

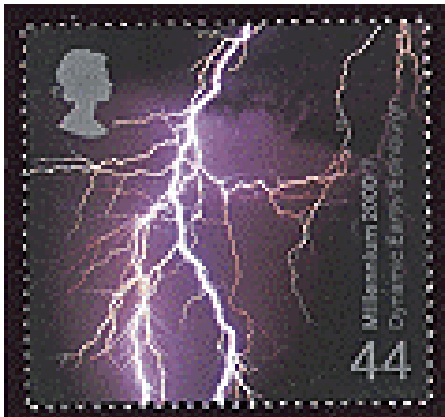
Électricité

- Électricité: du grec **elektron** qui veut dire **ambre**.
- **Thales de Milet**, philosophe et mathématicien grec (-625? -546?)
- Il découvrit l'électricité statique en frottant de l'ambre et de la fourrure.



Foudre

- Première manifestation de l'énergie électrique.
- Cerf-volant de **B. Franklin**, esprit universel américain, 1706-1790.
- Paratonnerre inventé par Prokop **Divis** (tchèque, 1698-1765).



Systeme d'unités

- Systeme International d'unités se veut cohérent et universel.
- Unités de base: mètre (m), seconde (s), kilogramme (kg), kelvin (K), mole (mol), candela (cd), **ampère (A)**.
- Unités électriques dérivées: **volt (V)**, **coulomb (C)**, **ohm (Ω)**, **siemens (S)**, **henry (H)**, **farad (F)**, **watt (W)**, **joule (J)**, **fréquence (Hz)**, **fréquence angulaire (rad/s)**, **voltampère (VA)**, **voltampère réactif (var)**, **tesla (T)**, **weber (Wb)**.
- Autres unités utilisées:
degré celsius ($^{\circ}\text{C}$), **heure (h)**,
couple ($\text{n}\cdot\text{m}$), horsepower (hp),
kilowattheure (kWh).



Principales règles d'écriture

- Toujours utiliser les symboles normalisés:
- Jamais d'abréviation; ex: amp., sec.
- Minuscule si écrit au long; ex. ampère
- Emploi du s au pluriel: 12 ampères
- Emploi des préfixes
- Virgule métrique; ex: 12,5 V
- Point de multiplication; ex. : 12,0 N.m

Préfixes

Préfixe	Symbole	Multiplicateur
pico	p	10^{-12}
nano	n	10^{-9}
micro	μ	10^{-6}
milli	m	10^{-3}
kilo	k	10^3
méga	M	10^6
giga	G	10^9

Exemples:

milliampère: mA

kiloampère: kA

picofarad: pF

mais,

kilohm: k Ω

mégohm : M Ω

Temps

- La seconde (s): durée de 9 192 631 770 périodes de la radiation correspondant à la transition entre deux niveaux hyperfins de l'état fondamental de l'atome de césium 133!
- 1 min = 60 s
- 1 h = 60 min

Masse

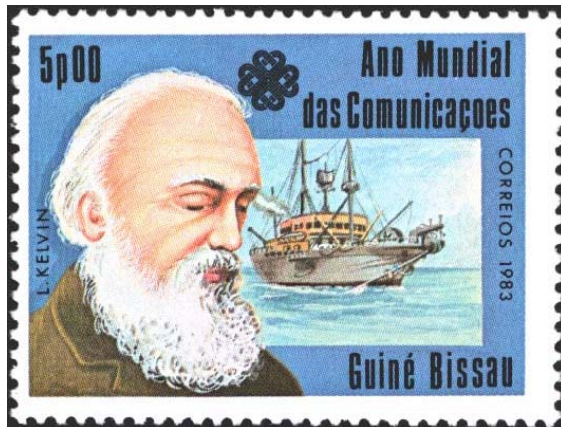
- Le kilogramme (kg): masse du prototype de 1889 en platine déposé au *Bureau international des poids et mesures*.

Longueur

- Le mètre (m): longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière en $1/299\,792\,458$ de seconde (1983).
- Auparavant:
 - le quart du dix millionième du méridien terrestre (1889-1960)
 - par rapport aux raies d'émission d'une lampe à décharge contenant du krypton 86 (1960-1983)

Température

- Le kelvin (K): $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau.
- Le degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$),
- Même si des écarts de température de 1°C et de 1K s'équivalent, tout est dans la référence!



Matière et lumière

- La mole (mol): quantité de matière équivalente au nombre d'atomes de 0,012 kg de carbone 12
- Le candéla (cd): intensité lumineuse d'une source de 540 GHz dont l'intensité énergétique est de 1/683 watt par stéradian!

Courant (intensité du courant)

- L'ampère (A): intensité d'un courant constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés dans le vide à une distance d'un mètre produirait une force de $2 \cdot 10^{-7}$ newton par mètre.

André-Marie **Ampère** (1775-1836),
physicien français, fondateur de
l'électrodynamique. On lui doit les
termes tension et courant.



Courant

- La lettre I est utilisée comme symbole du courant dans les équations.
- I majuscule pour un courant continu ou la valeur efficace d'un courant alternatif.
- i ou i(t) pour un courant variable dans le temps.
- On écrira: le courant I_2 atteint 3,20 ampères
$$I_2 = 3,20 \text{ A}$$

Charge

- Le coulomb (C) est la charge, q , transportée par un courant d'un ampère pendant une seconde.

$$q = I \cdot t$$

- $1 \text{ C} = 6,24 \cdot 10^{18}$ électrons

Charles de **Coulomb**
(1736 -1806),
physicien français.



Tension - Différence de potentiel - Force électromotrice

- Le volt (V) équivaut à la différence de potentiel qui existe entre deux points d'un conducteur parcouru par un courant de 1 A lorsque la puissance dissipée entre ces points est de 1 W.

Comte Alessandro **Volta**
(1745-1827), physicien
italien, inventeur de la pile
électrique (1800)



Tension

- Le symbole de la tension est la lettre E majuscule ou minuscule: E ou e (t)
- On utilise aussi V ou U.
- On préfère E à V afin d'éviter d'écrire:

$$V = 3 V$$

(La même lettre ne doit pas être symbole et unité)

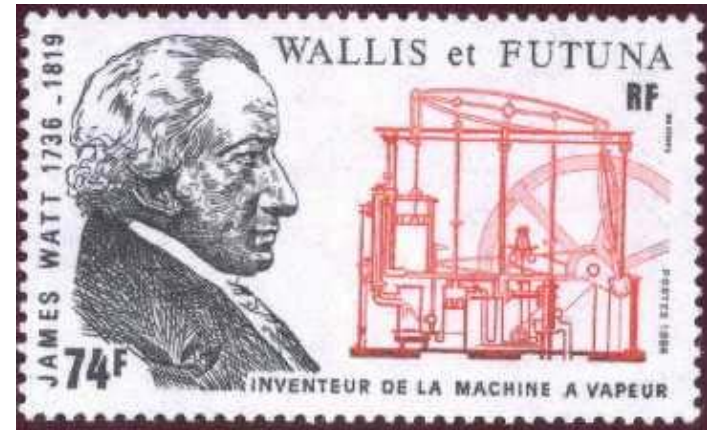
Puissance

- Le watt (W), unité de puissance correspondant au transfert de 1 joule d'énergie pendant 1 seconde:
$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$$
- Un watt est aussi dissipé entre deux points d'un conducteur parcouru par un courant de 1 A lorsqu'une tension de 1 V existe entre ces deux points.

Puissance

- Le symbole utilisé pour dénoter la puissance est P ou $p(t)$.

James **Watt** (1736-1819),
ingénieur mécanicien et
inventeur britannique. On
lui doit la machine à vapeur



Puissance

- Dans un circuit électrique la puissance instantanée $p(t)$ est égale au produit de la tension et du courant instantanés et la puissance moyenne (P), à la valeur moyenne de la puissance instantanée.

$$p(t) = e(t) \cdot i(t)$$

$$P = \frac{1}{b-a} \int_a^b e(t) \cdot i(t) dt \quad \text{ou} \quad P = \frac{1}{T} \int_0^T e(t) \cdot i(t) dt$$

Énergie

- Le Joule (J) équivaut au travail produit par une force de 1 N dont le point d'application se déplace d'un mètre dans le sens de la force.

James Prescott **Joule** (1818-1890, physicien britannique. Il étudia la chaleur dégagée par les courants électriques (effet **Joule**) et détermina l'équivalent mécanique de la calorie.

Kilowattheure

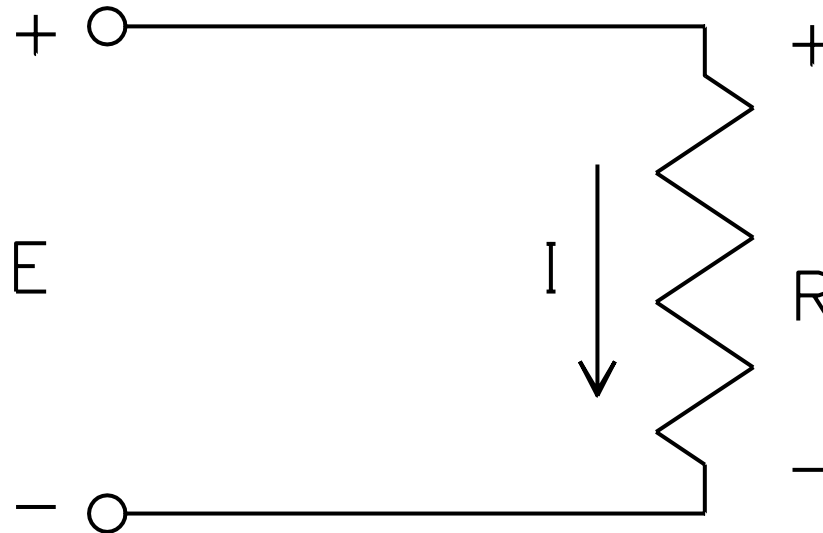
- Un kilowattheure (kWh) est l'énergie consommée pendant une heure dans un conducteur parcouru par un courant de 1 A et qui dissipe 1 kW.
- $1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$
- Le kWh est surtout utilisé pour la facturation de l'énergie électrique

Résistance

- Élément de circuit qui satisfait la loi d'Ohm: $E = R \cdot I$
- L'unité de la résistance est le ohm (Ω)

Georg Simon Ohm (1789-1854), physicien allemand. Il découvrit en 1827 les lois fondamentales des courants électriques.

Tension et courant dans une résistance



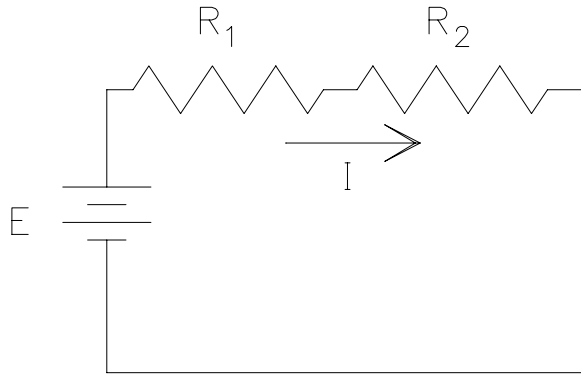
Puissance dissipée dans une résistance

- $P = R \cdot I^2$
 $= E \cdot I$
 $= E^2 / R$

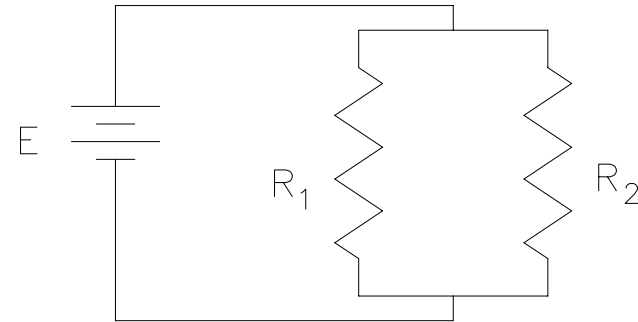
Résistance
électronique



Résistances en série et en parallèle



Résistances en série



Résistances en parallèle

- En série:

$$R_{\text{éq}} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

- En parallèle

$$R_{\text{éq}} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$1/R_{\text{éq}} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$$

Résistance

- La résistance d'un conducteur de large diamètre est d'une fraction de milliohm par mètre.
- La gamme des résistances électroniques s'étend de moins d'un ohm à plus de 100 GΩ
- La gamme usuelle des résistances s'étend de 10^{-6} à 10^{12} ohms
- Les résistances sont caractérisées par leur valeur et la puissance qu'elles peuvent dissiper.
Ex.: résistance électronique de 10 ohms, 1/8 de watt et un élément chauffant de 10 ohms, 240 volts capable de dissiper 5,75 kW.

Résistance

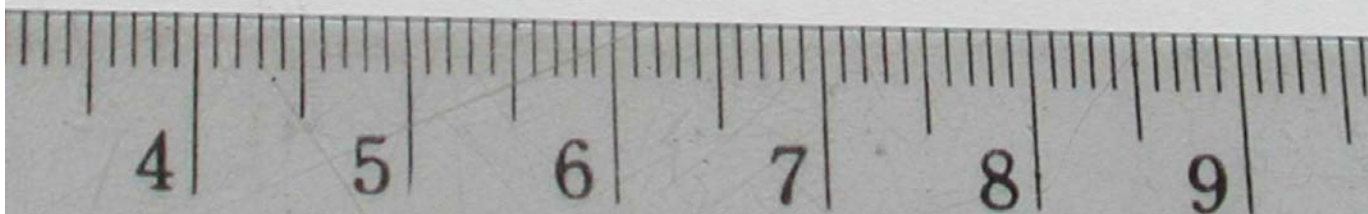
Résistances de 220 Ohms de puissances différentes



1/2 Watts



1/4 Watts



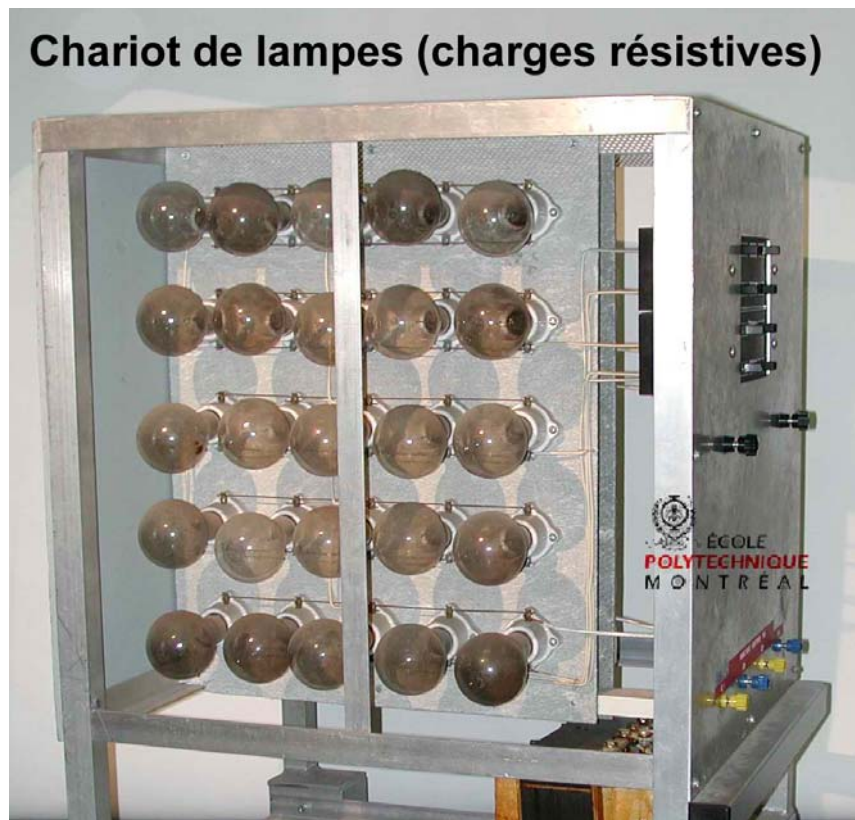
Résistance



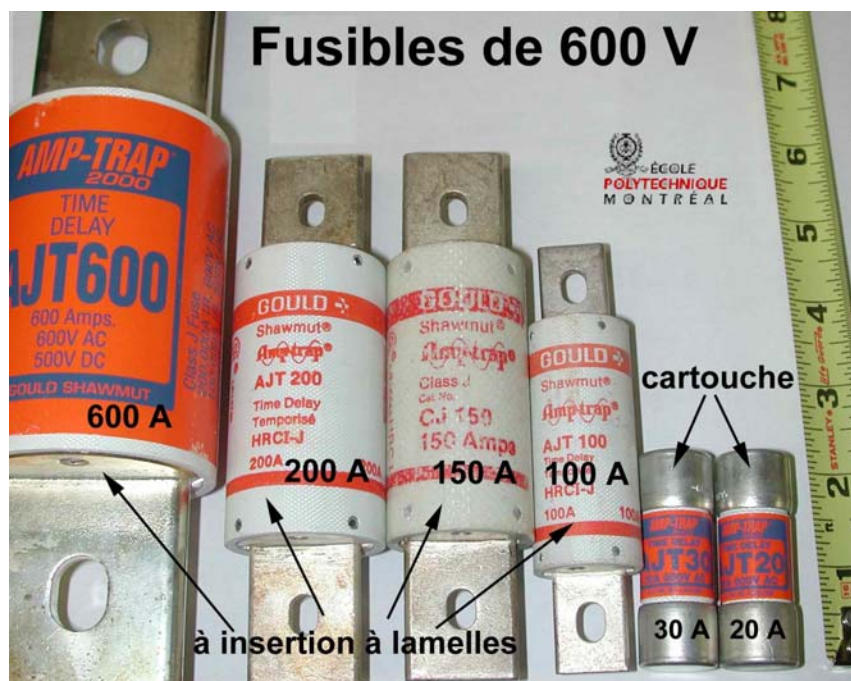
Résistance



Résistance



Résistance



Composantes métalliques de l'intérieur de divers fusibles



Résistance d'un fil

- La résistance d'un fil est donnée par l'expression suivante:

$$R_{20} = \frac{\rho \cdot l}{A} \quad R_{(T)} = R_{(20)} (1 + \alpha (T - 20))$$

où

- ρ : est la résistivité à 20°C
- l : longueur du conducteur
- A : section du conducteur
- α : coefficient thermique

Systeme AWG

- AWG: **A**merican **W**ire **G**age
- Augmentation de section de 26% d'un calibre au suivant

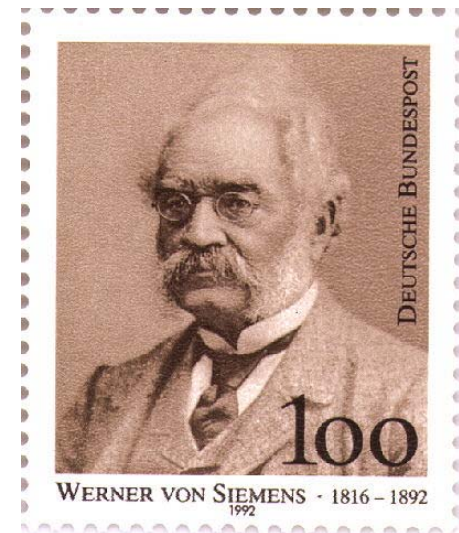
Tableau 1.3 Caractéristiques des fils de cuivre ronds utilisés en Amérique du Nord

Calibre A W G	Diamètre mm	Section mm ²	Résistance à 20°C Ω/m	Masse g/m
4/0	11,68	107,2	0,000161	953
3/0	10,40	85,0	0,000203	756
2/0	9,27	67,4	0,000256	600
1/0	8,25	53,5	0,000322	478
1	7,35	42,4	0,000406	377
2	6,54	33,6	0,000513	299
3	5,83	26,67	0,000647	237
4	5,19	21,15	0,000815	188
5	4,62	16,77	0,001023	149
6	4,11	13,30	0,00130	118,2
7	3,66	10,55	0,00163	93,8
8	3,26	8,37	0,00206	74,4
9	2,91	6,63	0,00260	59,0
10	2,59	5,26	0,00328	46,8
11	2,30	4,17	0,00414	37,1
12	2,05	3,31	0,00521	29,4
13	1,83	2,63	0,00656	23,4
14	1,63	2,08	0,00828	18,5
15	1,45	1,65	0,0104	14,7
16	1,29	1,31	0,0132	11,6
17	1,15	1,04	0,0166	9,24
18	1,02	0,823	0,0210	7,32
19	0,912	0,653	0,0264	5,81
20	0,813	0,519	0,0332	4,61
21	0,724	0,412	0,0419	3,66
22	0,643	0,324	0,0532	2,88
23	0,574	0,259	0,0666	2,30
24	0,511	0,205	0,0842	1,82
25	0,455	0,162	0,106	1,44
26	0,404	0,128	0,135	1,14
27	0,361	0,102	0,169	0,908
28	0,320	0,0804	0,214	0,715
29	0,287	0,0647	0,266	0,575
30	0,254	0,0507	0,341	0,450
31	0,226	0,0401	0,430	0,357
32	0,203	0,0324	0,532	0,288
33	0,180	0,0255	0,676	0,227
34	0,160	0,0201	0,856	0,179
35	0,142	0,0159	1,086	0,141
36	0,127	0,0127	1,362	0,113

Conductance

- Inverse de la résistance.
- Unité: le siemens (S)
- Symbole: G
- $G = 1/R$

Werner von **Siemens**
(1816-1892), ingénieur
et industriel allemand



Condensateur

- Élément de circuit qui obéit aux relations suivantes:

$$i_c = C \frac{de_c}{dt} \quad e_c(t) = \frac{1}{C} \int i_c(t) dt + E_o$$

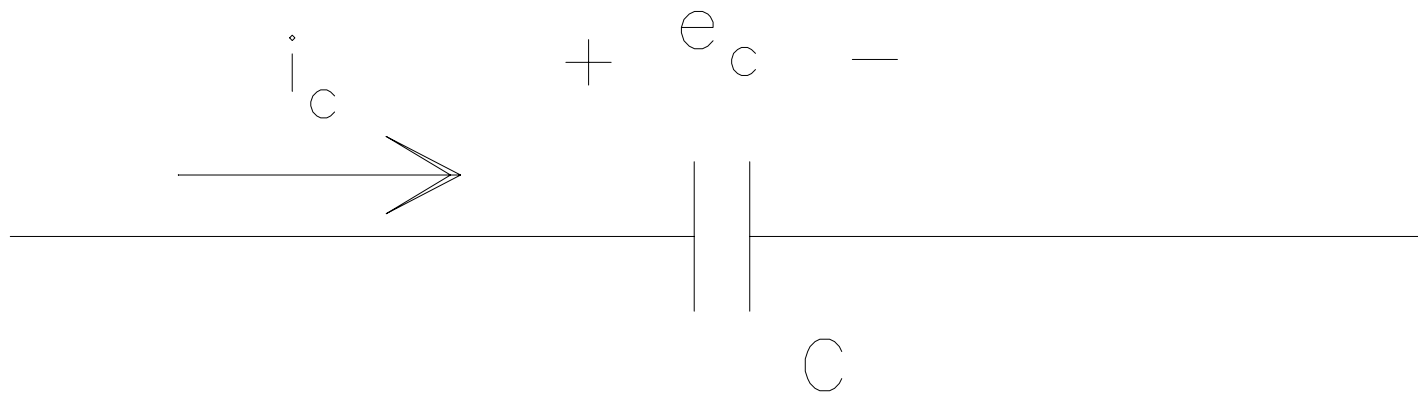
- La valeur de C, sa capacitance, s'exprime en farad (F)

Michael **Faraday** (1791-1867),
physicien britannique



Condensateur

- Symbole d'un condensateur et convention des signes



Condensateur

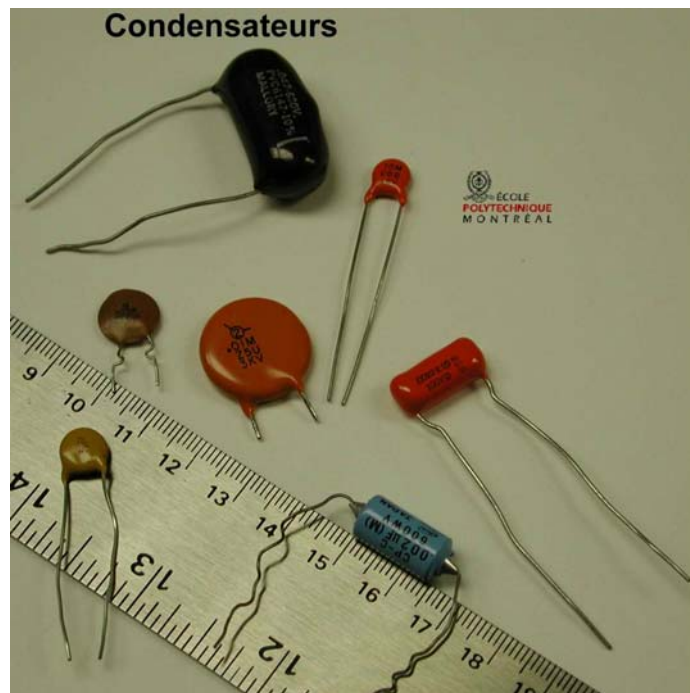
- La capacitance d'un condensateur formé de deux plaques parallèles de section A et séparées d'une épaisseur d par un isolant de permittivité ε est:

$$C = \varepsilon \frac{A}{d}$$

- La gamme usuelle des condensateurs s'étend de quelques pF à une fraction de farad. Il existe des super condensateurs de quelques farads.
- La capacitance peut aussi s'exprimer en fonction de la charge:

$$C = q / E$$

Condensateur



Condensateur

Condensateur de 2,6 mF à 350 VDC



Condensateur de correction de facteur de puissance

Condensateur

- Un condensateur se caractérise par sa capacité et sa tension de tenue.
- Mise en série:

$$\frac{1}{C_{\text{éq}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

- Mise en parallèle:

$$C_{\text{éq}} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

Condensateur

- L'énergie emmagasinée dans un condensateur:

$$W = \frac{1}{2} C E^2$$

- L'énergie est emmagasinée dans le champ électrique \mathcal{E} .
- La densité d'énergie w (J/m³) :

$$w = \frac{1}{2} \varepsilon \mathcal{E}^2$$

Inductance

- Élément de circuit qui obéit aux relations suivantes:

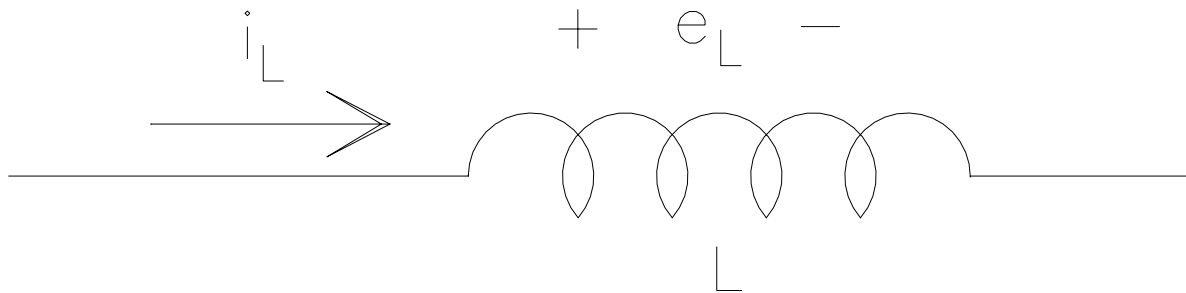
$$e_L = L \frac{di_L}{dt} \quad i_L(t) = \frac{1}{L} \int e_L(t) dt + I_o$$

- La valeur de L , son inductance, s'exprime en henry (H)

Joseph **Henry** (1797-1878),
physicien américain

Inductance

- Symbole d'une inductance et convention des signes



Inductance

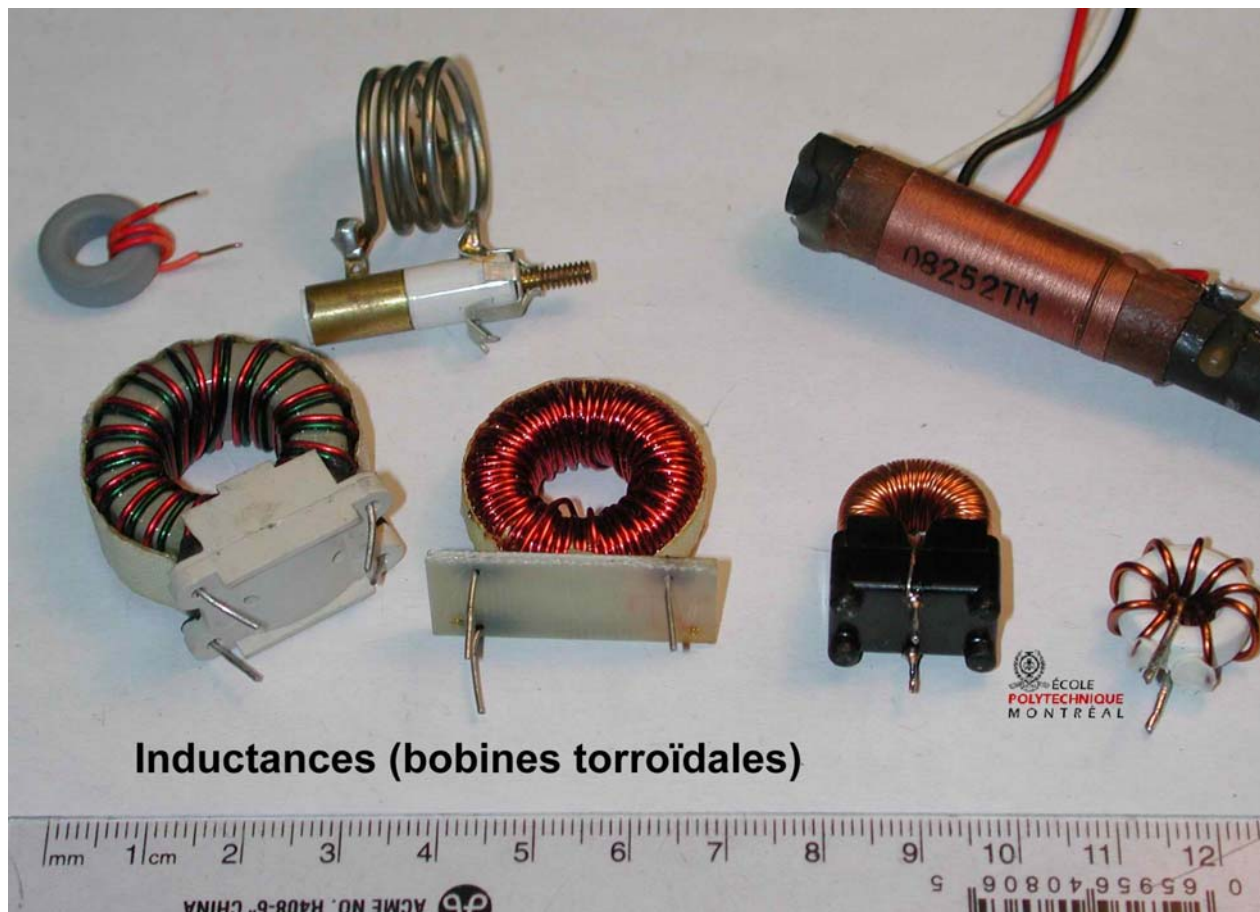
- L'inductance d'une bobine de longueur l , de section A constituée de N tours de fil est:

$$L = \mu_0 n^2 A / l$$

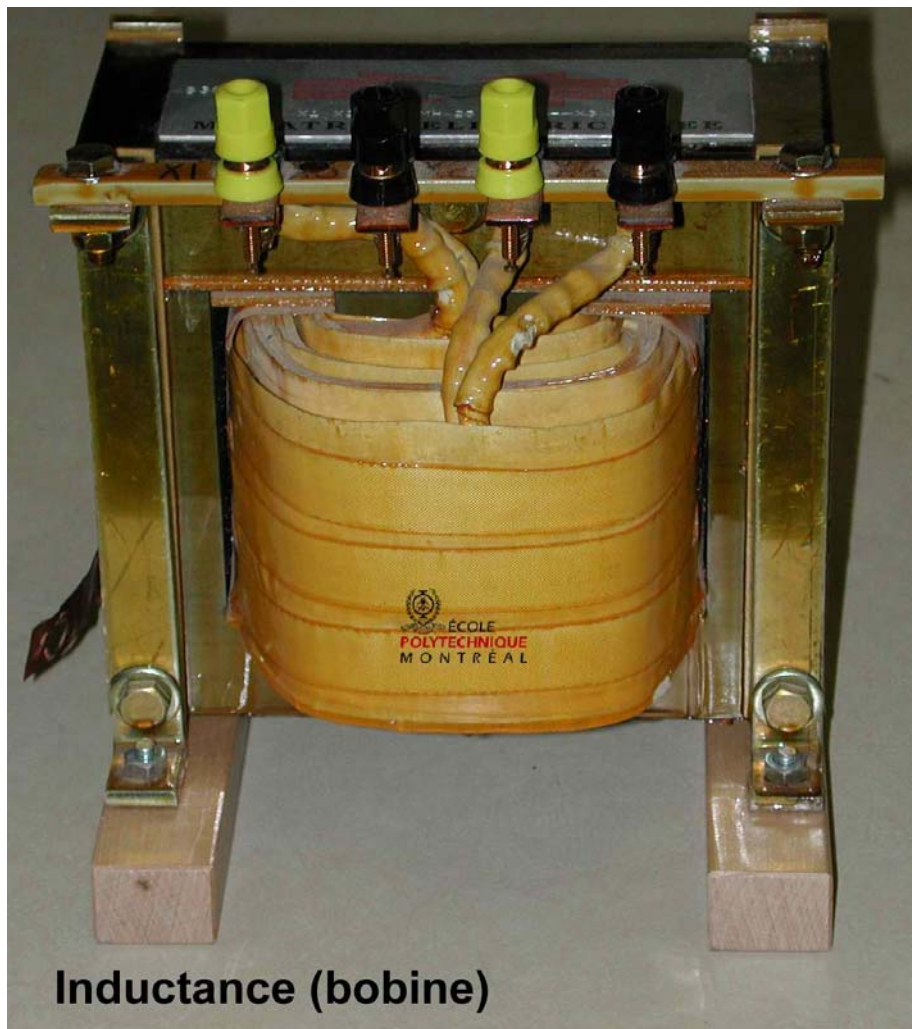
$$\text{où } \mu_0 = 4 \pi 10^{-7}$$

- La gamme usuelle des inductances s'étend de quelques nH à quelques henrys.

Inductance



Inductance



Inductance

- Une bobine se caractérise par son inductance et son courant nominal.
- Mise en série:

$$L_{\acute{e}q} = L_1 + L_2 + \dots + L_n$$

- Mise en parallèle:

$$\frac{1}{L_{\acute{e}q}} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

Inductance

- L'énergie emmagasinée dans une inductance:

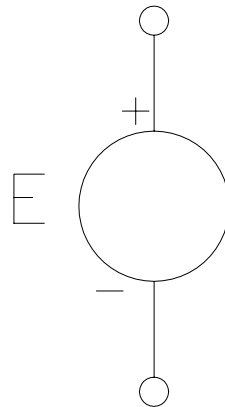
$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

- L'énergie est emmagasinée dans le champ magnétique **B**.
- La densité d'énergie w (J/m³) :

$$w = \frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu}$$

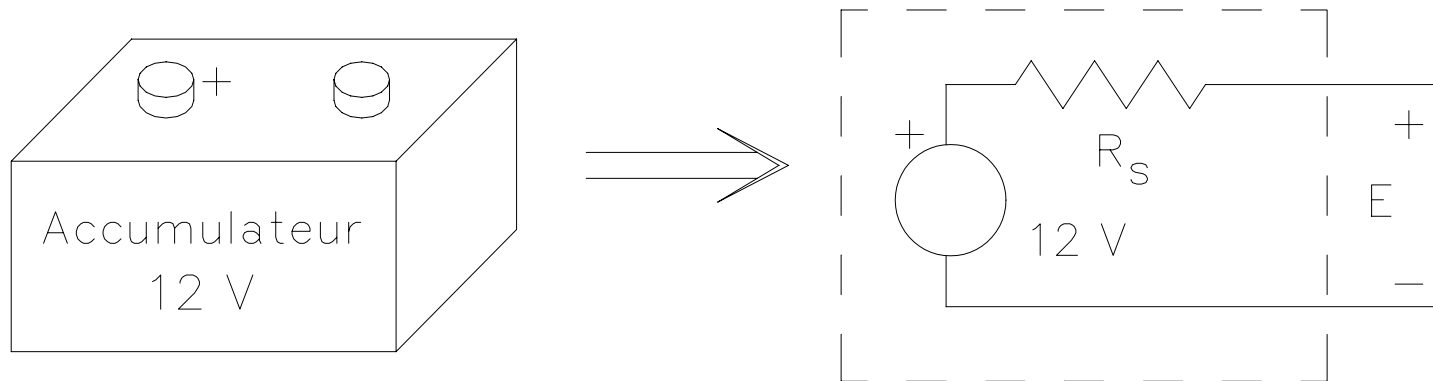
Source de tension

- Élément de circuit capable de fournir ou absorber de l'énergie électrique et dont la tension à ses bornes est constante et indépendante de la charge qui lui est branchée. Une source de tension ne fournit aucune énergie lorsqu'elle est en circuit ouvert.
- Symbole:

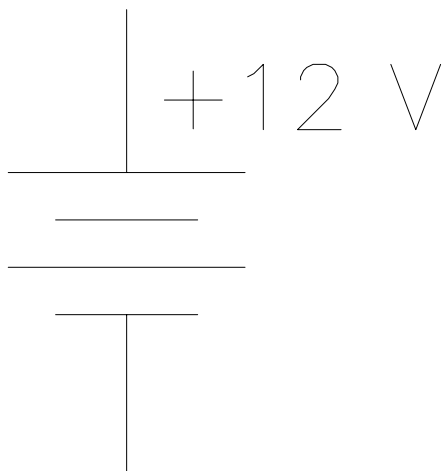


Source de tension réelle

- La tension d'une source de tension réelle comme une batterie, diminue en fonction du courant qu'elle fournit. On peut modéliser une telle source par une source idéale en série avec une résistance.



- Symbole d'une batterie



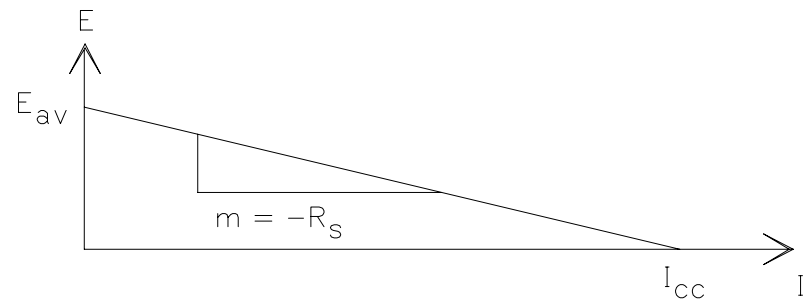
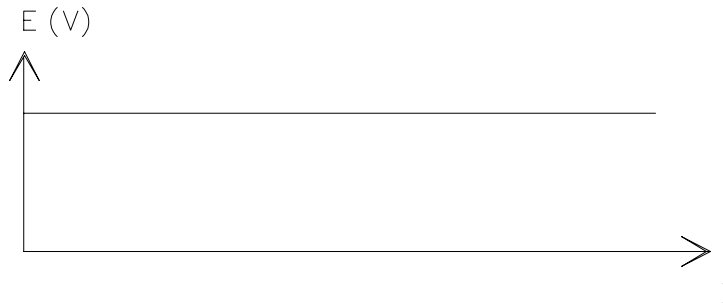
Batterie

Batterie de 1,5 V (type AAA)



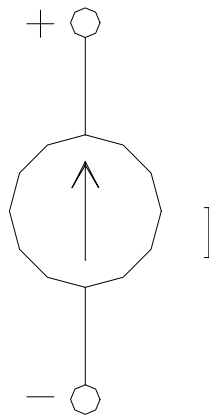
Source de tension réelle

- Caractéristique tension/courant d'une source de tension idéale et d'une source de tension réelle:



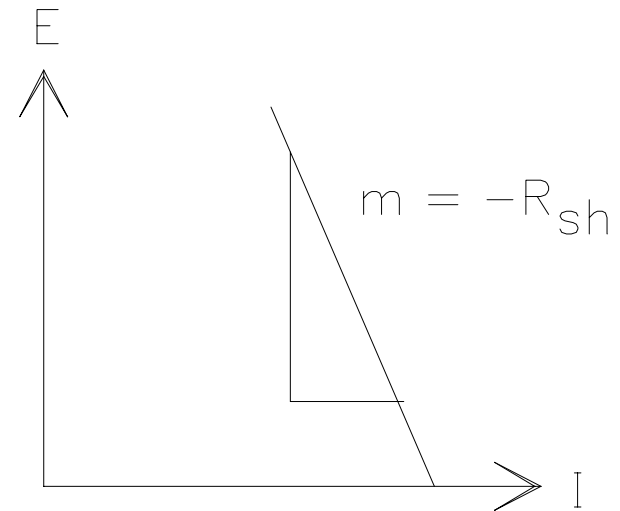
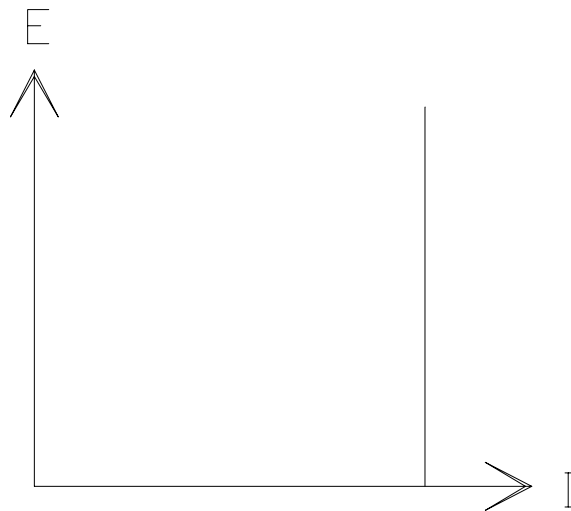
Source de courant

- Élément de circuit capable de fournir ou absorber de l'énergie électrique et dont le courant qui y circule est constant et indépendant de la charge qui lui est branchée. Une source de courant ne fournit aucune énergie lorsqu'elle est en court-circuit.
- Symbole:



Source de courant réelle

- Caractéristique courant/tension d'une source de courant idéale et réelle



Court-circuit

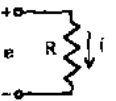
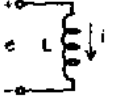
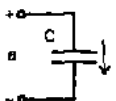
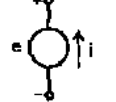
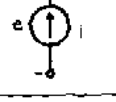
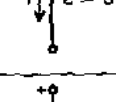
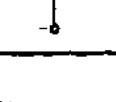
- Soit un circuit dont deux points sont reliés par une résistance. Si l'on fait tendre la valeur de cette résistance vers zéro, ces deux points deviennent en court-circuit.
- En pratique, un bout de fil constitue souvent un court-circuit.
- On ne doit jamais mettre en court-circuit une source de tension. Pourquoi?

Circuit ouvert

- Soit un circuit dont deux points sont reliés par une résistance. Si l'on fait tendre la valeur de cette résistance vers l'infini, ces deux points deviennent en circuit ouvert.
- En pratique, on réalise un circuit ouvert, en enlevant tous les éléments qui relient les deux points du circuit.
- On ne doit jamais laisser une source de courant ouverte. Pourquoi?

Résumé

Tableau 1.2 La tension, le courant, la puissance et l'énergie des éléments d'un circuit électrique

Élément	Unité	Symbole graphique	Relation tension-courant	Puissance	Énergie
Résistance	ohm (Ω)		$e = R i$ $i = e / R$	$P = Ri^2$ $= e^2/R$	$W = \int_{t_1}^{t_2} p dt$
Inductance	henry (H)		$e = L di/dt$ $i(t) = \frac{1}{L} \int_{t_1}^{t_2} e(t) dt + i(t_1)$	$p = e i$	$W = \frac{1}{2} Li^2(t)$
Condensateur	farad (F)		$i = C de/dt$ $e(t) = \frac{1}{C} \int_{t_1}^{t_2} i(t) dt + e(t_1)$	$p = e i$	$W = \frac{1}{2} Ce^2(t)$
Source de tension	volt (V)		$e = e$ spécifiée quel que soit i	$p = e i$	$W = \int_{t_1}^{t_2} p dt$
Source de courant	ampère (A)		$i = i$ spécifié quelle que soit e	$p = e i$	$W = \int_{t_1}^{t_2} p dt$
Court-circuit			$e = 0$ quel que soit i	$p = 0$	$W = 0$
Circuit ouvert			$i = 0$ quelle que soit e	$p = 0$	$W = 0$