

ÉLECTRICITÉ

1. Introduction

a) Définition

Un courant électrique est un déplacement de particules chargées dans un milieu conducteur.

Ces particules sont :

- des électrons dans les conducteurs métalliques et, en général, dans les conducteurs solides
- des ions (positifs ou négatifs) dans les solutions

b) Usages du courant électrique

- Transport d'énergie à distance pour obtenir d'autres formes d'énergie : mouvement, son, lumière, chaleur...
- Transport et traitement d'informations : téléphone, radio, télévision, ordinateur...

c) Effets du courant électrique

- **Effet calorifique:** le passage d'un courant électrique dans un conducteur s'accompagne d'un dégagement de chaleur.
 - Appareils de chauffage (radiateurs, cuisinières, fer à repasser, chauffe-eau...).
 - Ampoules à incandescence.
 - Fusible.
 - Echauffement indésirable de tous les appareils électriques et des fils transportant le courant électrique.
- **Effet lumineux:** Le passage d'un courant électrique peut s'accompagner d'une émission directe de lumière.
 - Tubes d'éclairage, ampoules économiques.
 - Étincelles, éclairs d'orage.
 - Diodes lumineuses (LED : Light Emitting Diode).
- **Effet chimique:** le passage du courant électrique dans les solutions électrolytiques peut s'accompagner d'une décomposition chimique (électrolyse).
- **Effets magnétiques:** le courant électrique a des propriétés magnétiques (comme les aimants).
 - Un courant électrique produit un champ magnétique
 - Un fil électrique placé dans un champ magnétique est soumis à une force.

2. Grandeurs de base en électricité

a) Introduction

Sur les 2 ampoules sont indiquées 3 grandeurs très importantes en électricité.

- La **différence de potentiel** ou tension électrique en volts (**V**)
- L'**intensité** électrique en ampères (**A**)
- La **puissance** électrique en watts (**W**)

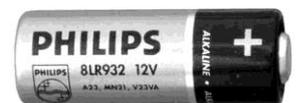


b) L'intensité (I)

- Elle représente le débit de charges électriques qui traversent le conducteur.
Un ampère correspond au passage d'une charge de 1 coulomb par seconde.
(1 coulomb est la charge électrique portée par $6,25 \cdot 10^{18}$ électrons).
- C'est de l'intensité que dépendent tous les effets d'un courant électrique.
 - Plus l'intensité dans un fil est grande, plus il s'échauffe
 - Plus l'intensité dans une ampoule est grande, plus elle éclaire (et plus elle chauffe)
 - Plus l'intensité dans un fil est grande, plus le champ magnétique produit est important.
 - Plus l'intensité du courant qui traverse notre corps est grande et plus le risque d'électrocution est grand.

c) La différence de potentiel ou tension électrique (U)

- C'est ce qui est nécessaire pour produire un courant électrique.
Elle est proportionnelle à la **force** qui s'exerce sur les charges électriques.
- La différence de potentiel fournie par une pile, entre ses deux bornes, est sa **force électromotrice** ou **voltage**.



Pile de force électromotrice 12 V

d) La puissance (P) et l'énergie (E)

- La puissance d'un appareil électrique est l'énergie électrique qu'il consomme par unité de temps.

- Formules :

$$P = \frac{E}{t}$$

$$E = P t$$

- Unités du **Système**

International :

P : puissance de l'appareil en watts (**W**).

E : énergie consommée pendant la durée de fonctionnement de l'appareil en joules (**J**).

t : durée de fonctionnement de l'appareil en secondes (**s**).

e) Analogie hydraulique

On peut comparer un courant électrique circulant dans un fil conducteur avec un courant d'eau circulant dans une canalisation horizontale.

Courant d'eau	Courant électrique
<p style="text-align: center;">Volume d'eau (V)</p> <p style="text-align: center;">L'unité de volume est le m³.</p>	<p style="text-align: center;">Charge électrique (q)</p> <p style="text-align: center;">L'unité de charge électrique est le coulomb (C).</p>
<p style="text-align: center;">Débit (D)</p> <p>Le débit est le volume d'eau (V) qui traverse une section de la canalisation par unité de temps (t).</p> <p style="text-align: center;">D = V / t</p> <p style="text-align: center;">L'unité de débit est le mètre cube par seconde.</p> <p style="text-align: center;">m³/s</p>	<p style="text-align: center;">Intensité (I)</p> <p>L'intensité électrique est la quantité de charges électriques (q) qui traverse une section du conducteur par unité de temps (t).</p> <p style="text-align: center;">I = q / t</p> <p style="text-align: center;">L'unité d'intensité électrique est le coulomb par seconde ou ampère (A).</p> <p style="text-align: center;">1 A = 1 C/s</p>
<p style="text-align: center;">Différence de pression (Δp)</p> <p>Pour que l'eau s'écoule d'une extrémité à l'autre d'une canalisation horizontale, il faut qu'il y ait entre ces extrémités une différence de pression.</p> <p>L'eau s'écoule de la pression la plus élevée vers la pression la plus basse.</p> <p>La pression s'exprime en N/m² ou en Nm/m³ ou en J/m³ (joule par m³).</p> <p>La pression (p) représente une énergie potentielle par unité de volume.</p> <p>En s'écoulant, l'eau perd de l'énergie potentielle de pression.</p> <p>L'unité de différence de pression est le joule par mètre cube ou pascal (Pa).</p> <p style="text-align: center;">1 Pa = 1 J/m³</p>	<p style="text-align: center;">Différence de potentiel électrique (ou tension électrique) (U)</p> <p>Les charges électriques se déplacent dans un conducteur sous l'action de forces électriques. Pour qu'elles se déplacent d'une extrémité à l'autre d'un conducteur, il faut qu'il y ait entre ces extrémités une différence de potentiel électrique.</p> <p>Le potentiel électrique représente une énergie potentielle par unité de charge.</p> <p>La différence de potentiel électrique représente une différence d'énergie potentielle par unité de charge.</p> <p style="text-align: center;">U = E / q</p> <p>En se déplaçant, les charges électriques perdent de l'énergie potentielle électrique.</p> <p>L'unité de différence de potentiel est le joule par coulomb ou volt (V).</p> <p style="text-align: center;">1 V = 1 J/C</p>

f) Et les ampoules ?

- Les valeurs indiquées sur les appareils électriques sont les grandeurs **nominales**, c'est-à-dire celles qui correspondent à une utilisation normale prévue par le fabricant.
- Pour fonctionner correctement la petite ampoule doit être branchée sur une différence de potentiel de 6V elle est alors parcourue par un courant de 0,15 A.
- Pour fonctionner correctement la grande ampoule doit être branchée sur une différence de potentiel de 240 elle consomme alors l'énergie électrique avec une puissance de 100 W.

3. Autres caractéristiques d'un courant électrique

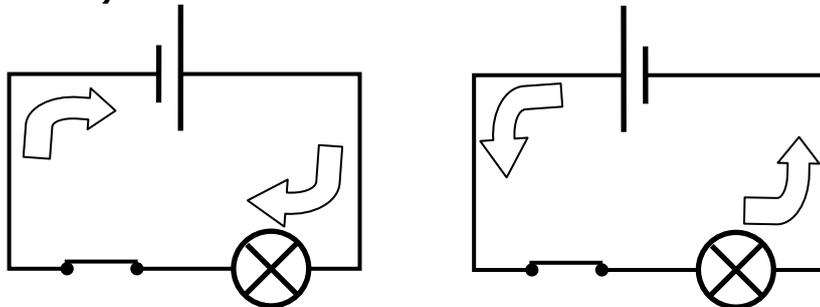
a) Sens du courant électrique

Comme un objet en chute libre dans le champ de pesanteur, une charge électrique se déplace dans un champ électrique de manière à faire diminuer son énergie potentielle.

Une charge positive se déplace dans le sens des potentiels décroissants.

Le sens **conventionnel** du courant est celui qui correspondrait à un mouvement de charges positives entre le pôle positif et le pôle négatif du générateur.

Conventionnellement, **le courant va du pôle positif vers le pôle négatif du générateur (du + vers le -)**

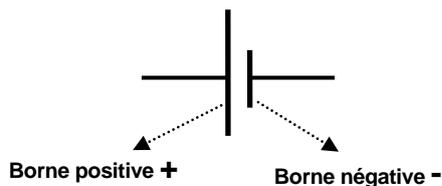
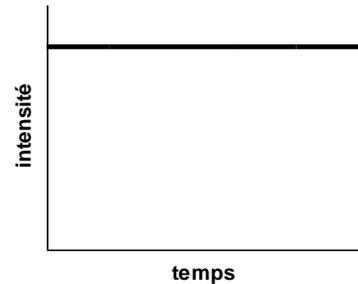


Les électrons qui sont chargés négativement se déplacent donc dans le sens contraire du sens conventionnel.

En électricité, on parle toujours du sens conventionnel du courant électrique.

b) Le courant continu

- Dans un conducteur parcouru par un courant continu, les charges électriques se déplacent à vitesse constante dans un sens bien déterminé, l'intensité du courant est constante.
- Générateurs de courant continu: pile, batterie, panneau photovoltaïque...



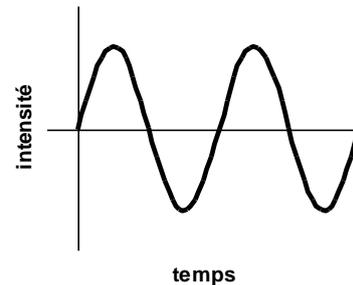
Un satellite et ses panneaux photovoltaïques



Batterie de voiture

c) Le courant alternatif

- Dans un conducteur parcouru par un courant alternatif, les charges électriques ont un mouvement d'oscillation (de va-et-vient) sur place.
- Générateurs de courant alternatif : dynamo, alternateur...



Alternateur de voiture

- La fréquence du courant alternatif est le nombre d'oscillations par seconde. L'unité de fréquence est l'hertz (Hz). La fréquence du courant fourni par nos centrales électriques est de 50 Hz.
- En courant alternatif, les intensités et tensions étant variables, elles sont définies par leur valeur moyenne (moyennes quadratiques). On les appelle **intensité et tension efficace**.

d) Vitesse du courant électrique

L'allumage d'une ampoule ou la mise en route d'un appareil se fait instantanément, lorsqu'on actionne l'interrupteur.

Les électrons se mettent tous en mouvement pratiquement au même instant car le champ électrique se propage dans le conducteur à une vitesse extrêmement grande.

Par contre, la vitesse du mouvement des électrons qui constitue le courant électrique est extrêmement faible.

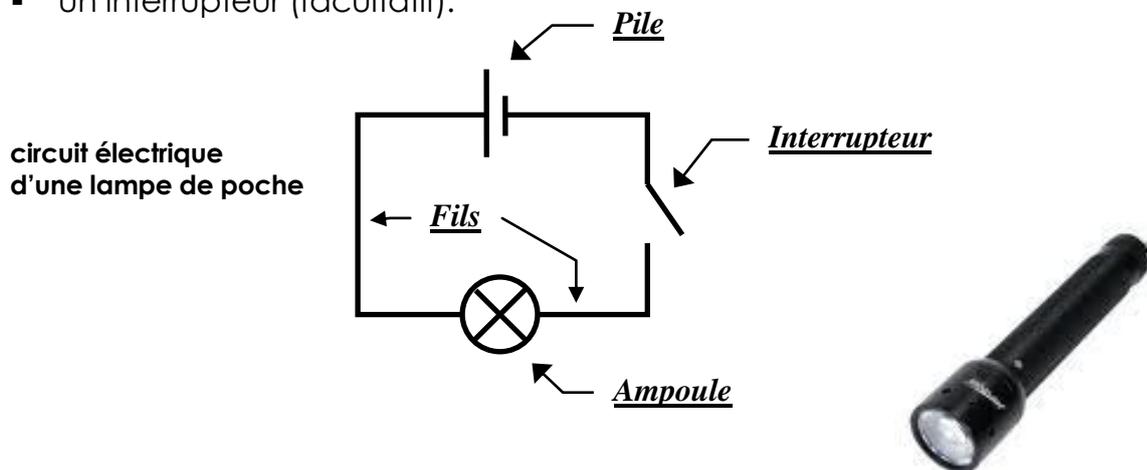
Dans un fil de cuivre de 1 mm^2 de section parcouru par un courant de 1 A , les électrons se déplacent à la vitesse $0,06 \text{ mm/s}$. (Plus de 4 heures pour parcourir 1 mètre)

4. Le circuit électrique

a) Circuit élémentaire

Il comporte:

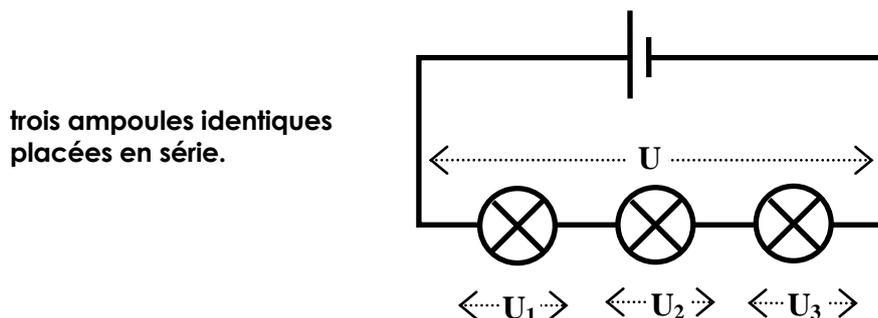
- un générateur (deux bornes): il fournit le courant électrique.
- un récepteur (deux bornes): il utilise le courant électrique pour produire un autre forme d'énergie.
- des fils conducteurs reliant les bornes du récepteur avec celles du générateur.
- un interrupteur (facultatif).



- Un circuit est **fermé** lorsque les deux bornes du générateur sont reliées par une suite ininterrompue de conducteurs (fils + récepteurs). Il est **ouvert** dans le cas contraire. Pour qu'un circuit électrique soit parcouru par un courant, il doit être fermé.

b) Association en série

Des récepteurs sont placés en série quand ils sont connectés bout à bout.

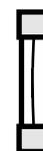


- Les ampoules éclairent toutes avec le même éclat, quel que soit leur nombre.
L'intensité du courant est identique dans tous les récepteurs placés en série.
- Plus on branche d'ampoules en série, moins elles éclairent.
La différence de potentiel se répartit entre les différents récepteurs placés en série.
- Si on dévisse une des ampoules, elles s'éteignent toutes les trois puisque le circuit est alors ouvert.
- Les différences de potentiel s'additionnent :
$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

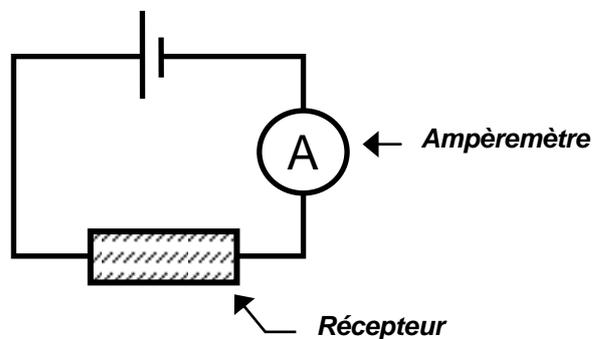
Exemples:

- Les ampoules de certaines guirlandes de Noël sont placées en série. Une seule ampoule clignotante suffit à faire clignoter la guirlande toute entière.
- Un fusible est placé en série avec l'appareil à protéger. Lorsque l'intensité du courant qui alimente l'appareil est trop importante, le fusible fond, le circuit est ouvert et le courant est coupé.

Fusible de protection d'un
appareil électrique
(± 3cm de long)

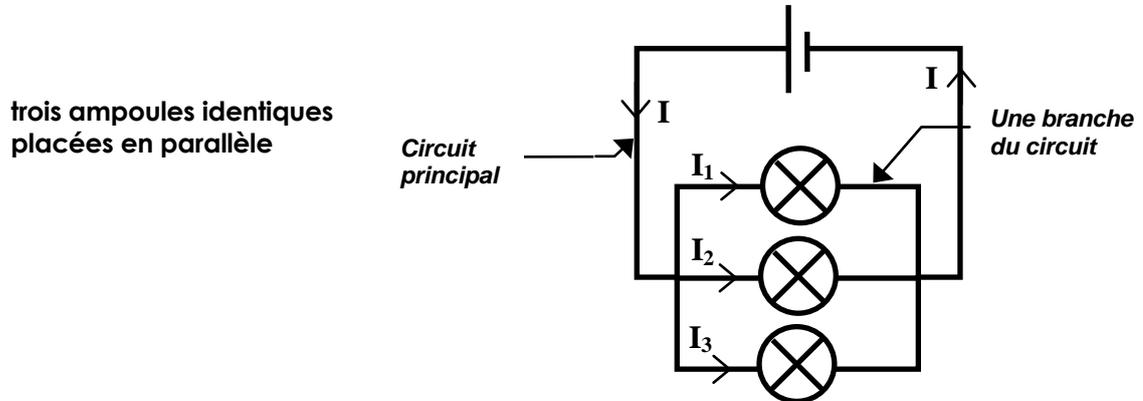


- Un **ampèremètre**, qui mesure l'intensité du courant dans un récepteur, doit être placé **en série** dans le circuit. Il est alors parcouru par le même courant que le récepteur.



c) Association en parallèle

Des récepteurs sont placés en parallèle (ou en "dérivation") quand on relie entre elles, d'une part, toutes les bornes par où "entre" le courant et, d'autre part, toutes les bornes par où il "sort".



- Les ampoules étant toutes connectées entre les deux mêmes points, la différence de potentiel est identique pour tous les récepteurs placés en parallèle.
- Toutes les ampoules éclairent normalement quel que soit leur nombre.
- Dévisser une des ampoules n'empêche pas les autres de fonctionner.
- Les intensités s'additionnent.

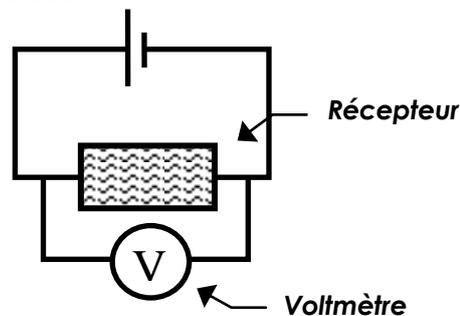
$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

Exemples:

- Tous les appareils d'une installation domestique (lampes, frigo, cuisinière, ordinateur...) sont branchés en parallèle.

Que se passerait-il s'ils étaient placés en série ?

- Un **voltmètre**, qui mesure la différence de potentiel entre deux bornes d'un récepteur, doit être placé **en parallèle** avec celui-ci pour être soumis à la même différence de potentiel.



5. Energie, puissance, coût...

a) Définition

Un récepteur électrique consomme de l'énergie électrique.

La puissance (P) électrique d'un récepteur est l'énergie (E) qu'il consomme par unité de temps.

$$P = \frac{E}{t}$$

$$E = P t$$

b) Relation entre P, U, I

La différence de potentiel électrique représente une différence d'énergie potentielle électrique par unité de charge.

$$U = \frac{E}{q}$$

Cette énergie est consommée par le récepteur qui la transforme en une autre forme d'énergie.

L'intensité électrique est la quantité de charges électriques (q) qui traverse une section du conducteur par unité de temps (t).

$$I = \frac{q}{t}$$

On multiplie ces deux relations

$$UI = \frac{E}{q} \times \frac{q}{t} = \frac{E}{t} = P$$

$$P = UI$$

c) Unités d'énergie (E= P t)

- Système International des Unités

P en watts (**W**) **t** en secondes (**s**) **E** en joules (**J**)

$$1 \text{ J} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ s}$$

- Unités utilisées fréquemment en électricité

P en kilowatts (**kW**) **t** en heures (**h**) **E** en kilowattheures (**kWh**)

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h}$$

$$1 \text{ kWh} = 3.600.000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

d) Coût de l'énergie électrique

- On paie l'**énergie** électrique que l'on consomme.
- L'unité d'énergie utilisée dans les factures est le **kilowattheure**.
- Un kWh coûte actuellement environ **0,075 €** (tarif normal).

e) Quelques puissances (en watts)

Ampoule à filament	20 - 100
Ampoule économique = ampoule classique 60W	4- 20
Lampadaire halogène	300
TV	40-150
Radio ou chaîne Hi-Fi	55-500
Ordinateur (portable ou bureau)	80-360
Aspirateur	700-1000
Sèche-cheveux	300-1000
Four micro-ondes	700-2100
Lessiveuse	500-3000
Cuisinière	1000-10000
Radiateur électrique	500-3000
Climatiseur	800-5000
Petit-chauffe eau électrique	1500-6000
Frigo	80-150
Rasoir	10
Tihange 3	1020 MW

f) Rendement d'un appareil électrique

Un appareil électrique consomme de l'énergie électrique fournie par le générateur et produit de l'énergie sous d'autres formes.

Tous les appareils (moteur, ampoule, amplificateur, télévision, ordinateur...) s'échauffent.

Pour les appareils qui ne sont pas destinés à chauffer, la chaleur produite est de l'énergie perdue.

Le **rendement** (η) d'un appareil électrique est le rapport entre la puissance utile qu'il fournit et la puissance totale qu'il consomme.

$$\eta = P_{\text{utile}} / P_{\text{consommée}}$$

Le rendement d'un appareil de chauffage est de 100%.

Le rendement d'une lampe à incandescence ne dépasse pas 5%.

6. Les récepteurs calorifiques

a) Introduction

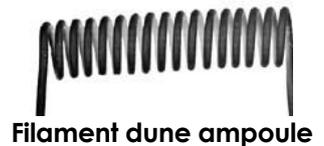
Un récepteur calorifique est un récepteur qui transforme l'énergie électrique intégralement en chaleur; on l'appelle **résistor**.

(Dans le langage courant on emploie souvent le terme « **résistance** »)

Un résistor est souvent constitué d'un simple fil conducteur de longueur plus ou moins grande.

b) Exemples:

- Le filament d'une ampoule électrique à incandescence est un mince fil de **tungstène** (symbole chimique **W**). Porté à une température de plus de 2500 °C, il émet une lumière blanche.



- Tous les appareils de chauffage électrique comportent un résistor comme élément chauffant.



Fer à repasser

- On trouve un grand nombre de résistors comme composants électroniques dans les circuits électriques des amplificateurs, télévisions, ordinateurs, etc...



Résistors utilisés en électronique

- Représentations symboliques:

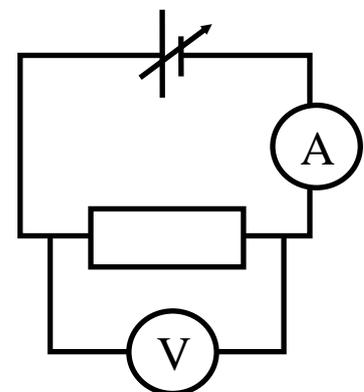


c) Loi d'Ohm

- Le montage ci-contre permet de mesurer l'intensité **I** du courant dans un résistor pour différentes valeurs de la différence de potentiel **U** qu'un lui applique.

On constate que, pour chaque résistor, le rapport U/I est sensiblement constant.

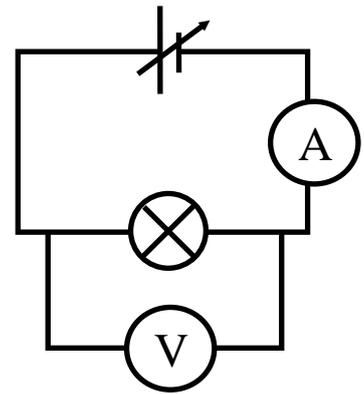
La différence de potentiel (U) et l'intensité (I) sont deux grandeurs proportionnelles.



- Le cas d'une ampoule :

On constate que le rapport U/I n'est pas constant, il augmente lorsque l'intensité du courant augmente.

On constate aussi que la température de l'ampoule augmente de façon importante au cours de l'expérience. Dans le premier cas, la température restait pratiquement constante pendant les mesures.



- **Enoncé de la loi d'Ohm**

A température constante, l'intensité du courant dans un résistor et la différence de potentiel entre ses bornes sont proportionnelles

d) Résistance

- Le rapport U/I , s'appelle « **résistance électrique** »

$$R = U / I$$

- **La résistance électrique d'un résistor est le rapport entre la différence de potentiel appliquée entre ses extrémités et l'intensité du courant qui le parcourt.**

R s'exprime en V/A ou **ohm** (Ω).

- La loi d'Ohm peut donc s'écrire:

$$U = RI$$

- On a aussi :

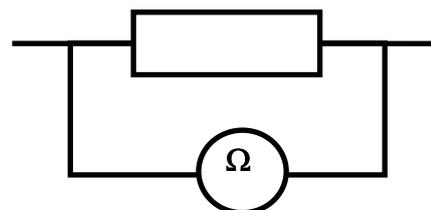
$$I = U/R$$

L'intensité du courant dans un résistor soumis à une différence de potentiel donné est inversement proportionnelle à sa résistance. Plus la résistance est grande, plus l'intensité du courant est faible.

La résistance électrique mesure bien la résistance au passage du courant électrique.

- L'expérience de l'ampoule permet de conclure que **la résistance d'un conducteur métallique augmente lorsque sa température augmente.**

- Mesure directe d'une résistance avec un **ohmmètre**



7. Association de résistors

a) Résistance équivalente

La résistance équivalente d'un groupement de résistors est la résistance du résistor unique qui, soumis à la même différence de potentiel que le groupement, serait parcouru par un courant de même intensité.

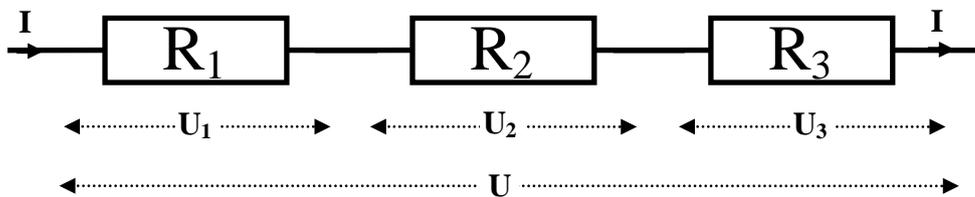
U: différence de potentiel aux bornes du groupement.

I: intensité du courant dans le groupement.



$$R_{\text{éq}} = U/I$$

b) Association en série



On a: $U = R_{\text{éq}} I$ et $U = U_1 + U_2 + U_3$

On applique la loi d'Ohm pour chaque résistor:

$$U_1 = R_1 I \quad U_2 = R_2 I \quad U_3 = R_3 I$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = R_1 I + R_2 I + R_3 I = (R_1 + R_2 + R_3) I = R_{\text{éq}} I$$

Donc:

$$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2 + R_3$$

Pour un nombre quelconque de résistors:

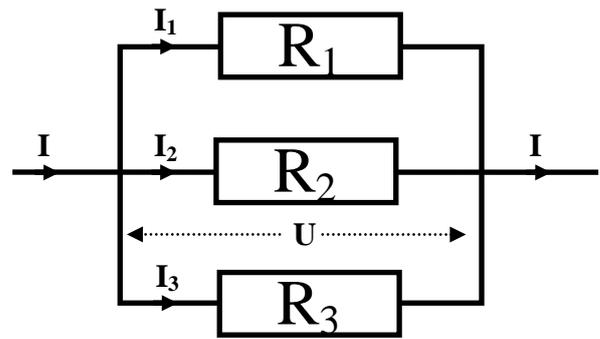
$$R_{\text{éq}} = \sum R_i$$

Pour **n** résistors de résistance **R** en série : $R_{\text{éq}} = n R$

c) Association en parallèle

On a $I = U / R_{\text{éq}}$ et

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$



On applique la loi d'Ohm pour chaque résistor:

$$I_1 = U / R_1 \quad I_2 = U / R_2 \quad I_3 = U / R_3$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) = \frac{U}{R_{\text{éq}}}$$

$$\boxed{\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}}$$

Pour un nombre quelconque de résistors:

$$\boxed{\frac{1}{R_{\text{éq}}} = \sum_i \frac{1}{R_i}}$$

Pour n résistors de résistance R en parallèle:

$$R_{\text{éq}} = \frac{R}{n}$$

d) Quelques conséquences

- association en série
 - La résistance équivalente d'un groupement en série est plus grande que la plus grande des résistances du groupement.
 - Ajouter, en série, avec un groupement, un résistor dont la résistance est beaucoup plus petite que celle du groupement modifie de façon négligeable la résistance de l'ensemble.

Par exemple, un résistor de 10Ω placé en série avec un résistor de 10.000Ω donne à l'ensemble une résistance de 10.010Ω
 - Pour cette raison, un **ampèremètre**, toujours **placé en série**, doit avoir une **résistance la plus faible possible** pour ne pas modifier de façon sensible la résistance du circuit que l'on étudie.

- association en parallèle

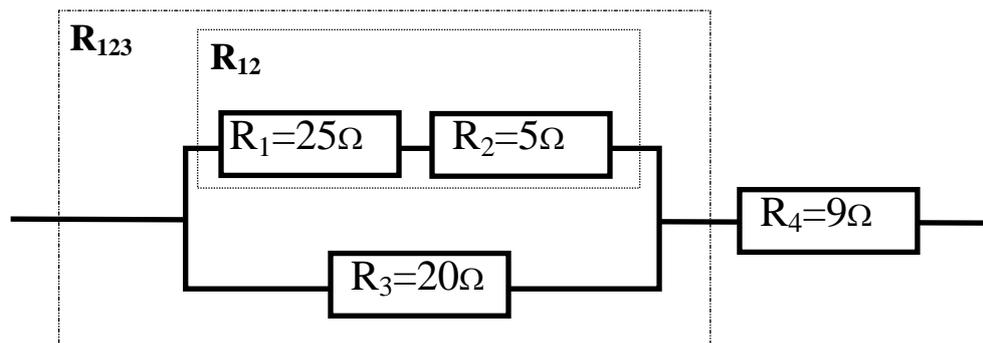
- La résistance équivalente d'un groupement de résistors en parallèle est plus petite que la plus petite des résistances du groupement.
- Ajouter, en parallèle à un groupement, un résistor dont la résistance est beaucoup plus grande que celle du groupement modifie de façon négligeable la résistance de l'ensemble.

Par exemple, un résistor de $10000\ \Omega$ placé en parallèle avec un résistor de $10\ \Omega$ donne à l'ensemble une résistance équivalente de $9,99\ \Omega$.

- Pour cette dernière raison, un **voltmètre**, toujours **placé en parallèle**, doit avoir une **résistance la plus grande possible** pour ne pas modifier de façon sensible la résistance du circuit que l'on étudie.

e) Association mixte

Pour trouver la résistance équivalente, on applique les règles d'association série et parallèle aux différents groupements et sous-groupements de résistors.



Les résistors R_1 et R_2 sont en série et sont équivalents au résistor R_{12}

$$R_{12} = 25 + 5 = 30\ \Omega$$

Les résistors R_{12} et R_3 sont en parallèle et sont équivalents au résistor R_{123}

$$1/R_{123} = 1/30 + 1/20 = 1/12\ \Omega \Rightarrow R_{123} = 12\ \Omega$$

Les résistors R_{123} et R_4 forment le groupement total, ils sont en série.

$$R_{\text{éq}} = 12\ \Omega + 9\ \Omega = 21\ \Omega$$

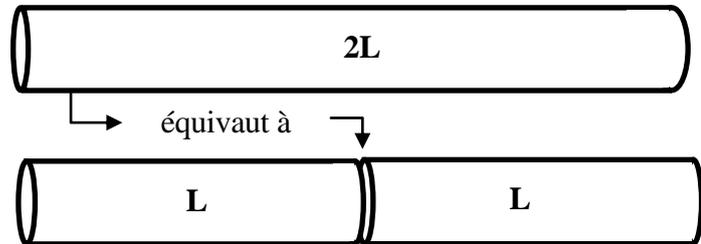
8. Résistivité

a) Loi de Pouillet

Soit un fil conducteur **homogène**, de section constante **S**, de longueur **L** de résistance **R**.



Un conducteur identique mais de longueur **2L** équivaut à 2 conducteurs de longueur **L** placés en série.

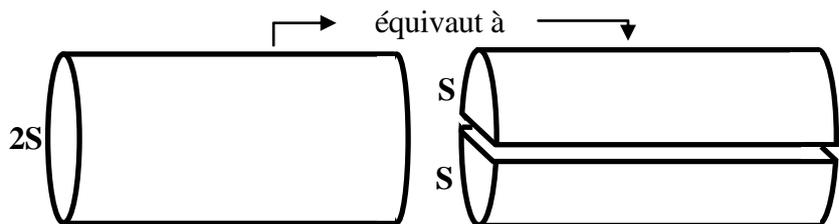


Sa résistance vaut donc **2R**.

Quand on double la longueur d'un conducteur, on double sa résistance.

La résistance d'un conducteur homogène de section constante est proportionnelle à sa longueur.

Un conducteur identique mais de section **2S** équivaut à 2 conducteurs de section **S** placés en parallèle.



Sa résistance vaut donc **R/2**.

Quand on double la section d'un conducteur, on divise sa résistance par deux.

La résistance d'un conducteur homogène de section constante est inversement proportionnelle à sa section.

Loi de Pouillet:

$$R = \frac{\rho L}{S}$$

La constante de proportionnalité ρ (rhô) est la **résistivité** du matériau

en $\Omega \times m$ (**ohm fois mètre**)

b) Quelques résistivités à 20 °C en $\Omega \times m$

Argent	$1,6 \times 10^{-8}$	Fer	$9,6 \times 10^{-8}$
Cuivre	$1,7 \times 10^{-8}$	Graphite (C)	3500×10^{-8}
Aluminium	$2,8 \times 10^{-8}$	Eau pure	5×10^3
Tungstène	$5,6 \times 10^{-8}$	Verre ordinaire	9×10^{11}

c) Influence de la température

- La résistivité des **métaux purs** augmente quand la température augmente.
- La résistivité des **semi-conducteurs** (carbone, silicium, germanium) diminue quand leur température augmente.
- La résistivité des **alliages** varie très peu.

La résistivité ρ évolue à peu près linéairement avec la température θ :

$$\rho = \rho_0 (1 + \alpha \theta) \quad \rho_0 : \text{résistivité à } 0^\circ\text{C}$$

Pour les métaux: $\alpha \approx 4 \times 10^{-3} / ^\circ\text{C}$ (4,5 pour W; 5 pour Fe)

Pour le graphite: $\alpha \approx -3 \times 10^{-4} / ^\circ\text{C}$

d) Supraconductivité

La résistivité de nombreux métaux et alliages tombe brutalement à zéro quand ils sont refroidis à une température très basse, proche du zéro absolu.

L'application la plus courante est la réalisation d'électro-aimants supraconducteurs produisant des champs magnétiques de plusieurs teslas (jusqu'à 10 T).

On les utilise, par exemple, dans le domaine de **l'imagerie médicale** et des **accélérateurs de particules**.

e) Les thermistors

Ce sont des composants électroniques dont la résistance augmente ou diminue fortement quand la température augmente.

- Stabilisation de la température de certains appareils chauffants (plaques de cuisinières, percolateurs, machines à laver...).
- Mesure des températures.



9. L'effet Joule

a) Définition

Effet Joule: dissipation de chaleur dans un conducteur parcouru par un courant électrique.

b) Formules

Soit un résistor de résistance R , soumis à une différence de potentiel U , parcouru par un courant d'intensité I , produisant une quantité de chaleur Q , avec une puissance P , pendant un temps t .

On a: $U = RI$ $P = UI$ $Q = P t$

Donc aussi:

$$P = R I^2$$

$$P = U^2 / R$$

$$Q = R I^2 t$$

$$Q = U^2 t / R$$

c) Applications utiles

- Appareils destinés à produire de la chaleur
 - Cuisinière, lessiveuse, sèche-cheveux, grille-pain, four, fer à souder, fer à repasser, radiateur, percolateur.....
 - Les appareils de chauffage sont, dans une maison, les plus gros consommateurs d'énergie électrique.
 - Ces appareils sont d'autant plus puissants que leur résistance électrique est faible. ($P = U^2/R$)
- Ampoules à incandescence
 - Le filament d'une ampoule émet une lumière blanche parce qu'il est porté à une température très élevée (2.500 °C ou plus). Il est en tungstène (température de fusion ± 3.400 °C).
 - L'ampoule est remplie d'argon, qui empêche la combustion du filament par l'oxygène.
 - Le filament s'amincit lentement par sublimation. La durée de fonctionnement de l'ampoule est d'environ 1000 h.
 - Le rendement lumineux des ampoules à incandescence est faible, il ne dépasse pas 5%.

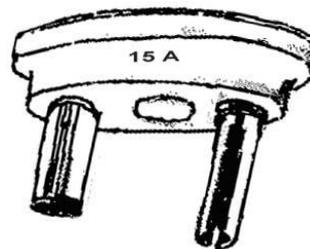


Élément chauffant d'un fer à repasser de 800 W

- Fusible
 - C'est un coupe-circuit destiné à protéger un appareil ou une installation électrique.
Placé en série dans le circuit, il interrompt le passage du courant quand celui-ci dépasse l'intensité maximale permise (indiquée sur le fusible).
 - Il comporte fil ou d'une lamelle métallique qui fond quand l'intensité dépasse la valeur prescrite. Il doit alors être remplacé.



Fusible de protection
d'un appareil
électrique
(± 3cm de long)



Fusible de protection
d'une installation
électrique domestique

d) Effets indésirables

- Tous les appareils électriques non calorifiques sont victimes de l'effet Joule. (Moteurs, télévision, ordinateur, transformateur,...)

L'effet Joule réduit le rendement de ces appareils et impose parfois qu'ils soient protégés contre une élévation néfaste de température. (Ventilation, aération...)



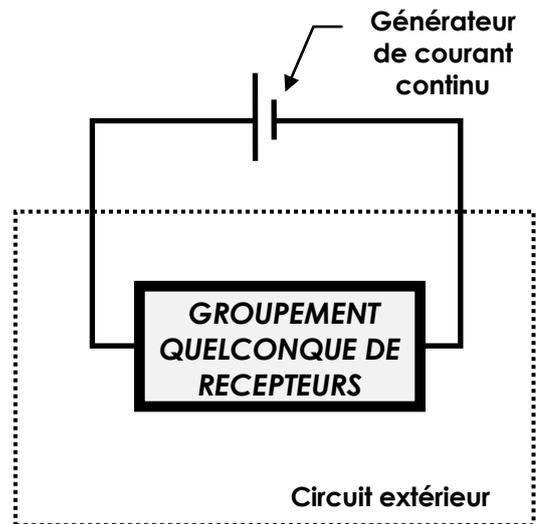
Ventilateur d'ordinateur

- Les fils d'une installation électrique s'échauffent.
Il faut leur donner un diamètre suffisant pour limiter l'élévation de température.
Des normes légales sont imposées.
- Le transport de l'électricité de longues distances produit des pertes d'énergie par effet Joule.
Ces pertes peuvent être réduites en employant des lignes à haute tension.
En effet, la relation $P=UI$ indique qu'à puissance égale, l'intensité est d'autant plus faible que la tension utilisée est élevée.
- L'effet Joule peut produire des brûlures graves chez les personnes victimes d'un accident électrique.

10. Les générateurs

a) Introduction

Un générateur fournit un courant électrique et donc de l'énergie électrique au circuit extérieur sur lequel il est branché.

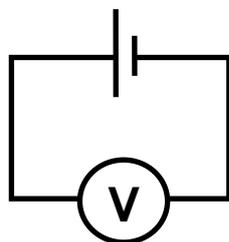


b) Force électromotrice

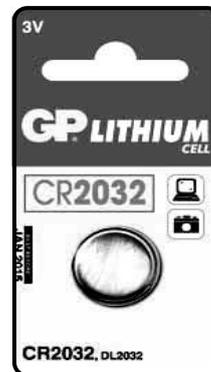
- La force électromotrice (\mathcal{E}) d'un générateur est la différence de potentiel électrique entre ses bornes en **circuit ouvert**, c'est-à-dire lorsqu'il ne produit aucun courant. Elle se mesure en **volts**.



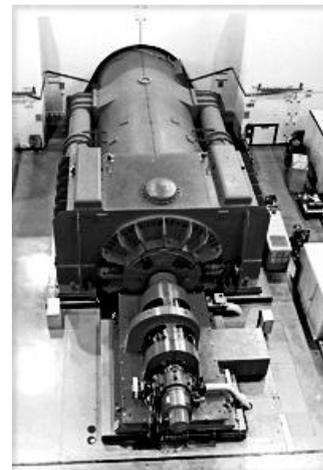
Accumulateur de voiture
Force électromotrice : 12V



Mesure de la force électromotrice d'un générateur



Pile bouton au lithium dans son emballage.
Force électromotrice : 3V



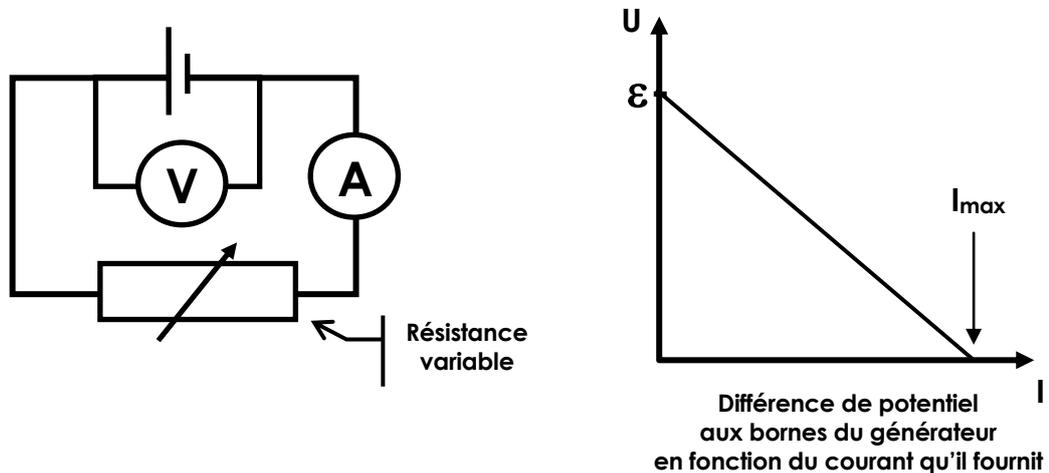
Alternateur d'une centrale électrique
Force électromotrice alternative: ≈ 20 kV

- Dans le langage courant on utilise fréquemment le terme "**voltage**" au lieu de force électromotrice.

c) Résistance interne

▪ Mesures

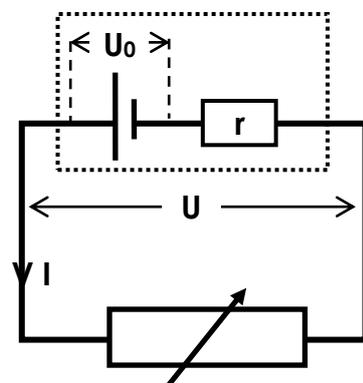
- Le montage ci-dessous permet de mesurer la tension électrique entre les bornes d'un générateur (par exemple, une pile) pour différentes intensités du courant dans le circuit extérieur



- Lorsque l'intensité du courant est nulle la différence de potentiel mesurée est la force électromotrice \mathcal{E} du générateur.
- Quand on diminue progressivement la résistance du circuit extérieur, l'intensité augmente. La différence de potentiel aux bornes du générateur diminue alors de façon linéaire.
- Quand le générateur est « court-circuité » par un simple fil électrique, la différence de potentiel est quasi-nulle. L'intensité est alors maximale (I_{\max})

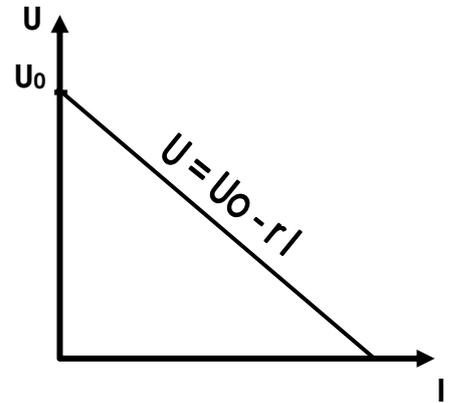
▪ Théorie

- Ci-contre un circuit comportant un générateur fournissant une différence de potentiel U_0 fixe, associé à une résistance r placée en série. L'ensemble fournit un courant I à un circuit extérieur de résistance variable.
- La différence de potentiel U aux bornes de l'ensemble vaut (loi d'Ohm):



$$U = U_0 - r I$$

- Le graphique de la différence de potentiel U en fonction de l'intensité I est identique à celui, obtenu expérimentalement avec un générateur



- **Conclusion** : la diminution de la différence de potentiel aux bornes d'un générateur quand le courant qu'il fournit augmente est due à sa propre résistance, qui se manifeste lorsque le courant le traverse.

Cette résistance est sa **résistance interne** r .

Donc :
$$U = \mathcal{E} - r I$$

d) Formules

- Un générateur est caractérisé par:

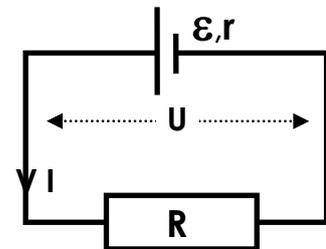
- sa force électromotrice \mathcal{E} (en volts)
- sa résistance interne r (en ohms)

$$\mathcal{E} = U + r I$$

- Si le circuit extérieur est un résistor ou une association de résistors de résistance R .

$$U = R I$$

$$\mathcal{E} = (R + r) I$$



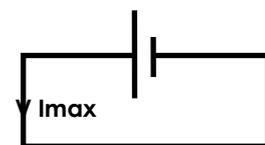
- En multipliant par I on obtient des **puissances**

$$\mathcal{E} I = U I + r I^2$$

- $\mathcal{E} I$: **puissance totale** produite par le générateur
- $U I$: puissance fournie au **circuit extérieur**
- $r I^2$: puissance perdue dans le générateur sous forme de **chaleur**

- Court-circuit

- Si on relie les deux bornes d'un générateur par un simple fil conducteur la résistance du circuit extérieur et donc la tension aux bornes du générateur sont pratiquement nulles.



Générateur court-circuité

Le courant fourni est alors maximal. $I_{\max} = \mathcal{E} / r$

- Le court-circuitage de certains générateurs de faible résistance interne (dynamo, batterie), produit un courant de très forte intensité qui peut les détériorer rapidement.

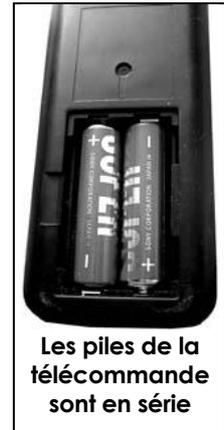
e) Quelques chiffres

- La résistance d'une pile est de l'ordre de 1 à quelques Ω .
- La résistance d'une batterie est très faible ($\approx 0,01\Omega$)

f) Association de générateurs

• En série

- De nombreux appareils fonctionnent avec plusieurs piles. Celles-ci sont généralement placées en série, la borne positive de l'une étant reliée à la borne négative de la suivante.
- Les forces électromotrices s'additionnent.
- Les résistances internes, placées en série, s'additionnent.
- Le groupement de générateurs ci-dessous est équivalent à un générateur unique:

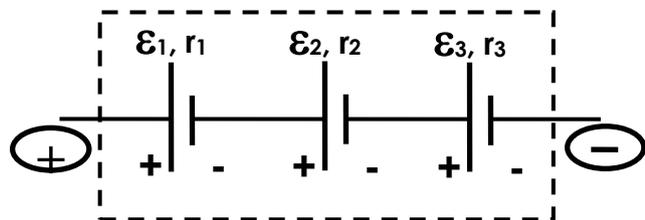


- de force électromotrice:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$$

- de résistance interne:

$$r = r_1 + r_2 + r_3$$



• En opposition

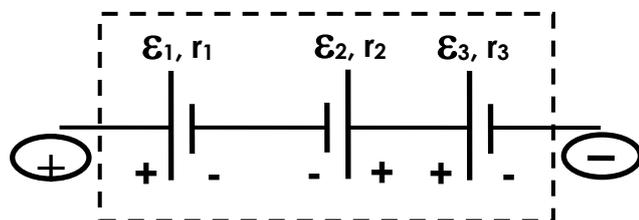
- Si on "retourne" un des trois générateurs ci-dessus, il est alors placé en opposition, sa force électromotrice se soustrait de celle des autres.
- Le groupement de générateurs ci-dessous est équivalent à un générateur unique:

- de force électromotrice:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3$$

- de résistance interne:

$$r = r_1 + r_2 + r_3$$



- La position des bornes + et - du groupement dépend des forces électromotrices en présence (ici $\mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_3 > \mathcal{E}_2$).
- Deux générateurs identiques placés en opposition ont une force électromotrice résultante nulle.

- **En parallèle**

- Des générateurs sont groupés en parallèle lorsque sont reliés entre eux, d'une part, tous les pôles positifs et, d'autre part, tous les pôles négatifs.
- On ne groupe, en parallèle, que des générateurs de même force électromotrice.
- La force électromotrice du groupement est la même que celle des générateurs.
- Les résistances internes sont en parallèle.
La résistance interne d'un groupement de générateurs identiques est égale à la résistance interne de chaque générateur divisée par le nombre de générateurs.

- Le groupement de générateurs ci-contre est équivalent à un générateur unique:

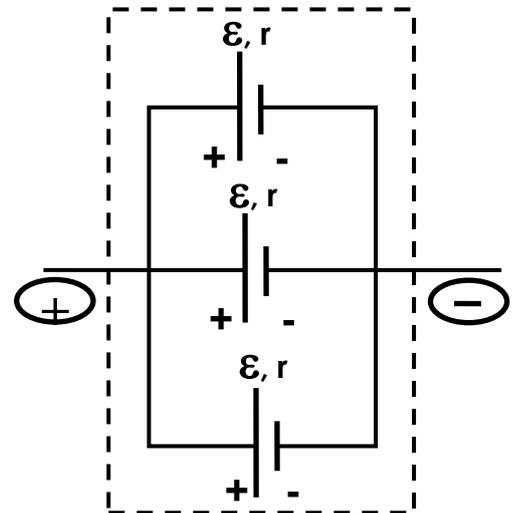
➤ de force électromotrice:

$$\boxed{\varepsilon}$$

➤ de résistance interne:

$$\boxed{r/3}$$

- Ce groupement peut fournir des intensités plus élevées qu'un générateur unique.
Dans le cas de piles ou d'accumulateurs il multiplie la durée de fonctionnement.



Les panneaux photovoltaïques sont souvent montés en parallèle

Question

Pourquoi des générateurs montés en parallèles doivent-ils avoir la même force électromotrice ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

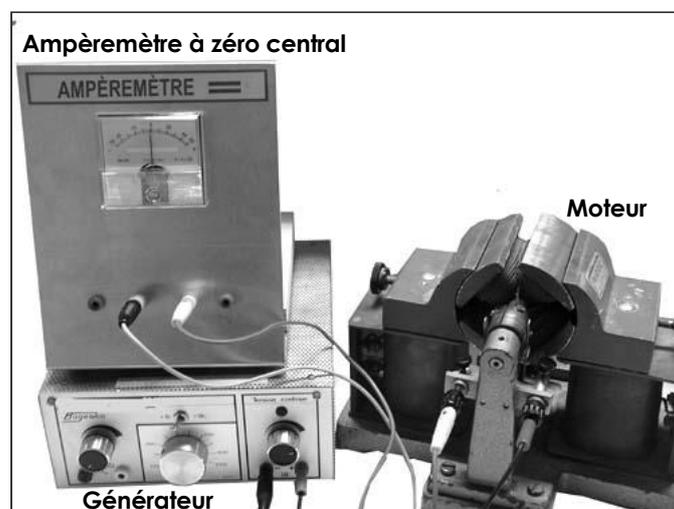
11. Les récepteurs non calorifiques

a) Introduction

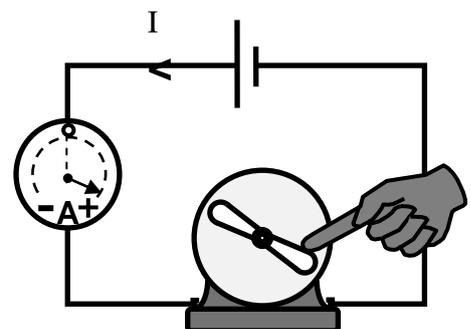
- Un récepteur non calorifique est un récepteur qui produit, à partir de l'énergie électrique, de l'énergie autre que l'énergie calorifique.
 - Une cuve électrolytique, un accumulateur que l'on recharge, produisent de l'**énergie chimique**.
 - Un moteur électrique produit de l'**énergie mécanique**.
 - Un transformateur produit de l'**énergie électrique**.
- Ces récepteurs subissent aussi l'effet Joule, ils s'échauffent et une partie de l'énergie électrique est perdue sous forme de chaleur à cause de leur **résistance interne (r')**.

b) Le moteur électrique

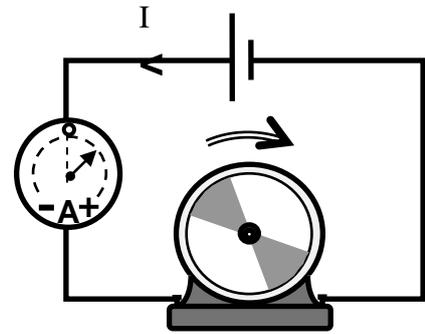
• Expériences



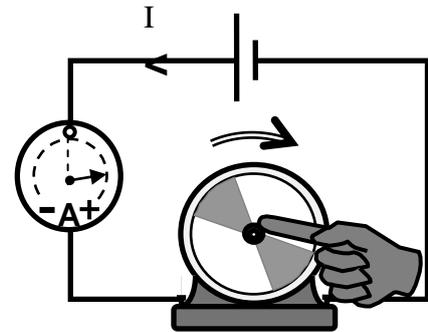
- On branche le moteur au générateur et on l'empêche de tourner.
Le moteur se comporte alors comme un simple résistor dont la résistance est la résistance interne du moteur. (r')
On note l'intensité du courant.



- On laisse tourner le moteur.
L'intensité du courant diminue.



- On laisse tourner le moteur en le freinant pour le ralentir.
L'intensité du courant augmente en restant inférieure à la première valeur.
Plus le moteur tourne vite, plus l'intensité est faible.



• Conclusion

En tournant, le moteur se comporte comme un générateur placé en opposition dans le circuit.

Le moteur en fonctionnement produit donc une **force électromotrice** qui s'oppose à celle du générateur qui l'alimente.

On l'appelle, pour cette raison, « **force contre-électromotrice** ». On la note \mathcal{E}' .

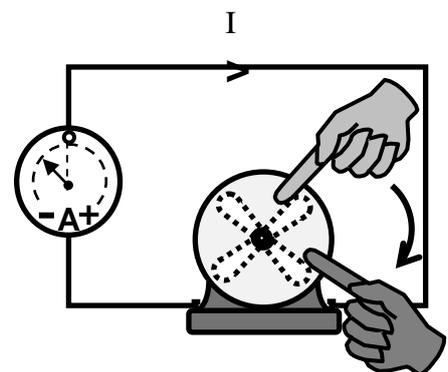
Plus le moteur tourne vite et plus la force contre-électromotrice produite est grande.

• La preuve !

On débranche le générateur et on branche le moteur directement à l'ampèremètre.

On le fait tourner à la main **dans le même sens** que celui qu'il avait quand il était branché au générateur.

Il produit un courant **de sens inverse** à celui qui l'alimentait précédemment.

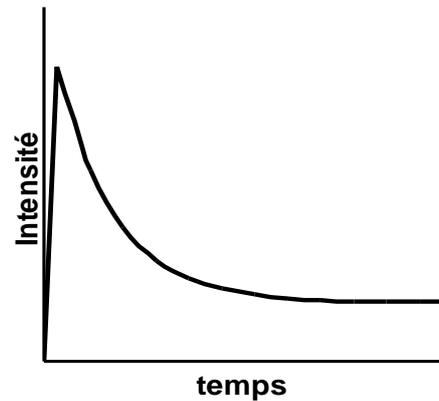


Remarquons, en passant, que le moteur est **réversible**.

- Quand on l'alimente en électricité, il reçoit de l'énergie électrique.
Il tourne et fournit de l'énergie mécanique.
- Quand on le fait tourner à la main, il reçoit de l'énergie mécanique.
Il se comporte comme une dynamo et fournit de l'énergie électrique.

- **Conséquences**

- A l'instant de la mise en marche d'un moteur, celui-ci, ne tournant pas encore, **ne produit pas de force contre-électromotrice**. Il subit donc, pendant un court instant, un pic d'intensité. Ensuite l'intensité diminue rapidement pour se stabiliser quand le moteur tourne à vitesse constante.



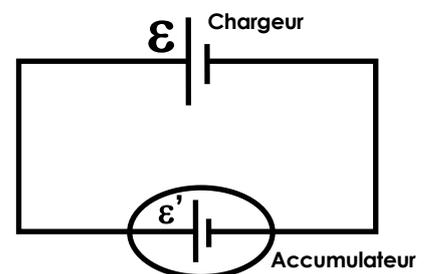
Intensité du courant dans un moteur, au démarrage

- A tension d'alimentation constante, **un moteur consomme d'autant moins qu'il tourne rapidement**. En effet plus sa vitesse est grande, plus la force contre-électromotrice est grande et diminue l'intensité du courant.
- La consommation d'un moteur est maximale quand on il est empêché de tourner car, alors, sa force contre-électromotrice est nulle. Son échauffement par effet Joule est alors maximal.

c) Un autre exemple

Pour recharger un accumulateur, on branche ses bornes aux bornes de mêmes noms du chargeur.

- La borne + du chargeur avec la borne + de l'accumulateur
- La borne - du chargeur avec la borne - de l'accumulateur



L'accumulateur est donc placé en opposition par rapport au chargeur.

Dès que la charge a commencé, il produit, comme c'est son rôle, une force électromotrice qui, dans ce montage, est une force contre-électromotrice.



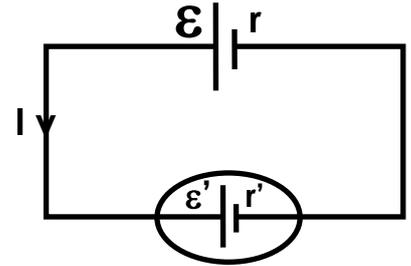
Chargeur de téléphone portable



Chargeur de batterie d'automobile

d) Formules

- Un récepteur non calorifique, quand il est branché est caractérisé par:
 - sa résistance interne r' (en ohms)
 - une force contre-électromotrice \mathcal{E}' (en volts)
- En appliquant la règle d'association de générateurs, on a :



$$\mathcal{E} - \mathcal{E}' = (r + r') I$$

- En multipliant par I on obtient des **puissances**

$$\mathcal{E} I = r I^2 + r' I^2 + \mathcal{E}' I$$

- $\mathcal{E} I$: **puissance totale** produite par le générateur
 - $r I^2$: puissance perdue dans le générateur sous forme de **chaleur**
 - $r' I^2$: puissance perdue dans le récepteur non-calorifique sous forme de **chaleur**
 - $\mathcal{E}' I$: **puissance** produite par le récepteur non calorifique sous forme utile (autre que la chaleur).
-



La *Jamais Contente* a été le premier véhicule automobile à franchir, en 1899, le cap des 100 km/h. C'était une voiture à moteur électrique.