

Chapitre 1 : Lois de Kirchhoff, dipôles électrocinétiques

I Le courant électrique

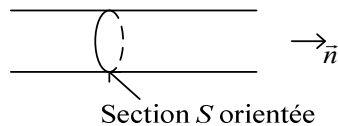
A) Définition

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, $dq < 0$.

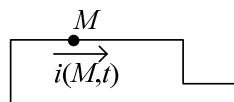
Alors i ou $i_s = \frac{dq}{dt}$, intensité du courant traversant S dans le sens donné par

\vec{n} . le sens de \vec{n} définit le signe de i .

$$[i] = A = C \cdot s^{-1}$$

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 $\frac{\partial \bullet}{\partial t} = 0$
- 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 $t + dt$

A l'instant $t + dt$, on a :

$$Q(t + dt) = Q(t) + dq_1 - dq_2$$

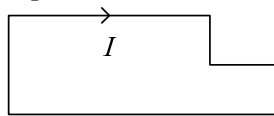
$$\Leftrightarrow Q(t + dt) - Q(t) = dq_1 - dq_2 = i(M_1, t)dt - i(M_2, t)dt$$

$$\Leftrightarrow \frac{dQ}{dt} = i(M_1, t) - i(M_2, t)$$

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

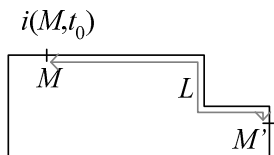
Donc $i(M_1, t) = i(M_2, t)$

Représentation :



C) Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)

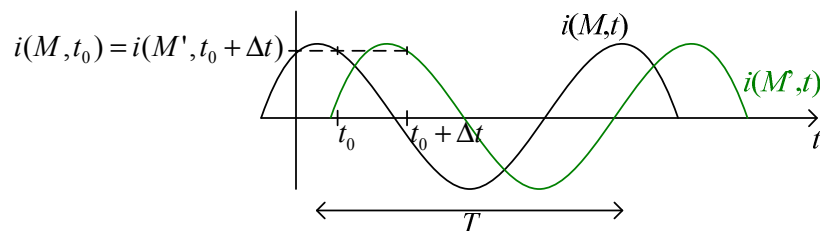
On considère un circuit simple en régime variable :



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



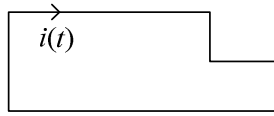
si $\Delta t \ll T$ (temps caractéristique des variations de i en M), $i(M, t) \approx i(M', t) = i(t)$

$$\Delta t \ll T \Leftrightarrow \frac{L}{c} \ll \frac{1}{f} \Leftrightarrow f \ll \frac{c}{L}$$

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

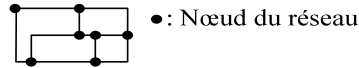
La condition est donc satisfaite.

Représentation :



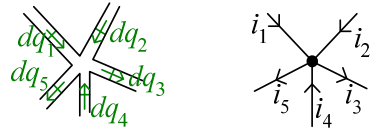
D) Loi des nœuds

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

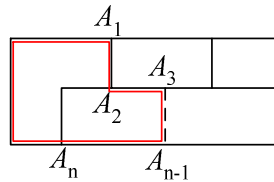
A) Potentiel électrique

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

$$\begin{array}{c} \leftarrow U_{MM'} \\ \times \quad \quad \quad \times \\ M \quad \quad \quad M' \\ U_{MM'}(t) = v(M, t) - v(M', t) \end{array}$$

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



On pose :

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

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

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 :

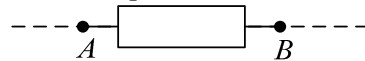
$$\sum_{k \text{ branches}} \varepsilon_k U_k = 0, \text{ où } \begin{cases} \varepsilon_k = 1 \text{ si la tension est dans le même sens} \\ \varepsilon_k = -1 \text{ si la tension est dans le sens inverse} \end{cases}$$

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

III Dipôles électrocinétiques

A) Définition

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

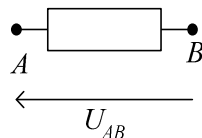


A et B sont les bornes du dipôle.

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. $i_{A \rightarrow B} = -i_{B \rightarrow A}$

$$U_{AB} = v_A - v_B = -U_{BA}$$

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

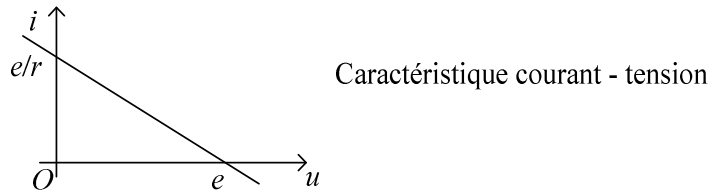
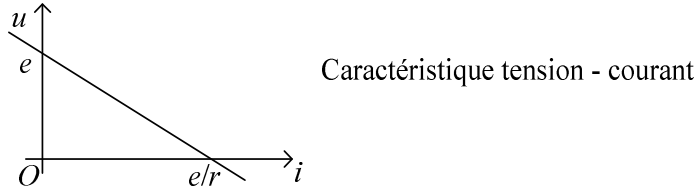
C) Caractéristique d'un dipôle

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

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)

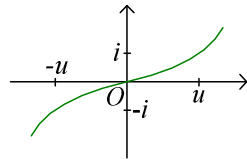


Remarque : pour certains dipôles (condensateur, bobine), il n'y a pas de relation instantanée.

D) Propriétés

1) Dipôle (non) polarisé

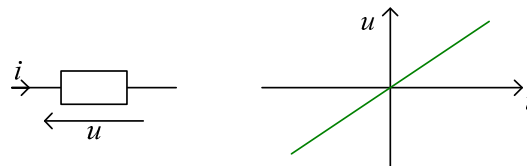
Le dipôle est non polarisé si U est changé en $-U$ quand i est changé en $-i$:



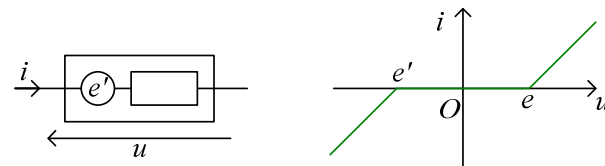
(On a ainsi une fonction impaire)

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

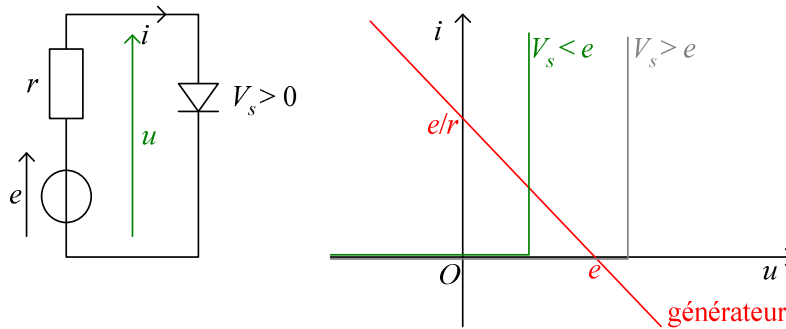
Caractéristique affine par morceaux : $\begin{cases} i = 0 & \text{si } u \leq V_s \\ i = V_s & \text{si } i > 0 \end{cases}$

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 :

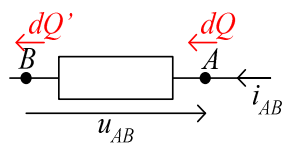


Le point (u, i) de fonctionnement appartient à la fois à la caractéristique de la pile (en convention générateur) et à celle de la diode (en convention récepteur). Il appartient donc à l'intersection des deux.

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 $dQ' \times v_B$

δW (énergie reçue par le dipôle entre t et $t + dt$) = $dQ \times v_A - dQ' \times v_B$

$$\delta W = i_{AB} \times dt \times (v_A - v_B) = i_{AB} \times dt \times u_{AB}$$

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.