



Chapitre 1 : Lois de Kirchhoff, dipôles électrocinétiques

I Le courant électrique

A) Définition

1) Courant électrique

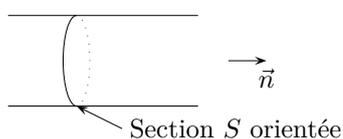
C'est un mouvement d'ensemble de particules chargées.

Courant de conduction mouvement de porteurs de charges dans un matériau conducteur fixe. Exemple : électron dans un métal, ions dans un électrolyte.

Courant de convection matériau chargé (charges fixes par rapport au support matériel). Le mouvement du matériau provoque un courant de convection.

Courant particulaire mouvement de particules chargées dans le vide (exemple : télévision)

2) Intensité du courant



On note dq la charge totale qui traverse S entre les instants t et $t + dt$.

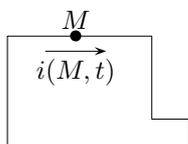
$dq > 0$ si les charges $+$ vont dans le sens de \vec{n} ou les charges $-$ dans le sens de $-\vec{n}$. Sinon, $dq < 0$.

Alors i ou $i_S = \frac{dq}{dt}$, intensité du courant traversant S dans le sens donné par \vec{n} . le sens de \vec{n} définit le signe de i .

$$[i] = \text{A} = \text{C s}^{-1} \quad (1.1)$$

B) Conservation de la charge en régime stationnaire

- un régime est continu ou stationnaire lorsque toutes les grandeurs sont indépendantes du temps, c'est-à-dire $\frac{\partial}{\partial t} = 0$
- Circuit simple : ensemble de conducteurs en série formant une boucle fermée :



Dans un circuit simple en régime stationnaire, $i(M, t) = I = \text{cte}$.

Démonstration :

Déjà, i ne dépend pas de t (régime stationnaire).

Soient M_1 et M_2 deux sections. On note :

- ◊ $Q(t)$ la charge totale dans le conducteur entre M_1 et M_2 à l'instant t ,
- ◊ dq_1 la charge totale traversant M_1 entre t et $t + dt$
- ◊ dq_2 la charge totale traversant M_2 entre t et $t + dt$

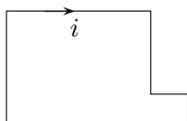
À l'instant $t + dt$, on a :

$$\begin{aligned}
 Q(t + dt) &= Q(t) + dq_1 - dq_2 \\
 \iff Q(t + dt) - Q(t) &= dq_1 - dq_2 = i(M_1, t) dt - i(M_2, t) dt \\
 \iff \frac{dQ}{dt} &= i(M_1, t) - i(M_2, t)
 \end{aligned}
 \tag{1.2}$$

Le circuit est stationnaire. Donc $\frac{dQ}{dt} = 0$

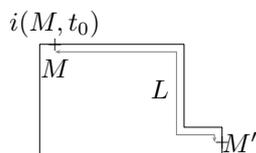
Donc $i(M_1, t) = i(M_2, t)$

Représentation :



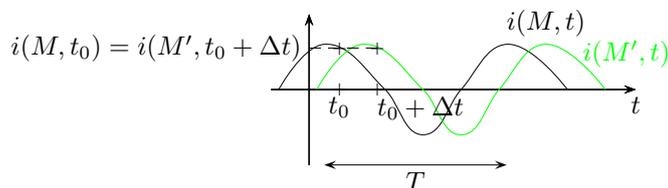
C) Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

On considère un circuit simple en régime variable :



Si le courant est $i(M, t_0)$ en M à t_0 , il devient $i(M', t_0 + \Delta t)$ en M' à $t_0 + \Delta t$, où Δt est le temps nécessaire pour que l'information arrive à M' , c'est-à-dire $\Delta t = \frac{L}{c}$

Donc $i(M, t_0) = i(M', t_0 + \Delta t)$



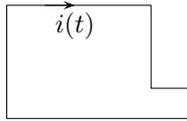
si $\Delta t \ll T$ (temps caractéristique des variations de i en M), $i(M, t) \approx i(M', t) = i(t)$

$$\Delta t \ll T \iff \frac{L}{c} \ll \frac{1}{f} \iff f \ll \frac{c}{L}
 \tag{1.3}$$

En général, $L \sim 1$ m. Il faut donc que $f \ll 3 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$; en général, $f \approx 10^6$ Hz

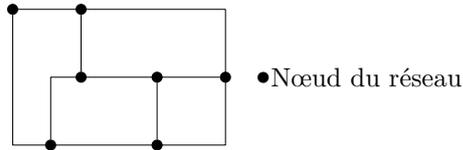
La condition est donc satisfaite.

Représentation :



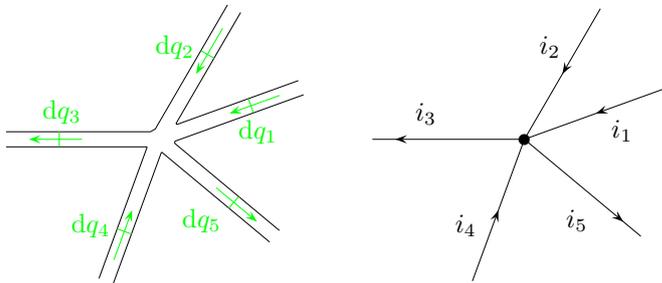
D) Loi des nœuds

Définition : un réseau est un circuit non simple :



Un nœud est un point de connexion de 3 branches ou plus du réseau.

En régime continu ou en supposant l'ARQS :



Conservation de la charge : la charge délimitée par S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 est indépendante du temps. La charge qui rentre entre t et $t + dt$ est donc égale à la charge qui sort entre t et $t + dt$. Donc $dq_1 + dq_2 + dq_4 = dq_5 + dq_3$, soit $i_1 + i_2 + i_4 = i_5 + i_3$, ou $i_1 + i_2 - i_3 + i_4 - i_5 = 0$

Dans le cas général : $\sum_k \text{branches} \varepsilon_k i_k = 0$, où $\begin{cases} \varepsilon_k = 1 & \text{si le courant entre} \\ \varepsilon_k = -1 & \text{si le courant sort} \end{cases}$

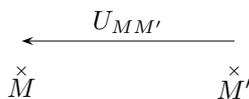
II Potentiel et tension électrique

A) Potentiel électrique

On admet l'existence, en tout point M de l'espace et à tout instant t , d'une grandeur $v(M, t)$, appelée potentiel électrique. Ainsi, une charge q située en M à t possède une énergie potentielle électrique

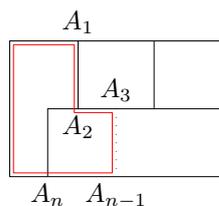
$$E_p = q \times v(M, t)$$

B) Tension – loi des mailles



$$U_{MM'}(t) = v(M, t) - v(M', t) \tag{1.4}$$

On considère un réseau électrocinétique. Une maille est un ensemble de nœuds formant une boucle fermée :



On pose :

$$U_1 = U_{A_2 A_1} \quad U_2 = U_{A_3 A_2} \quad \dots \quad U_i = U_{A_{i+1} A_i} \quad \dots \quad U_n = U_{A_1 A_n} \quad (1.5)$$

Ainsi, $U_1 + U_2 + \dots + U_n = v_{A_2} - v_{A_1} + v_{A_3} - v_{A_2} + \dots + v_{A_1} - v_{A_n} = 0$

D'où la loi des mailles : la somme des tensions dans une maille est égale à 0 à condition de prendre comme sens pour les tensions le sens de parcours de la maille :

$$\sum_k \text{branches} \varepsilon_k U_k = 0, \text{ où } \begin{cases} \varepsilon_k = 1 & \text{si la tension est dans le même sens} \\ \varepsilon_k = -1 & \text{si la tension est dans le sens inverse} \end{cases}$$

$$[v] = [u] = \text{Volt (V)} = \text{kg m}^2 \text{ s}^{-3} \text{ A}^{-1} \quad (1.6)$$

III Dipôles électrocinétiques

A) Définition

C'est une portion de circuit reliée par deux fils :

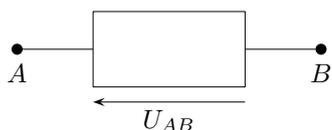


A et B sont les bornes du dipôle.

Le fonctionnement du dipôle est complètement caractérisé par deux grandeurs :

- Intensité I le traversant.
- Tension U entre ses bornes.

B) Notation et convention d'orientation



i_{AB} ou $i_{A \rightarrow B}$: courant i allant de A vers B . $i_{A \rightarrow B} = -i_{B \rightarrow A}$

$$U_{AB} = v_A - v_B = -U_{BA} \quad (1.7)$$

- Convention récepteur : U_{AB} et i_{AB} sont en sens opposé
- Convention générateur : U_{AB} et i_{AB} ont le même sens

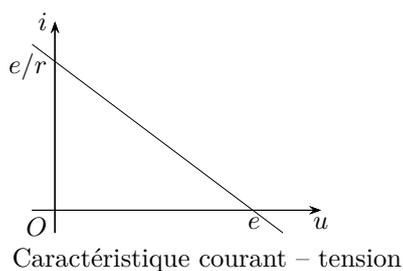
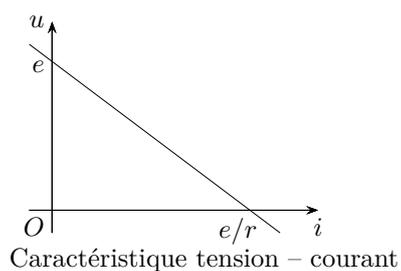
C) Caractéristique d'un dipôle

Généralement, $u(t)$ ne dépend que de $i(t)$ (et vice-versa)

$$\text{Soit } \begin{cases} u = f(i) & (\text{caractéristique tension - courant}) \\ \text{ou} \\ i = g(u) & (\text{caractéristique courant - tension}) \end{cases}$$

Cela nécessite de préciser la convention générateur/récepteur choisie.

Exemple pile (convention générateur)

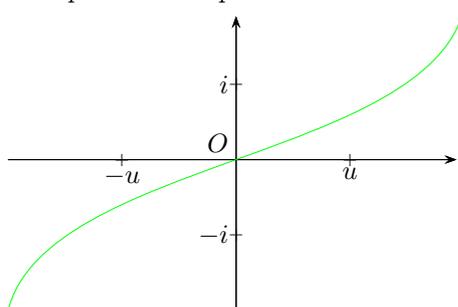


Remarque pour certains dipôles (condensateur, bobine), il n'y a pas de relation instantanée.

D) Propriétés

1) Dipôle (non) polarisé

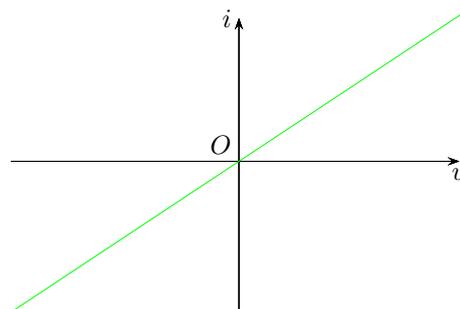
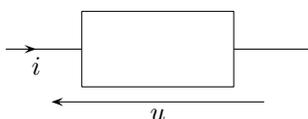
Le dipôle est non polarisé si U est changé en $-U$ quand i est changé en $-i$:



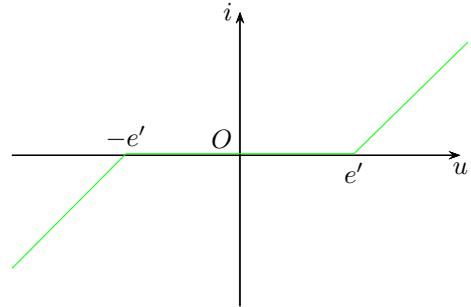
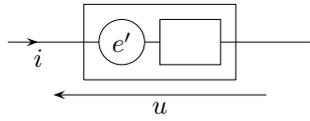
(On a ainsi une fonction impaire)

Exemples

Résistance

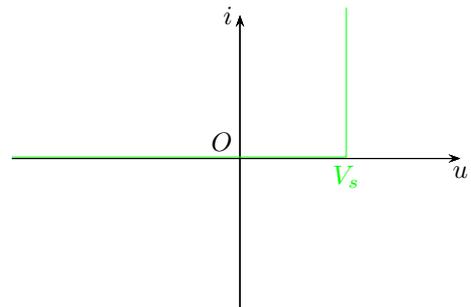
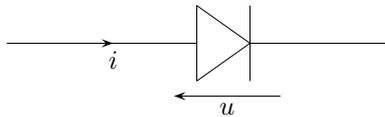


Récepteur de force contre-électromotrice



Si $i > 0$, $u = e' + ri$ Si $i < 0$, $u = -e' + ri$ Si $u \in [-e', e']$, $i = 0$

Dipôle polarisé (convention récepteur)



V_s : tension de seuil

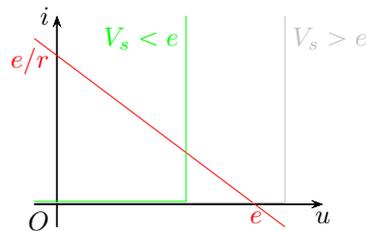
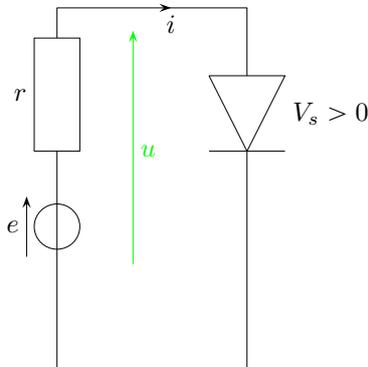
Caractéristique affine par morceaux :
$$\begin{cases} i = 0 & \text{si } u \leq V_s \\ u = V_s & \text{si } i > 0 \end{cases}$$

2) Dipôle actif ou passif

Un dipôle actif est un dipôle dont la caractéristique ne passe pas par O , ou $i \neq 0$, même si $U = 0$.
Exemple : générateur linéaire.

E) Point de fonctionnement

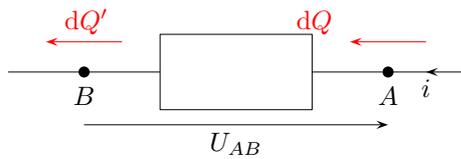
Exemple



Le point (u, i) de fonctionnement appartient à la fois à la caractéristique de la pile (en convention générateur) et à celle de la diode (en convention récepteur). Il appartient donc à l'intersection des deux.

- Si $V_s < e$: $u = V_s$ $i = \frac{e - V_s}{r} > 0$
- Si $V_s > e$: $u = e$ $i = 0$

F) Puissance électrocinétique reçue par un dipôle



dQ : quantité de charge qui entre en A entre t et $t + dt$. $i_{AB} = \frac{dQ}{dt}$; $dQ = i_{AB} dt$

dQ' : quantité de charge qui entre en B entre t et $t + dt$. $dQ' = i_{AB} dt = dQ$

La charge dQ apporte une énergie électrique $dQ \times v_A$

La charge dQ' emporte une énergie électrique $dQ' \times v_B$

$$\begin{aligned} \delta W \text{ (énergie reçue par le dipôle entre } t \text{ et } t + dt) &= dQ \times v_A - dQ' \times v_B \\ &= i_{AB} \times dt \times (v_A - v_B) = i_{AB} \times dt \times u_{AB} \end{aligned} \quad (1.8)$$

On définit $P = \frac{\delta W}{dt}$, puissance électrique reçue par le dipôle.

Ainsi, $P = i_{AB} \times u_{AB} = u \times i$ (convention récepteur), ou $P = -u \times i$ (générateur)

Si $P > 0$: le dipôle reçoit de l'énergie électrique qu'il convertit en énergie mécanique (moteur), lumineuse (ampoule), chaleur (résistance) ou chimique (électrolyseur). Le dipôle est qualifié de récepteur.

Si $P < 0$: Le dipôle fournit de l'énergie électrique en transformant l'énergie mécanique (dynamo), lumineuse (photopile) ou chimique (pile). Le dipôle est qualifié de générateur.