

02 – Le courant et la résistance



Figure 1 - Avion électrique "Velis" - [Pipistrel](#)

Remerciements :

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

02.1 La définition du courant

Les charges se déplacent dans les conducteurs. Par exemple, si on charge l'extrémité d'une tige métallique, l'autre extrémité devient aussi chargée, puisque les charges se sont déplacées d'un bout à l'autre de la tige. Si nous relierons un objet qui a une charge négative et un autre ayant une charge positive par un fil conducteur, les charges vont s'équilibrer en passant par le fil métallique. L'objet positif va donner des charges positives à l'autre objet, et vice-versa. C'est ce mouvement des charges dans le conducteur qu'on appelle le courant.



Plus il y a de charges qui se déplacent par unité de temps, plus le courant est grand.

Définition du courant moyen

$$I = \frac{\text{charge}}{\text{temps}} = \frac{Q}{\Delta t}$$

Les unités de ce courant sont donc des C/s. On a donné le nom d'*ampère (A)* à cette unité. 1 Ampère est donc le déplacement d'une charge de 1 Coulomb par seconde.

L'ampère (A)

$$1A = 1 \frac{C}{s}$$

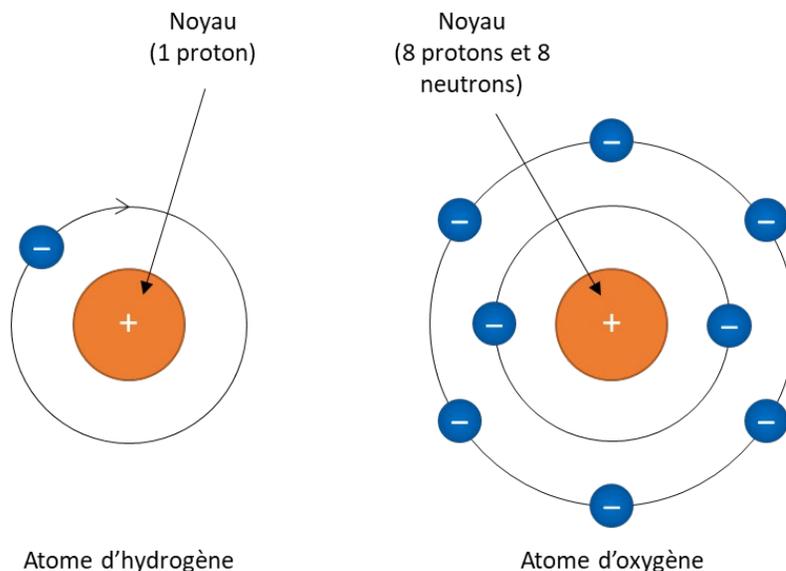
Autre unité de charge

La charge que peuvent fournir les batteries n'est pas donnée en coulomb, mais en ampèreheure (Ah). Cette unité de charge est la charge obtenue par un courant de 1 A pendant 1 heure. En coulomb, ça donne

$$1Ah = 1 \frac{C}{s} \cdot 1h \cdot \frac{60min}{h} \cdot \frac{60s}{min} = 3600C$$

02.2 La structure atomique et les électrons libres

Le déplacement d'un électron autour du noyau d'un atome forme une sphère. Lorsqu'il y a plus de deux électrons une deuxième sphère est formée puisque la première ne peut contenir que 2 électrons. Voici par exemple un atome d'hydrogène et un atome d'oxygène :



Pour qu'il y ait un courant, il faut que les charges puissent se déplacer dans la matière, donc que la matière soit conductrice. Toutefois, on peut se demander comment on obtient des substances dans lesquelles les charges électriques, c'est-à-dire des protons et des électrons, peuvent se déplacer facilement. Après tout, ces particules sont souvent fixées dans les molécules et elles ne peuvent donc pas se déplacer facilement dans la substance.

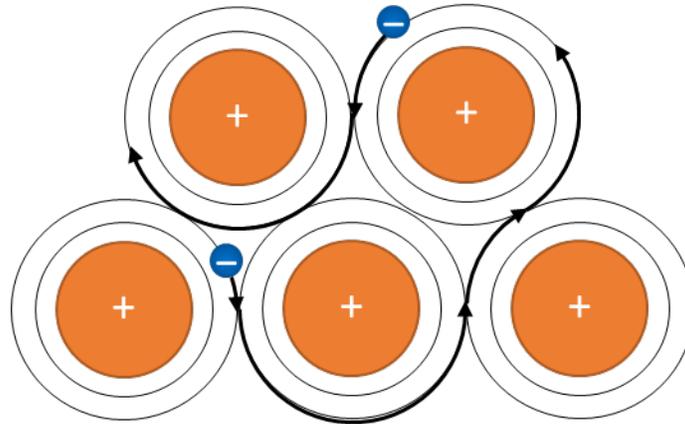
Les métaux

Dans les métaux, la liaison entre les atomes est un peu particulière. Dans ce type de liaison, appelée *liaison métallique*, quelques électrons des atomes se retrouvent dans des orbitales partagés par tous les atomes du métal. Ces électrons peuvent alors se promener dans tout le métal assez facilement. Ces électrons s'appellent des *électrons libres* ou des *électrons de conduction*. Dès qu'on place la substance dans un champ électrique, les électrons pourront se déplacer dans cette orbitale partagée pour faire un courant.

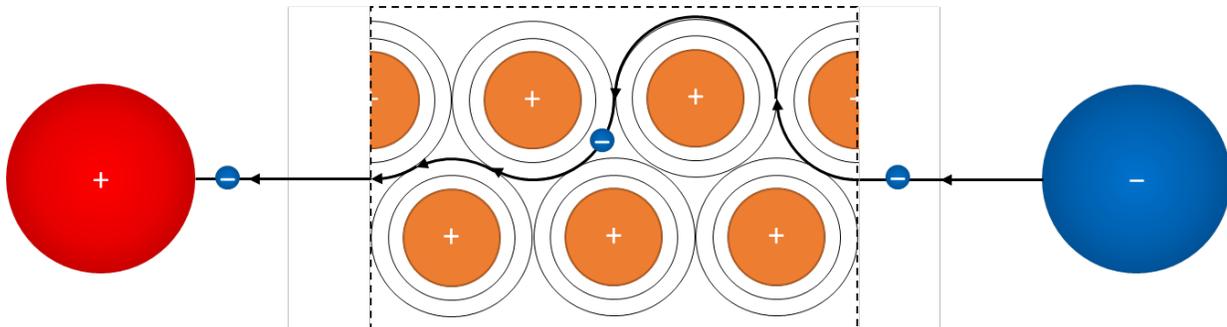
Ce sont les électrons de valence qui sont ainsi partagés par les atomes. La table suivante nous indique la valence de certains métaux.

Métal	Valence	Métal	Valence	Métal	Valence
Cu	1	Sr	2	Hg	2
Ag	1	Ba	2	Al	3
Au	1	Nb	1	Ga	3
Be	2	Fe	2	In	3
Mg	2	Zn	2	Sn	4
Ca	2	Cd	2	Pb	4

Les meilleurs conducteurs sont donc les métaux ayant le moins d'électrons de valence, comme par exemples le cuivre, l'argent et l'or, qui ont chacun 1 électron libre. Le déplacement aléatoire des électrons d'un atome à l'autre dans le cuivre peut être représenté comme suit :



Ce mouvement des électrons ne constitue pas toujours un courant électrique. Il existe toujours une certaine quantité d'électrons qui se déplacent d'un atome à un autre. Ce n'est que lorsque les électrons se déplacent dans la *même direction* qu'un courant existe. Si nous revenons à nos deux objets chargés, en les reliant par un fil de cuivre, les électrons pourraient par exemple se déplacer comme suit :



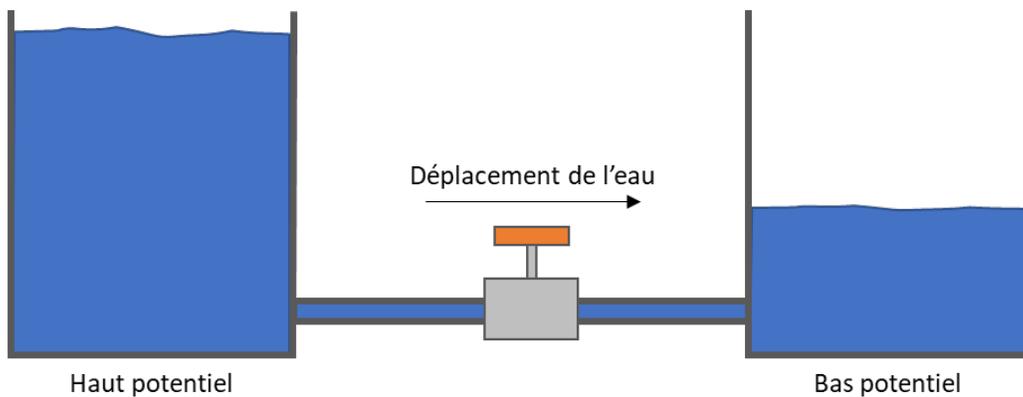
Les ions dans des solutions et des gaz

S'il y a des ions dans un gaz ou une solution, ceux-ci pourront se déplacer assez librement pour faire un courant. L'eau pure ne conduit pas très bien l'électricité parce qu'il n'y a pas beaucoup d'ions dans l'eau. Ajoutez du sel, qui va se séparer en ions Na^+ et Cl^- , et vous obtiendrez un liquide qui conduit l'électricité beaucoup plus facilement. Plus il y aura d'ions, plus le passage du courant sera facile.

Le potentiel

Les électrons se déplacent dans un conducteur lorsqu'il y a une différence de potentiel électrique. L'analogie classique pour expliquer ce phénomène est le déplacement de l'eau par gravité d'un endroit plus élevé à un autre. Dans la figure suivante, le niveau de l'eau dans le réservoir de gauche est plus élevé que dans celui de droite. L'énergie potentielle est donc plus grande dans le réservoir de gauche. Au niveau du tuyau qui raccorde les deux réservoirs, la pression supérieure du réservoir de gauche

provoque un déplacement de l'eau de gauche à droite. Ce déplacement se poursuit jusqu'à ce que le potentiel soit égalisé dans les deux réservoirs.



De la même manière, les charges électriques se déplacent du point ayant le potentiel le plus élevé vers le potentiel le plus bas.

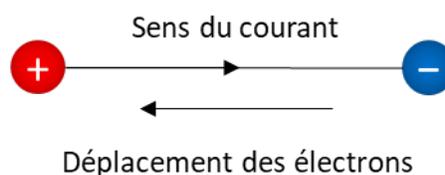
Le sens du courant

Par convention, le sens du courant est toujours celui de la direction du mouvement des charges positives. Puisque le déplacement des charges positives se fait toujours de façon à diminuer la charge de l'objet ayant le potentiel le plus élevé et faire augmenter la charge de l'objet ayant le potentiel le plus bas, on peut en déduire la conclusion suivante.

Le sens du courant

Le courant est le sens de déplacement des charges positives (contraire des électrons).

Le courant va de l'objet ayant le potentiel le plus élevé vers l'objet ayant le potentiel le plus bas.



02.3 La résistance

On remarque que certains matériaux laissent plus difficilement passer les charges que d'autres. On dit alors que ces matériaux sont plus *résistants*. Si, pour une même différence de potentiel entre les extrémités de l'objet, le courant dans un objet est plus petit que dans un autre, on dit que ce matériau est plus résistant au passage du courant.

On en vint à définir ainsi la résistance d'un corps (cette définition, datant de 1827, est due à Georg Simon Ohm).

Définition de la résistance

$$\Delta V = RI$$

Cette résistance est donc en V/A. On donna le nom d'*ohm* à cette unité.

Définition de l'ohm (Ω)

$$1\Omega = 1 \frac{V}{A}$$

Un objet ayant de la résistance placée dans un circuit électrique est appelé *résistor* ou *résistance*.



fr.wikipedia.org/wiki/Symbole_électronique

Les résistances employées dans les circuits ressemblent souvent à ce qu'on peut voir sur cette figure.



[fr.wikipedia.org/wiki/Résistance_\(composant\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Résistance_(composant))

Notez un élément très important : le courant qui entre dans une résistance est le même que celui qui sort.

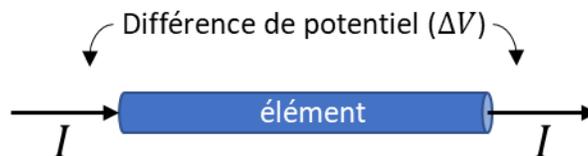


Ceci est très logique. S'il ne sortait le même nombre de charges qu'il en entre chaque seconde, la résistance accumulerait des charges, ce qu'elle ne peut pas faire. Les charges ne font que passer à travers la résistance, elles ne s'accumulent pas dans la résistance.

02.4 La puissance électrique

La formule de la puissance

Calculons maintenant l'énergie perdue chaque seconde par les charges quand elles passent dans un élément d'un circuit. Il y a donc un courant I qui passe dans l'élément et il y a une différence de potentiel ΔV aux bornes de l'élément.



Comme le potentiel change, l'énergie électrique des charges change. On va supposer que le potentiel baisse quand le courant passe d'un côté à l'autre. La variation d'énergie électrique d'une charge q est

$$\Delta U = -q\Delta V$$

On a mis un signe négatif parce que le potentiel des charges baisse et que ΔV est la valeur absolue de la différence de potentiel. Si les charges perdent de l'énergie, alors l'élément reçoit de l'énergie. L'élément reçoit donc

$$\Delta U = q\Delta V$$

Le signe est différent parce que l'élément reçoit l'énergie alors que les charges perdaient de l'énergie. La puissance (énergie par unité de temps) reçue par l'élément est donc :

$$P = \frac{\Delta U}{\Delta t}$$

$$P = \frac{q\Delta V}{\Delta t}$$

où $q/\Delta t$ est la charge passant dans l'élément par unité de temps. On reconnaît que cette quantité est le courant traversant l'élément. On a donc

Puissance reçue ou donnée par un élément d'un circuit

$$P = I\Delta V$$

L'élément reçoit de l'énergie si le potentiel baisse quand on suit le courant.

L'élément donne de l'énergie si le potentiel monte quand on suit le courant.

Si l'élément du circuit est une résistance, alors on peut utiliser $\Delta V = RI$ pour obtenir les trois équations équivalentes suivantes.

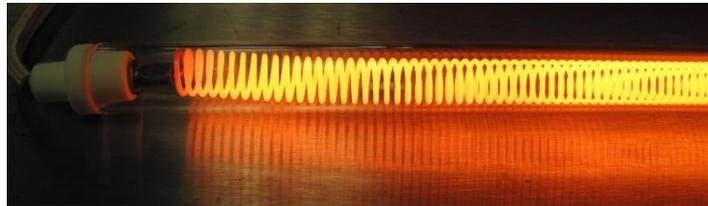
Puissance reçue par une résistance

$$P_R = I\Delta V$$

$$P_R = RI^2$$

$$P_R = \frac{\Delta V^2}{R}$$

Il est impossible que le potentiel monte quand le courant passe à travers une résistance. La résistance reçoit donc toujours de l'énergie. Dans ce cas, l'énergie électrique est dissipée en chaleur et c'est pour cela qu'on parle souvent de *puissance dissipée en chaleur* dans le cas des résistances. Cette dissipation de chaleur par une résistance s'appelle *l'effet Joule* puisque la loi régissant ce phénomène fut découverte par James Prescott Joule en 1840. Ce fut d'ailleurs une des étapes importantes qui permit la découverte du principe de conservation de l'énergie. Vous pouvez voir sur l'image une substance qui dissipe de la chaleur par effet Joule. Cette chaleur dissipée fait augmenter la température de l'objet, à tel point qu'il devient rouge.



en.wikipedia.org/wiki/Joule_heating

Une autre unité d'énergie

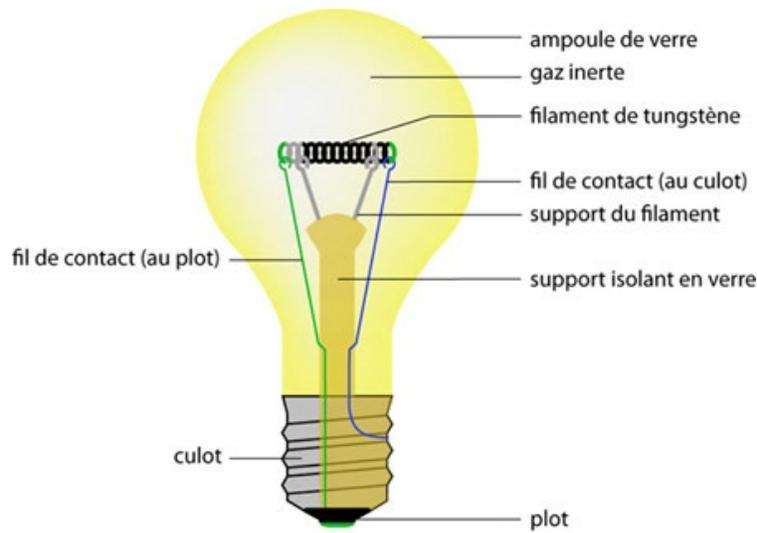
Pour l'énergie électrique, on utilise très souvent le kWh pour mesurer la quantité d'énergie. Il s'agit de l'énergie obtenue avec une puissance de 1 kW pendant une heure.

Le kilowattheure

$$1kWh = 1000W \cdot 3600s$$

L'ampoule

Une ampoule à incandescence est un simple filament de métal qui joue le rôle d'une résistance. En passant un courant dans le filament, il y a de la chaleur dissipée, ce qui fait monter la température du filament. La chaleur dissipée est telle que la température du filament atteint de 2000 °C à 3000 °C et le filament émet alors de la lumière puisqu'on a vu que les corps chauds émettent du rayonnement. Sachez que seulement 5 % de l'énergie dissipée par le filament est sous forme de lumière visible. (Le reste étant du rayonnement à des longueurs d'onde invisible, tel que de l'infrarouge et une autre partie de l'énergie se perd par convection et par conduction.)



ontroverselbc.wordpress.com/types-et-usages-des-ampoules/lampes-a-incandescence/

Le filament de l'ampoule est en tungstène. Toutefois, ce métal s'enflamme s'il devient trop chaud en présence d'oxygène. On a donc placé le filament à l'intérieur d'une ampoule de verre dans lequel il n'y a pas d'oxygène. Cette ampoule est remplie d'argon ou de krypton qui sont des gaz inertes et qui ne réagiront pas avec le tungstène. L'ampoule finit par ne plus fonctionner parce que le filament de tungstène se sublime lentement quand il est chaud. À un moment donné, il devient trop mince, il casse et le courant ne peut plus passer.

Exemple 02.4.1

On laisse fonctionner une ampoule de 60 W pendant 10 heures. La différence de potentiel aux bornes de l'ampoule est de 120 V.

Quelle est la résistance du filament de l'ampoule ?

On peut trouver la résistance avec la formule de la puissance dissipée

$$P_R = \frac{\Delta V^2}{R}$$

$$60W = \frac{(120V)^2}{R}$$

$$R = 240\Omega$$

Combien coûte cette énergie si le prix est de 10 ¢ du kWh ?

L'énergie dissipée (en kWh) est

$$\begin{aligned} \text{Energie} &= P\Delta t \\ &= 0,06kW \cdot 10h \\ &= 0,6kWh \end{aligned}$$

Cette énergie coûte

$$\begin{aligned} \text{Coût} &= 0,6kWh \cdot 0,10 \frac{\$}{kWh} \\ &= 0,06\$ \end{aligned}$$

Chauffage par effet Joule

Si vous chauffez votre maison à l'électricité, vous vous chauffez par effet Joule. En passant un courant à travers une résistance, il se dégage de la chaleur. Les plinthes électriques ne sont rien d'autre qu'une résistance. Notez que l'efficacité d'une plinthe est identique à l'efficacité d'une ampoule pour chauffer puisque l'effet Joule est en jeu dans les deux cas.

En faisant passer du courant dans des fils, la chaleur dissipée par la résistance des fils peut aussi chauffer vos tranches de pain. Voilà, vous avez un grille-pain. Vous pouvez voir sur cette image les fils chauffés par le courant les traversant.



By Nick carson at en.wikipedia, CC BY 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=17010778>

Exercices

1. Il est passé 30 coulombs en 5 secondes dans un fil. Quel fut le courant moyen dans le fil ?
2. Il y a un courant de 10 A dans un fil. Combien d'électrons entrent dans le fil chaque seconde ?
3. Une pile peut donner une charge de 0,75 Ah. Au bout de combien de temps sera-t-elle vide si elle fournit un courant constant de 50 mA ?
4. Il y a une différence de potentiel de 100 V entre les extrémités d'un fil de 2 m de long. Quelle est la résistance du fil s'il y a un courant de 50 mA dans le fil ?
5. Il y a un courant de 8 A qui passe dans une résistance de 100 Ω . Quelle est la puissance dissipée en chaleur par la résistance ?
6. Une batterie d'automobile peut fournir une charge de 80 Ah avec une différence de potentiel de 12 V. Pendant combien de temps peut-elle faire fonctionner une ampoule de 60 W ?
7. La borne de recharge de niveau 1 d'une voiture électrique permet de recharger la voiture avec une différence de potentiel de 120 V et un courant de 16 A. Combien faudra-t-il de temps pour recharger la batterie de l'automobile si elle peut accumuler une énergie de 16 kWh et qu'elle est complètement vide initialement ?

Réponses

1. 6 A
2. $6,242 \times 10^{19}$
3. 15h
4. 2000Ω
5. 6400W
6. 16h
7. 8,33h (8h20)