

IV Circuits électriques

1 Le courant électrique

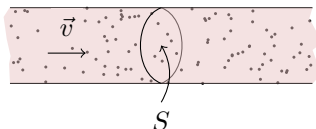
a Définitions

Le courant électrique correspond à un déplacement ordonné de charges électriques.

- Les charges peuvent être des particules élémentaires (électrons, protons, ...) ou des entités plus grosses (ions + ou -). La charge est quantifiée, elle est toujours un multiple de e (charge d'un proton)
- L'origine du courant est aussi variable :
 - Présence d'un champ électrique ;
 - déplacement du milieu dans lequel se trouvent les charges ;
 - charges libres dans le vide.

b Intensité du courant

L'intensité du courant électrique correspond au **débit** de la charge électrique à travers une surface S .



$$I = \frac{Q}{t} \quad \begin{array}{l} \text{— } Q : \text{Quantité de charge qui traverse la surface } S \text{ (en Coulombs),} \\ \text{— } t : \text{pendant le temps } t. \end{array}$$

En faisant tendre le temps t vers 0, on obtient la relation

$$I = \frac{dQ}{dt}$$

Par exemple, s'il y a n charges q par m^3 , avançant à la vitesse v , l'intensité du courant est : $I = \frac{dQ}{dt} = \underbrace{nq}_{\rho} Sv \frac{dvt}{dt} = \rho Sv$. ρ est la *densité volumique de charges*

remarques :

- L'intensité du courant est une valeur algébrique (il faut définir un sens positif avant de pouvoir la calculer)
- Pour une même valeur de I , les charges + et - se déplacent dans des directions opposées.

L'intensité du courant se mesure en Ampères (A) = Cs^{-1} .

Ordres de grandeur :

- Dans une montre à quartz : $I \simeq 1 \mu\text{A}$;
- LED de faible puissance : $I \simeq 10 \text{mA}$;
- Lampe halogène $I \simeq 1 \text{A}$;
- foudre $I \simeq 30 \text{kA}$

c Régime continu

En régime continu, l'intensité I du courant, et la densité volumique de charge ρ sont des constantes.

$\xrightarrow{I_{\text{entrant}}}$	Charge Q	$\xrightarrow{I_{\text{sortant}}}$
------------------------------------	---------------	------------------------------------

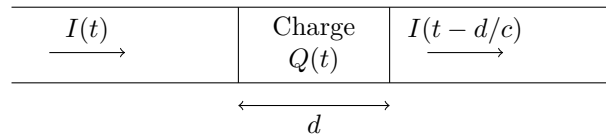
Pendant le temps dt : $dQ = I_{\text{entrant}} dt - I_{\text{sortant}} dt = (I_{\text{entrant}} - I_{\text{sortant}}) dt$.

Or $\frac{dQ}{dt} = 0 = I_{\text{entrant}} - I_{\text{sortant}}$.

Donc $I_{\text{entrant}} = I_{\text{sortant}}$. L'intensité du courant est la même en tout point d'un fil conducteur parcouru par un courant continu.

d Régime variable

I est une fonction du temps $I(t)$. On suppose que les variations de I se propagent à la vitesse de la lumière c (en tout cas elles ne peuvent pas aller plus vite)



Si $I(t) \neq I(t - d/c)$ alors $\frac{dQ}{dt} \neq 0$.

Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) : I varie assez lentement pour que $I(t) = I(t - d/c)$. Dans ce cas $\frac{dQ}{dt} = 0$ et I est le même en tout point d'un fil conducteur.

Déterminons pour un circuit réel les conditions nécessaires pour pouvoir appliquer l'ARQS :

- d : dimension du circuit ;
- $\tau \simeq \frac{1}{f}$: temps typique de variation de I (f est la fréquence typique de variation de $I(t)$).

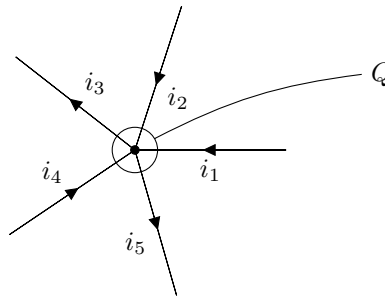
Le temps de propagation d'une variation d'intensité à travers le circuit est $t_I = \frac{d}{c}$. Pour être dans les conditions d'application de l'ARQS, il faut que $t_I \ll \tau$, on doit donc avoir :

$$\boxed{d \ll \frac{c}{f}} \text{ ou } \boxed{df \ll c}$$

L'ARQS est donc applicable à des circuits assez petit pour des fréquences de fonctionnement suffisamment faibles.

e La loi des nœuds

Dans les conditions de l'ARQS : $\frac{dQ}{dt} = 0$. On définit un nœud comme la jonction d'au moins 2 fils conducteurs :



On note Q la charge totale comprise dans le nœud, dans ce cas, on a : $\frac{dQ}{dt} = i_1 + i_2 - i_3 + i_4 - i_5 = 0$. On généralise cette **loi des nœuds** comme :

$$\sum_{\text{courants entrants}} i_k - \sum_{\text{courants sortants}} i_k = 0$$

2 La tension électrique

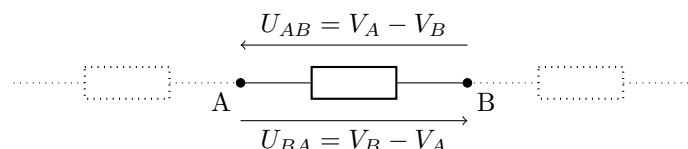
a Le potentiel électrique

Dans un circuit électrique, les charges circulent en perdant de l'énergie potentielle (elles *descendent une pente*). Une charge q possède une énergie potentielle $E_p = qV$; V est le **potentiel électrique** au point considéré. Le potentiel électrique se mesure en Volts (V).

L'origine de l'énergie potentielle est choisie arbitrairement, donc celle de V aussi. Le point du circuit où V est choisi nul est le **référence de potentiel**.

b La tension électrique

La tension électrique U_{AB} entre deux points A et B d'un circuit est la différence de potentiel entre ces deux points :



Remarques :

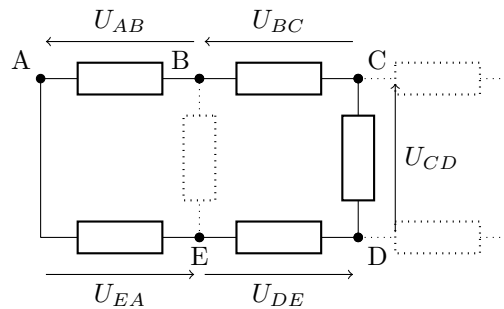
- La tension est une grandeur algébrique : $U_{BA} = V_B - V_A = -U_{AB}$
- La tension se mesure en Volts (V) (d'après Alessandro Volta (1745–1827) qui a inventé la première pile électrique)

Ordres de grandeur :

- Petits appareils électroniques $\simeq 5\text{ V}$;
- électroménager $\simeq 220\text{ V}$;
- lignes haute-tension $\simeq 400\text{ kV}$;
- foudre $\simeq 10^8\text{ V}$.

c La loi des mailles

Une **maille** est une portion de circuit formant une boucle fermée :

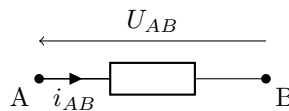


On a : $U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} + U_{DE} + U_{EA} = V_A - V_B + V_B - V_C + \dots + V_E - V_A = 0$.

loi des mailles : La somme des tensions (orientées dans le même sens de rotation) d'une maille est nulle.

3 Le dipôle électrique**a Définition**

Un dipôle est un composant qui comporte 2 bornes.

**b Puissance reçue**

Le puissance électrique **reçue** par le dipôle AB est :

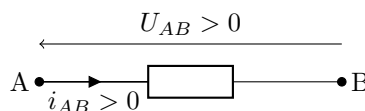
$$P = U_{AB} \times i_{AB} \quad (1)$$

La puissance se mesure en Watts ($\text{W} = \text{J/s}$) : James WATT (1736–1819).

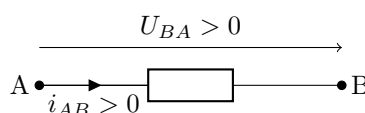
Remarque : Si le dipôle produit de l'énergie, $P < 0$.

c Convention récepteur ou générateur

Un récepteur convertit l'énergie électrique qu'il reçoit en une autre forme d'énergie (mécanique, thermique). On a $P_{\text{reçue}} > 0$ donc u et i ont des sens opposés (**convention récepteur**)

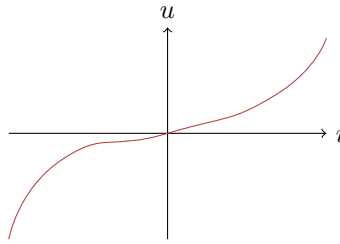


Un générateur fournit de l'énergie électrique donc $P_{\text{reçue}} < 0$, u et i sont dans le même sens (**convention générateur**)



d Caractéristique d'un dipôle

Dans un dipôle il existe une relation entre u et i : $u = f(i)$. La courbe représentative de $u = f(i)$ est la **caractéristique du dipôle**.



Remarques :

- Si la caractéristique passe par $(0, 0)$, c'est un dipôle **passif**, sinon il est **actif**.
- Si c'est une droite, on dit que le dipôle est **linéaire**.
- Le point de la caractéristique où se trouve le dipôle (sa tension et son intensité) est le **point de fonctionnement**

4 Le dipôle résistance

a Généralités

Symbole : (ou)

On utilise la convention récepteur : A B

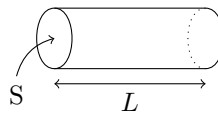
La caractéristique d'une résistance est

$$u = Ri \quad (2)$$

c'est la **loi d'Ohm**. R est la valeur (résistance) du dipôle en Ohm (Ω) (Georg Simon Ohm 1789–1854)

On définit aussi la conductance $G = \frac{1}{R}$ en Ω^{-1} ou Siemens (S).

fabrication : On utilise un matériau de résistivité ρ de longueur L et de section S :



La résistance de ce conducteur est $R = \frac{\rho L}{S}$.

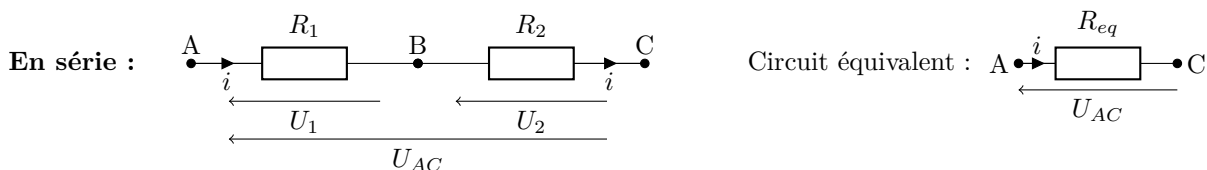
b Effet Joule

Une résistance convertit l'intégralité de la puissance électrique reçue en chaleur (effet Joule)

A B $P_{\text{reçue}} = u \cdot i = Ri \cdot i$ donc $P_{\text{reçue}} = Ri^2$

Remarque : L'énergie reçue par la résistance entre les instants t_1 et t_2 est : $E = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} Ri(t)^2 dt$

c Association de résistances

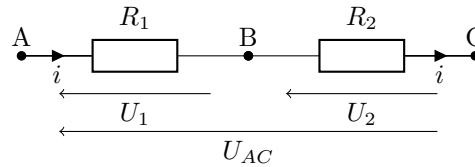


La loi des mailles donne : $U_1 + U_2 - U_{AC} = 0$ donc $U_{AC} = U_1 + U_2$. D'après la loi d'Ohm, on a $U_1 = R_1 i$ et $U_2 = R_2 i$. D'où finalement $U_{AC} = R_1 i + R_2 i = (R_1 + R_2) i$.

La résistance équivalente à deux résistances branchées en série est : $R_{eq} = R_1 + R_2$

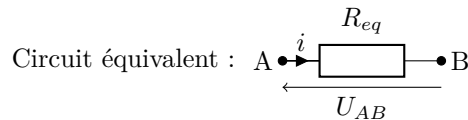
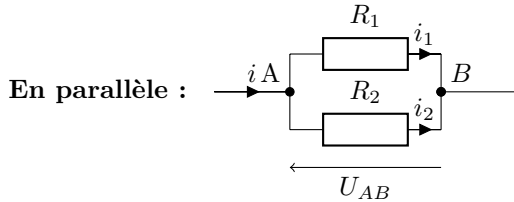
On généralise ce résultat à n résistances R_1, R_2, \dots, R_n branchées en séries : $R_{eq} = \sum_{i=1}^n R_i$

Application : Pont diviseur de tension :



$$U_{AC} = R_{eq}i \text{ donc } i = \frac{U_{AC}}{R_{eq}}.$$

$$U_2 = R_2 i = \frac{R_2}{R_{eq}} U_{AC} \text{ donc finalement } U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_{AC} < U_{AC}$$



$$\text{Loi des nœuds : } i = i_1 + i_2 = \frac{U_{AB}}{R_1} + \frac{U_{AB}}{R_2} = U_{AB} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) = \frac{U_{AB}}{R_{eq}}$$

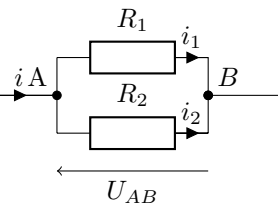
Deux résistances R_1 et R_2 branchées en parallèle sont équivalentes à une résistance R_{eq} de valeur : $\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

La conductance équivalente est $G_{eq} = G_1 + G_2$.

On généralise ce résultat à n résistances R_1, R_2, \dots, R_n branchées en parallèle :

$$R_{eq} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i} \quad \text{ou} \quad G_{eq} = \sum_{i=1}^n G_i$$

Application : Pont diviseur de courant :

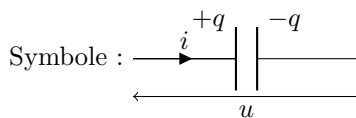


$$i = \frac{U_{AB}}{R_{eq}} = U_{AB} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \text{ et } i_1 = \frac{U_{AB}}{R_1} = \frac{R_{eq}}{R_1} i \text{ soit } i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i < i$$

5 Le condensateur

a Généralités

Un condensateur est un dipôle formé par 2 armatures métalliques séparées par un matériau isolant.



Les armatures stockent des charges électriques. En régime continu, $i = 0$ (le condensateur se comporte comme un isolant).

En régime variable, $i = \frac{dq}{dt}$ et $q = Cu$, donc $i = C \frac{du}{dt}$

C est une constante, c'est la **capacité** du condensateur, on la mesure en farad ($F = A \cdot s \cdot V^{-1} = s \cdot \Omega^{-1}$)

remarque : $u(t_2) - u(t_1) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{i(t)}{C} dt$, à la limite où $t_1 \rightarrow t_2$, on a $u(t_1) = u(t_2)$ donc la tension est continue aux bornes d'un condensateur.

b Énergie stockée



La puissance reçue est $P_{reçue} = u \cdot i = u \cdot \frac{du}{dt} = \frac{1}{2} C \frac{d(u^2)}{dt}$.

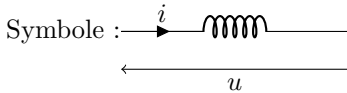
Donc l'énergie stockée dans le condensateur est : $E = \int_{t=0}^T \frac{1}{2} C \frac{d(u^2)}{dt} dt$, soit $E = \frac{1}{2} C u^2$ (en Joules)

L'énergie est stockée dans le champ électrique créé entre les armatures.

6 La bobine

a Généralités

C'est un dipôle formé par l'enroulement d'un fil conducteur.

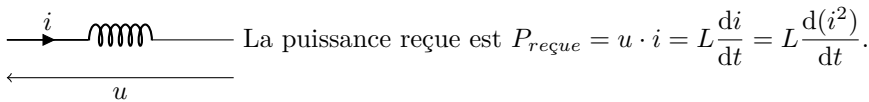


En régime continu, $u = 0$ car c'est un fil conducteur.

En régime variable : $u(t) = L \frac{di}{dt}$, L est l'**inductance** de la bobine en henry ($H = V \cdot s \cdot A^{-1}$).

remarque : $i(t_2) = i(t_1) + \frac{1}{L} \int_{t_1}^{t_2} u(t) dt$ donc l'intensité $i(t)$ est continue dans une bobine.

b Énergie stockée



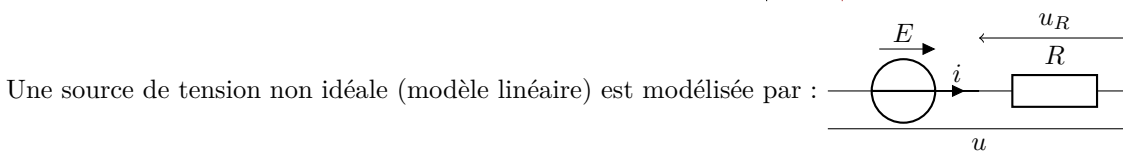
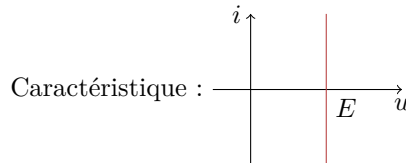
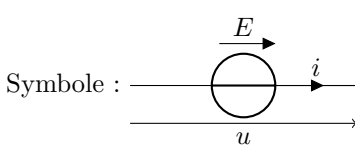
Donc l'énergie stockée dans la bobine est : $E = \int_{t=0}^T \frac{1}{2} L \frac{d(i^2)}{dt} dt$, soit $E = \frac{1}{2} L i^2$ (en Joules)

L'énergie est stockée dans le champ magnétique créé par la bobine.

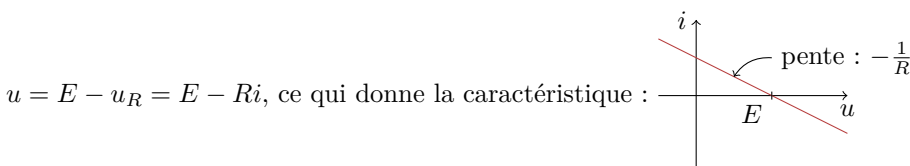
7 Générateurs

a Source de tension

Une source idéale de tension est un dipôle électrique dont la tension aux bornes ne dépend pas de l'intensité du courant qui le traverse.

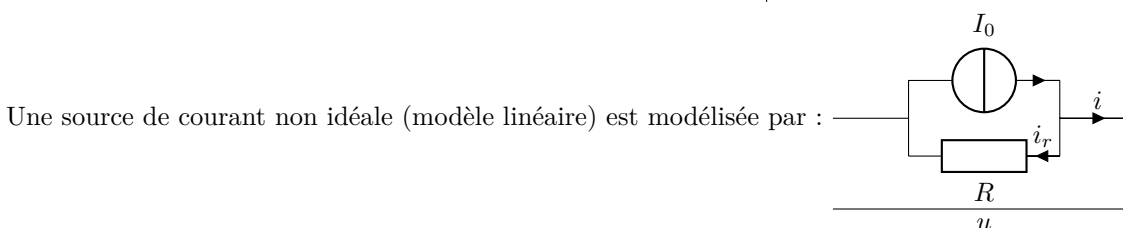
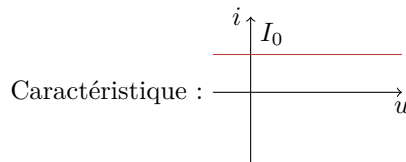
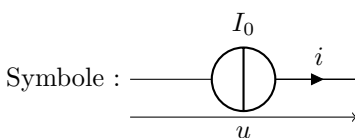


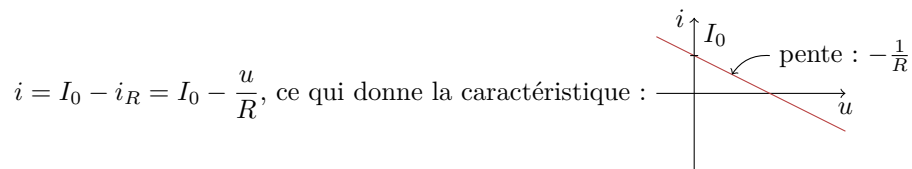
E est la force électromotrice (fém) de la source de tension, et R sa résistance interne.



b Source de courant

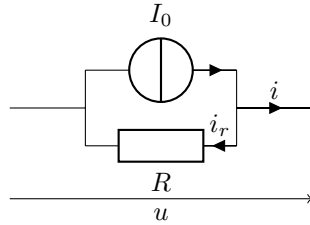
Une source idéale de courant est un dipôle parcouru par un courant constant quelle que soit la tension à ses bornes.





c Équivalence entre sources non idéales linéaires

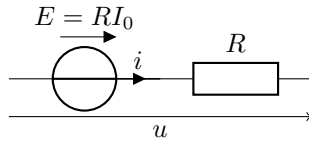
On considère la source de courant non idéale suivante :



(représentation de Norton)

$$i = I_0 - i_R = I_0 - \frac{u}{R} \Rightarrow u = \underbrace{RI_0}_E - Ri \text{ qui est la caractéristique d'une source de tension non idéale de fém } E = RI_0$$

et de résistance interne R :



(représentation de Thévenin)