

Électrocinétique

Le courant électrique I

Le **courant électrique I** mesure le débit de charge électrique, soit la charge Δq qui passe pendant l'intervalle de temps Δt au travers d'une surface.

Ce **courant électrique** est donc défini par :

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \text{Unité : l'Ampère avec } 1[A] = 1\left[\frac{C}{s}\right].$$

La surface au travers de laquelle cette charge passe est généralement la section d'un fil conducteur, mais pas forcément, citons comme contre-exemple, l'éclair, où la charge passe à travers l'air.

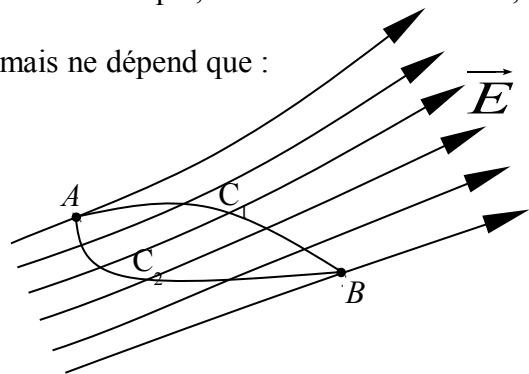
La tension électrique et la différence de potentiel électrique U :

Étudions le travail nécessaire pour déplacer une charge positive d'un point A à un point B , dans un champ électrique. Puisque la charge se trouve dans un champ électrique, elle subit une force, qui travaille lors du déplacement de la charge.

Plusieurs chemins sont possibles pour aller de A à B . Par exemple, sur le dessin ci-dessous, deux chemins C_1 et C_2 ont été dessinés.

On a vérifié que le travail ne dépend pas du chemin, mais ne dépend que :

- du champ électrique
- de la charge
- du point de départ A
- du point d'arrivée B



De plus, le travail est proportionnel à la charge.

On peut donc définir le **travail par unité de charge** nécessaire pour déplacer une charge du point A au point B dans un champ électrique.

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \quad \text{où } W_{AB} = \text{le travail pour déplacer une charge "q" de } A \text{ à } B.$$

L'unité est le **volt**, avec $1[V] = 1\left[\frac{J}{C}\right]$.

Cette grandeur U_{AB} s'appelle la **tension** entre A et B , ou la **différence de potentiel** entre A et B .

Souvent on note simplement U la tension, sans rappeler les points A et B .

Exemples :

- Une pile de 1,5 [V] possède une tension de 1,5 [V] entre ses deux bornes.
- Entre les deux bornes d'une prise électrique en Europe, il y a une tension moyenne de 230 [V]. La troisième borne de nos prises électriques n'est qu'une sécurité non utilisée par le courant électrique.
- Une tension de 230 [V] signifie qu'une énergie de 230 [J] est libérée pour chaque Coulomb qui circule de la borne positive à la borne négative.

Réf. : <http://www.worldstandards.eu/electricite.htm>

Attention :

Ne confondez par l'**énergie potentielle** d'une masse dans un champ de gravitation et la **différence de potentiel** due à un champ électrique. La première se mesure en *Joules*, la seconde en *Volts*.

La puissance électrique :

La puissance se définit par la quantité d'énergie délivrée par unité de temps :

$$P = \frac{W_{AB}}{\Delta t} = \frac{W_{AB}}{q} \cdot \frac{q}{\Delta t} = U_{AB} \cdot I$$

La puissance électrique fournie par une tension U et un courant I se définit donc par :

$$\boxed{P = U \cdot I}$$

L'unité de la puissance reste celle que nous avons déjà vue en deuxième année.

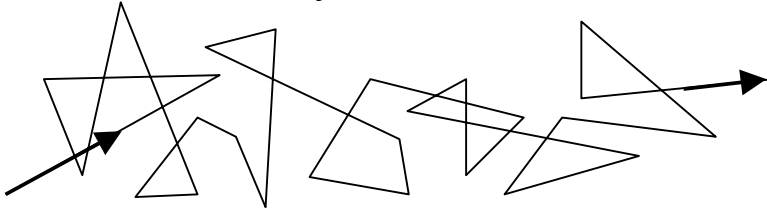
C'est le **Watt** : $1 [W] = 1 [V \cdot A] = 1 [J / s]$.

La résistance R :

Lorsque des électrons se déplacent à travers de la matière (que celle-ci soit solide, liquide ou gazeuse), ils vont fréquemment s'entrechoquer avec le nuage électronique entourant les atomes de cette matière. Ces chocs ont deux conséquences :

L'énergie de vibration des atomes heurtés augmente, ce qui se traduit à notre échelle par une élévation de la température de la matière.

Les électrons ne suivent pas une trajectoire rectiligne, mais ils rebondissent sur des atomes, selon un parcours très chaotique, qui dépend uniquement de la position des atomes qui se trouvent sur leur chemin, ci-dessous la trajectoire d'un électron libre circulant dans la matière :



Lorsque l'on étudie le mouvement d'un grand nombre d'électrons (rappel : $1 [mA]$ représente environ 6,24 millions de milliards d'électrons par seconde), on préfère simplifier le problème en imaginant un mouvement uniforme d'électrons dans un milieu où ils subissent un certain frottement, comme des petites boules se déplaçant dans un milieu visqueux.

Ce frottement apparent des électrons se désigne à notre échelle par le terme de résistance.

On dit couramment qu'une certaine résistance s'oppose au passage du courant.

L'unité de la résistance est l'Ohm [Ω].

La loi d'Ohm :

Lorsque l'on applique une tension U_{AB} aux bornes A et B d'un conducteur, un courant I circule. Le rapport entre la tension U_{AB} et le courant I est précisément défini par la résistance R du conducteur, selon la loi d'Ohm :

$$\boxed{U = R \cdot I} \quad (\text{CRM p.142})$$

Et les unités : $1 [V] = 1 [\Omega] \cdot 1 [A]$

La loi de Pouillet :

Dans un fil conducteur, cette résistance va dépendre de trois facteurs :

La **résistivité** ρ [$\Omega \cdot m$] qui dépend uniquement de la matière du fil.

Cette résistivité se trouve répertoriée, pour les conducteurs les plus courants, dans le tableau des pages 162 à 169, colonne 8, de la table CRM.

La **longueur** du fil L [m].

La **surface** de la section S [m^2].

La résistance est alors définie par la loi de Pouillet:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \quad (\text{CRM p. 142})$$

Loi de Joule (ou Effet Joule) :

Le passage d'un courant dans une résistance est, au niveau microscopique, un flux d'électrons à travers un réseau d'atomes. Ces électrons percutent inévitablement et fréquemment les atomes. Puisqu'ils ralentissent lors du choc, les électrons perdent de la vitesse, alors que les atomes percutés, voient leur énergie de vibration augmenter. Une partie de l'énergie cinétique des électrons est cédée aux atomes qui la stockent sous forme d'énergie de vibration

A notre échelle, cela se traduit par une augmentation de l'agitation thermique de la matière, le courant provoque donc un échauffement de la matière qu'il traverse.

Ce phénomène, connu sous le nom d'effet Joule, est omniprésent dans toute résistance traversée par un courant. Si cette résistance a pour but de chauffer (radiateur électrique, sèche-cheveux, grille-pain, etc.), c'est l'effet Joule qui générera la chaleur recherchée. Par contre, dans tout dispositif électrique dont le but n'est pas de chauffer, l'effet Joule générera malgré tout un dégagement de chaleur indésirable, et sera par conséquent provocateur de pertes! C'est pour cela que tous les appareils électriques chauffent quand ils sont utilisés (ampoule, walkman, télévision, natel, etc.).

L'énergie thermique $W_{\text{électrique}}$ dégagée par une résistance R parcourue par un courant I est définie par :

$$W_{\text{électrique}} = P_{\text{électrique}} \cdot t = U \cdot I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t \quad (\text{CRM p. 143})$$

Les circuits électriques :

Un **circuit électrique** est un assemblage de divers éléments, parmi les suivants :

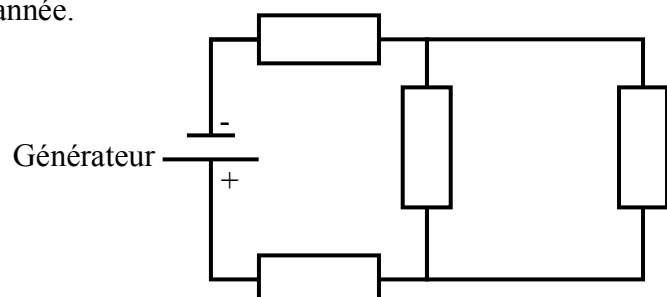
- Un générateur, qui fournit une tension.
- Des fils électriques, de résistances nulles.
- Des résistances.
- Des condensateurs.
- Des selfs.

Remarques :

- Cette année nous ne verrons pas ce que sont les condensateurs, ni les selfs.
- Un **circuit électronique** contient en plus des transistors et/ou des circuits intégrés. Nous ne verrons pas de circuit électronique cette année.

Voici un exemple de circuit électrique.

Il y a un générateur, des fils électriques et quatre résistances.



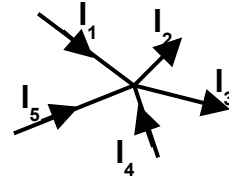
Les lois de Kirchhoff :

La loi de Kirchhoff pour les **courants** s'énonce comme suit : (CRM p.143)

En un **nœud** d'un circuit électrique, la somme (algébrique) des courants électriques qui arrivent au nœud est égale à la somme des courants qui en sortent.

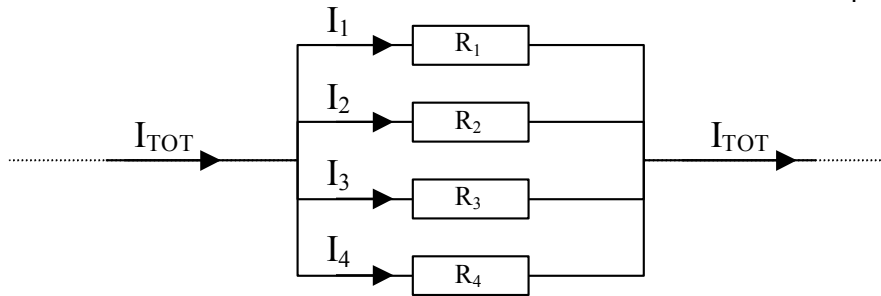
Ce qui s'énonce ainsi :

$$\text{En un nœud : } I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$$



$$\begin{aligned} I_1, I_4, I_5 &> 0 \\ I_2, I_3 &< 0 \end{aligned}$$

Exemple pour quatre résistances en parallèle :



La loi de Kirchhoff pour les courants permet de dire que : $I_{TOT} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4$

Remarque : Comme les fils sont de résistance nuls, la **tension** est la même aux bornes des quatre résistances !

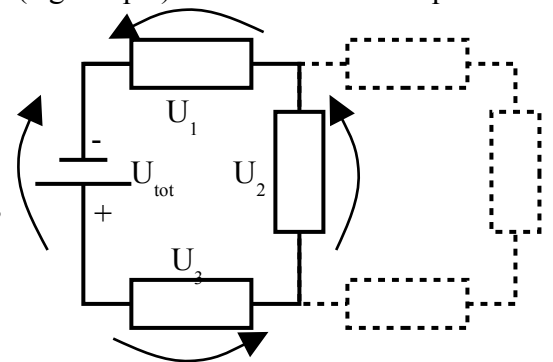
La loi de Kirchhoff pour les **tensions** s'énonce comme suit : (CRM p.143)

Le long de toute boucle fermée d'un circuit électrique, la somme (algébrique) des tensions électriques est nulle.

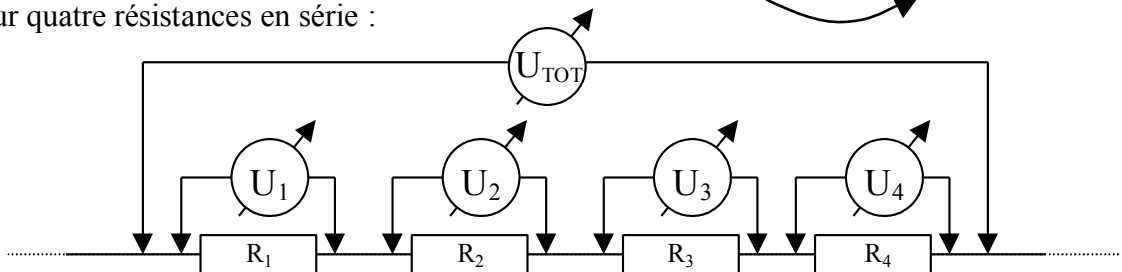
Ceci s'énonce ainsi :

$$\text{En une boucle : } U_1 + U_2 + U_3 = 0$$

Remarque : Le long d'une boucle fermée, le signe des tensions dépend du sens de parcours dans la boucle



Exemple pour quatre résistances en série :

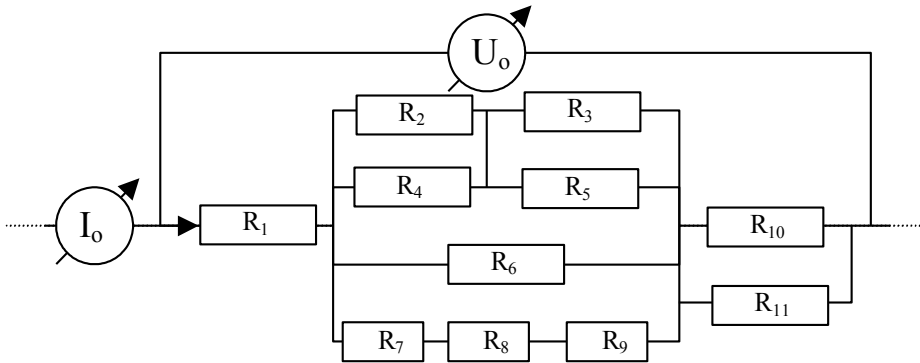


La loi de Kirchhoff pour les tensions permet de dire que : $U_{TOT} = U_1 + U_2 + U_3 + U_4$

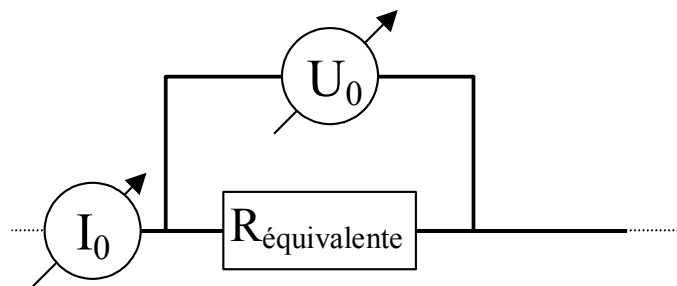
Remarque : Le **courant** qui traverse les quatre résistances est toujours le même. C'est une conséquence de la loi de Kirchhoff pour les courants.

La résistance équivalente : (CRM p. 143)

Un circuit contenant plusieurs résistances branchées en série, en parallèle ou une quelconque combinaison des deux, peut être remplacé par un circuit ne contenant qu'une seule résistance qui aurait un comportement équivalent . Par exemple, l'élément de circuit suivant:



a le même comportement électrique qu'une résistance, dite 'équivalente', qui offrirait la même résistance totale. On peut alors simplifier l'élément de circuit en le remplaçant par cette résistance

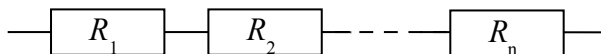


équivalente de la façon suivante :

Pour trouver la valeur de cette résistance équivalente, il faut tenir compte des lois suivantes, qui sont des conséquences des lois de Kirchhoff :

Pour n résistances branchées en **série**, la résistance équivalente $R_{\text{équivalent}}$ se détermine ainsi :

$$R_{\text{équivalente}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

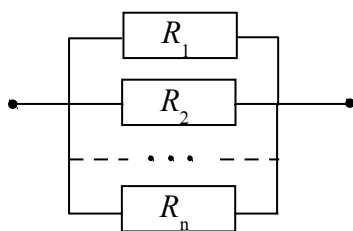


Équivalent à :

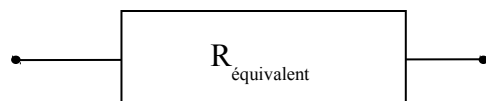


Pour n résistances branchées en **parallèle**, la résistance équivalente $R_{\text{équivalent}}$ se détermine ainsi :

$$\frac{1}{R_{\text{équivalente}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$



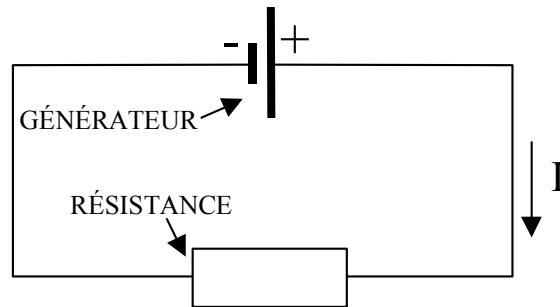
équivalent à :



Annexe

Le circuit simple :

Nous allons brièvement étudier ici un circuit formé uniquement d'un générateur et d'une résistance :



Le courant I sort de la borne positive du générateur, traverse la résistance (on verra par la suite que c'est à ce moment que l'énergie électrique est consommée), puis rentre dans le générateur par la borne négative.

La différence de potentiel entre les deux bornes de la résistance, c'est-à-dire la tension U , représente le travail par unité de charge qui traverse la résistance.

Comment utiliser le multimètre pour mesurer un courant ou une tension ?

A) Multimètre utilisé comme **ampèremètre** :

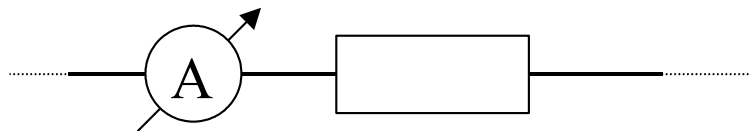
On veut mesurer le courant qui traverse la résistance.

Le cadran mobile du multimètre doit être fixé sur une des positions " $A \overline{\text{---}}$ " si le courant à mesurer est continu, " $A \sim$ " si le courant est alternatif.

Un fil doit être relié à la borne "COM" et l'autre à la borne "A" (ou "10A" selon l'échelle).

Tout le courant qui traverse la résistance doit aussi traverser l'ampèremètre pour pouvoir être mesuré.

On branche donc l'ampèremètre en série, ce qui veut dire qu'il est branché à la suite de la résistance (ou juste avant ce qui est équivalent) selon le schéma suivant :



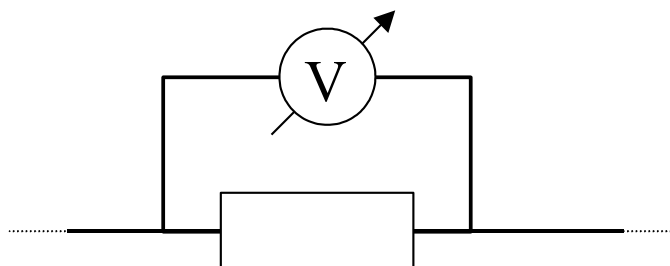
B) Multimètre utilisé comme **voltmètre** :

On veut mesurer la tension aux bornes de la résistance.

Le cadran mobile du multimètre doit être fixé sur une des positions " $U \overline{\text{---}}$ " si la tension à mesurer est continue, " $U \sim$ " si la tension est alternative.

Un fil doit être relié à la borne "COM" et l'autre à la borne "V".

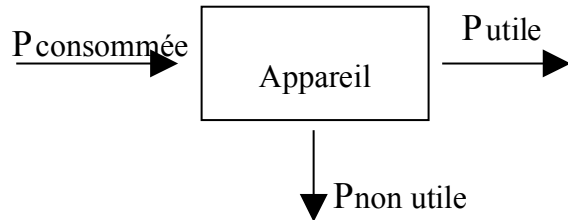
Le voltmètre doit pouvoir comparer la différence entre le potentiel à l'entrée et à la sortie de la résistance. Pour cela, on le branche en **parallèle**, ce qui signifie qu'une borne du voltmètre est connectée à l'entrée de la résistance et l'autre à la sortie, selon le schéma suivant :



Supplément d'information :

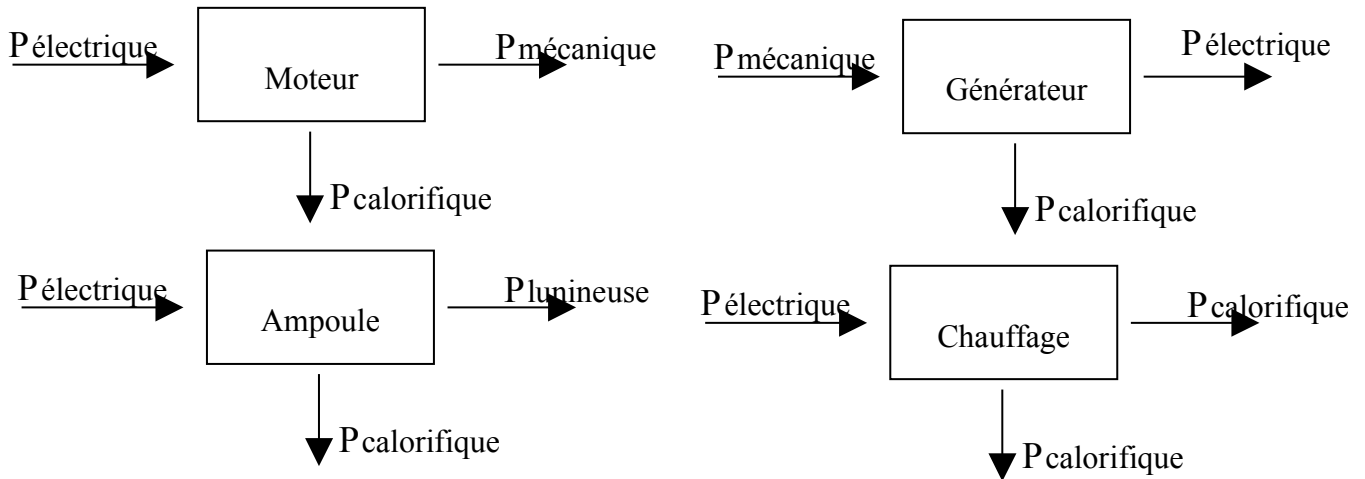
Le rendement : $\eta = \frac{P_{utile}}{P_{consommée}} = \frac{E_{utile}}{E_{consommée}}$

P = la puissance
E = l'énergie.



On a toujours : $P_{consommée} = P_{utile} + P_{non\ utile}$ et $E_{consommée} = E_{utile} + E_{non\ utile}$

Voici pour des appareils particuliers la signification des trois puissances :



Conversions principales d'unités :

$$3,6 \left[\frac{km}{h} \right] = 1 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$4,186 [J] = 1 [Calorie]$$

$$3,6 \cdot 10^6 [J] = 1 [kWh]$$

Préfixes à connaître :

kilo = 10^3

méga = 10^6

giga = 10^9

mili = 10^{-3}

micro = 10^{-6}

nano = 10^{-9}

Exemple d'utilisation de quelques règles de trois : "≡" signifie ici "correspond à"

1 électron ≡ $0,911 \cdot 10^{-30}$ [kg]

x électrons ≡ $0,500 \cdot 10^{-12}$ [kg] donc $x = \frac{0,5 \cdot 10^{-12}}{0,911 \cdot 10^{-30}} = 5,49 \cdot 10^{17}$

pour un électron :

$1,602 \cdot 10^{-19}$ [C] ≡ $0,911 \cdot 10^{-30}$ [kg]

10^{-6} [C] ≡ x [kg] donc $x = \frac{10^{-6} \cdot 0,911 \cdot 10^{-30}}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 5,69 \cdot 10^{-18}$

1 mole de fer ≡ 55,8 [g]

x moles de fer ≡ 3,00 [g] donc $x = \frac{3,00}{55,6} = 0,0538$

1 mole ≡ $6,022 \cdot 10^{23}$ atomes

0,27 moles ≡ x atomes donc $x = 0,27 \cdot 6,022 \cdot 10^{23} = 1,63 \cdot 10^{23}$

Résumé des grandeurs et des formules physiques que vous avez étudiées.

La Grandeur	le symbole usuel	[l'unité du S.I.]	le nom de l'unité.	les formules
Le temps, la durée	t ou Δt	[s]	la seconde	$\Delta t = t_2 - t_1$
La position	x	[m]	le mètre	$x_2 = x_1 + v_1 \cdot (t_2 - t_1) + 0,5 \cdot a \cdot (t_2 - t_1)^2$ abrégé en : $\Delta x = v_1 \cdot \Delta t + 0,5 \cdot a \cdot (\Delta t)^2$
La distance	d ou Δx	[m]	le mètre	$\Delta x = x_2 - x_1$
La vitesse	v	[m/s]	le mètre par seconde	$v = d / t$ ou $v = (x_2 - x_1) / (t_2 - t_1)$ formule de Torricelli : $v_2^2 = v_1^2 + 2 \cdot a \cdot \Delta x$
L'accélération	a	[m/s ²]	le mètre par seconde au carré	$a = (v_2 - v_1) / (t_2 - t_1)$ donc $v_2 = v_1 + a \cdot (t_2 - t_1)$
La masse	m	[kg]	le kilogramme	
L'accélération de la pesanteur	g	[m/s ²]	le mètre par seconde au carré	L'accélération de la pesanteur à la surface de la Terre = $g = 9,81$ [m/s ²]
La force	F	[N]	le Newton	$F = m \cdot a$; $F = m \cdot g$; $F_{\text{Gravitation}} = G \cdot (m_1 \cdot m_2) / d^2$ ou $G = 6,67 \cdot 10^{-11}$ [N · m ² / kg ²] = la constante de la gravitation universelle $F_{\text{électrique}} = k \cdot q_1 \cdot q_2 / d^2$; $k = 9 \cdot 10^9$ [N · m ² / C ²]
L'énergie cinétique, potentielle, mécanique	E	[J]	le Joule	$E_{\text{cinétique}} = 0,5 \cdot m \cdot v^2$ $E_{\text{potentielle}} = m \cdot g \cdot h$ $E_{\text{mécanique}} = E_{\text{cinétique}} + E_{\text{potentielle}}$
La puissance	P	[W]	le Watt	$P = \Delta E / \Delta t$
La température	T	[K]	le Kelvin	La variation de volume d'un liquide est proportionnelle à la variation de température. La variation de longueur d'une tige est proportionnelle à la variation de température. Conversion : x [°C] = $x + 273,15$ [K] [°C] est l'unité du degré centigrade appelé aussi degré Celsius.
La chaleur	Q	[J]	le Joule	$Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ c = la chaleur massique
La chaleur latente de fusion	L_f	[J/kg]	le Joule par kilogramme	$Q = m \cdot L_f$ Elle représente la quantité d'énergie qu'il faut fournir pour faire passer un corps : de solide à liquide. Par exemple, il faut $3,3 \cdot 10^5$ Joules pour faire fondre un kilogramme de glace (= eau solide).
La chaleur latente de vaporisation	L_v	[J/kg]	le Joule par kilogramme	$Q = m \cdot L_v$ Elle représente la quantité d'énergie qu'il faut fournir pour faire passer un corps de liquide à gazeux. Par exemple, il faut $23 \cdot 10^5$ Joules pour transformer un kilogramme d'eau en vapeur d'eau.
Le rendement	η	"êta"	pas d'unités. Exprimé en %.	$\eta = P_{\text{utile}} / P_{\text{consommée}} = E_{\text{utile}} / E_{\text{consommée}}$
La pression	P	[N/m ²]	le Newton par mètre carré	$P = F / S$ S = la surface. $P = \rho \cdot g \cdot h$ où ρ = la masse volumique du liquide et h = la hauteur de liquide.
La quantité de matière	?	[mol]	la mole	Une mole correspond à $6,022 \cdot 10^{23}$ particules.
La charge électrique	q	[C]	le Coulomb	La charge élémentaire = $e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ [C] Charge d'un électron = -e
L'intensité du courant électrique	I	[A]	l'Ampère	$I = \Delta q / \Delta t$
La tension électrique	U	[V]	le Volt	$U = \Delta E / q$
La résistance électrique	R	[Ω]	l'Ohm	$R = U / I$ La loi de Pouillet : $R = \rho \cdot L / S$ L = longueur, S = section, ρ = la résistivité électrique [$\Omega \cdot m$] En série : $R_{\text{équivalent}} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ En parallèle : $R_{\text{équivalent}} = 1 / (1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n)$
La puissance électrique	P	[W]	le Watt	$P = U \cdot I$
L'énergie électrique	E	[J]	le Joule	$\Delta E = P \cdot \Delta t$
Le champ magnétique	B	[T]	le Tesla	à venir ...