohm et on a :

$$I = \frac{V}{R_{eq}} = \frac{5,5}{4,5} = \boxed{1,2 A}$$

3. Calcul de la puissance totale consommée

$$P_a = R_{eq} I^2 = 4,5 \times (1,2)^2 = \boxed{6,7 W}$$

4. Calcul de la puissance fournie

$$P_f = V \cdot I = 5,5 \times 1,2 = \boxed{6,7 W}$$

Lois de Kirchhoff pour l'analyse des circuits

Nœud, branche et maille

Il a été distingué dans la section précédente de deux types de groupement de composants électriques : série ou parallèle. La plupart des circuits électriques sont beaucoup plus complexes dans leur configuration et pour les analyser il est important de distinguer les notions de nœuds, de branche et de maille. Ces notions peuvent être définies comme suit :

- Un **nœud** est un point du circuit où **deux éléments** ou plus se rejoignent.
- Une **branche** est une portion du circuit relié entre deux nœuds; ainsi une branche se résume à un seul élément à deux terminaux (un dipôle).
- Une **maille** ou boucle est un chemin fermé dans un circuit qui ne passe pas plus d'une fois par un nœud intermédiaire.

Pour la **Figure 1. 48**, on dénombre :

- 6 nœuds identifiés par N1, N2, N3, N4, N5 et N6.
- Les branches de ce circuit sont : R1, R2, C1, R4, V1, L1, V2 et R3 soit 8 branches; ce qui correspond au nombre d'éléments du circuit.
- 4 mailles :
 - ✓ M1 : maille passant par les nœuds N1-N2-N3-N6-N1.
 - ✓ M2 : maille passant par les nœuds N2-N4-N3-N2
 - ✓ M3 : maille passant par les nœuds N3-N6-N5-N4-N3
 - ✓ M3 : maille passant par les nœuds N1-N2-N4-N5-N6-N1

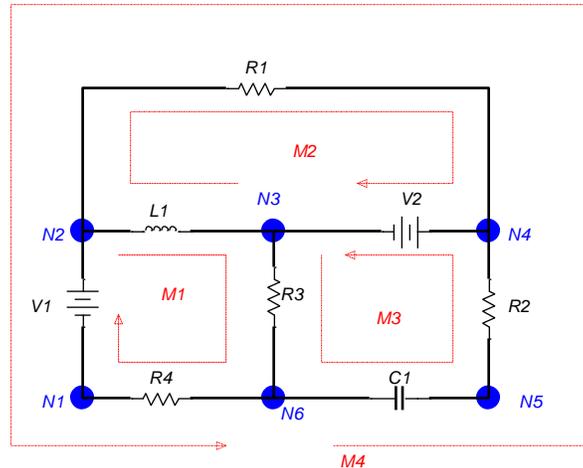


Figure 1. 48. Exemple nœud et branches dans un circuit

Lois de Kirchhoff

Le processus d'analyse des circuits consiste à pouvoir déterminer la tension et le courant à chaque branche ou nœud du circuit. Ce processus peut s'avérer complexe lorsque plusieurs composants sont connectés ensemble dans le circuit. Ainsi, selon le problème à résoudre ou la complexité du circuit, la technique appropriée doit être suivie afin de déterminer les valeurs de tension et de courant. Indépendamment de la configuration d'un circuit électrique, deux techniques connues sous le nom de **lois de Kirchhoff** permettent de résoudre les problèmes : **la loi des mailles (LKT : loi des Kirchhoff en tension)** et **la loi des nœuds ou analyse nodale (LKC : loi de Kirchhoff en courant)**.



Gustav Robert Kirchhoff
(1824-1887)

LKC : loi de Kirchhoff en Courant

La somme des courants entrant dans un nœud est égale à la somme des courants sortant du nœud.

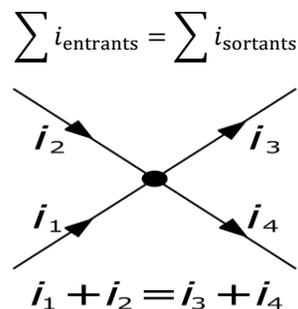


Figure 1. 49. Loi de Kirchhoff en courant

LKT : Loi des mailles ou loi de Kirchhoff en tension

La somme algébrique des tensions dans une maille est nulle.

$$\sum_{n=1}^N \bar{V}_n = 0 \quad (1.24)$$

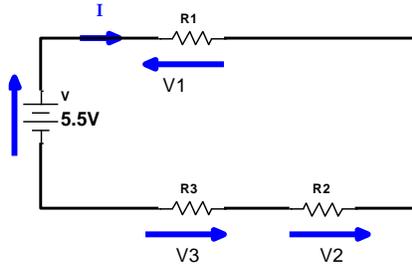


Figure 1. 50. Circuit pour l'application de la LKT

En choisissant un sens arbitraire de la maille, on obtient :

$$V - V_1 - V_2 - V_3 = 0 \quad (1.25)$$

Exercice d'application 1-5 et solution

Soit le circuit électrique suivant :

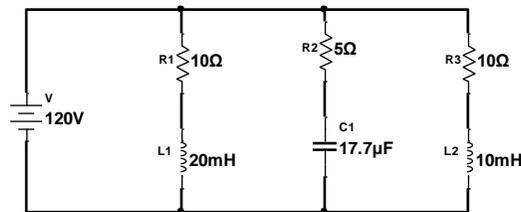


Figure 1. 51. Circuit pour l'exemple d'application 1-5

a. Calculez la tension aux bornes de la résistance R_1 .

Étant donné que la source d'alimentation est continue, les inductances peuvent être court-circuit et les condensateurs remplacés par un circuit ouvert. Ainsi le circuit équivalent devient :

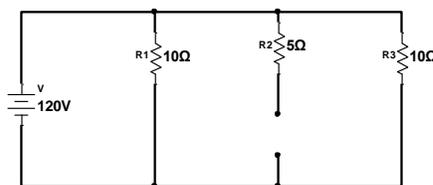


Figure 1. 52. Circuit équivalent en régime continu

Les composants en parallèle sont soumis à la même tension et donc :

$$V_{R_1} = V = 120 \text{ V}$$

b. Calculez la tension aux bornes de la résistance R_2 .

La résistance R_2 n'est parcourue par aucun courant à cause du circuit ouvert. On aura alors :

$$V_{R_2} = R_2 \times I = 0 \text{ V}$$

c. Calculez le courant dans la résistance R_1 .

On applique la loi d'Ohm :

$$I_{R_1} = \frac{V_{R_1}}{R_1} = \frac{120}{10} = 12 \text{ A}$$

d. Calculez le courant dans la résistance R_3 .

En observant le circuit équivalent, la résistance R_3 est également soumise à la tension de 120 V ce qui donne alors avec la loi d'Ohm :

$$I_{R_3} = \frac{V_{R_3}}{R_1} = \frac{120}{10} = 12 \text{ A}$$

e. Calculez l'énergie emmagasinée dans l'inductance de 20 mH .

Cette inductance est en série avec la résistance R_1 et est alors parcouru par le même courant ce qui donne :

$$W_{L_{20 \text{ mH}}} = \frac{1}{2} L I_{R_1}^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-3} \times (12)^2 = 1.44 \text{ J}$$

f. Calculez l'énergie électrique emmagasinée dans l'inductance de 10 mH .

Même démarche que précédemment :

$$W_{L_{10 \text{ mH}}} = \frac{1}{2} L I_{R_1}^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 10^{-3} \times (12)^2 = 0.72 \text{ J}$$

g. Calculez l'énergie électrique emmagasinée dans le condensateur.

Étant donné que la tension aux bornes de la résistance est nulle, le condensateur subit toute la tension de 120 V et on aura alors :

$$W_C = \frac{1}{2} C V_C^2 = \frac{1}{2} \times 17,7 \times 10^{-6} \times (120)^2 = 1.27 \text{ J}$$

h. Calculez la valeur moyenne de la puissance fournie par la source.

Avec la loi des nœuds, on détermine le courant total fourni par la source, ce qui donne alors :

$$I_S = I_{R_1} + I_{R_3} = 12 + 12 = 24 \text{ A}$$

Et :

$$P = V \times I_S = 120 \times 24 = 2880 \text{ W}$$

Fin du cours 2 ici

La suite dans les exercices