



# Chapitre 1 : Lois de Kirchhoff, dipôles électrocinétiques

## I Le courant électrique

### A) Définition

#### 1) Courant électrique

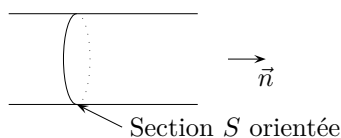
C'est un mouvement d'ensemble de particules chargées.

**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  $t + dt$ .

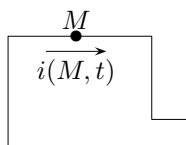
$dq > 0$  si les charges  $+$  vont dans le sens de  $\vec{n}$  ou les charges  $-$  dans le sens de  $-\vec{n}$ . Sinon,  $dq < 0$ .

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  $t + dt$

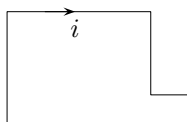
À l'instant  $t + dt$ , on a :

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

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

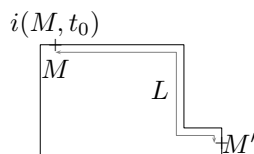
Donc  $i(M_1, t) = i(M_2, t)$

Représentation :



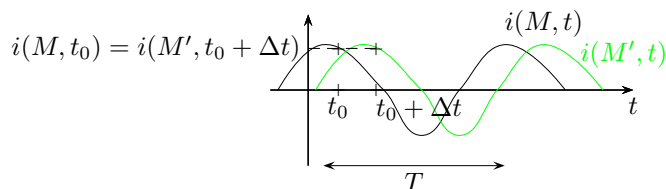
**C) Approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS)**

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  $\Delta t$  est le temps nécessaire pour que l'information arrive à  $M'$ , c'est-à-dire  $\Delta t = \frac{L}{c}$

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



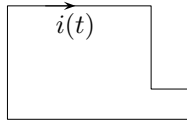
si  $\Delta t \ll T$  (temps caractéristique des variations de  $i$  en  $M$ ),  $i(M, t) \approx i(M', t) = i(t)$

$$\Delta t \ll T \iff \frac{L}{c} \ll \frac{1}{f} \iff f \ll \frac{c}{L} \quad (1.3)$$

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

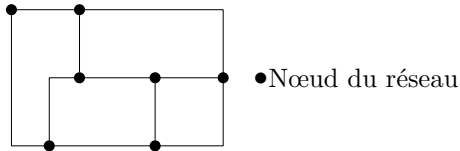
La condition est donc satisfaite.

Représentation :



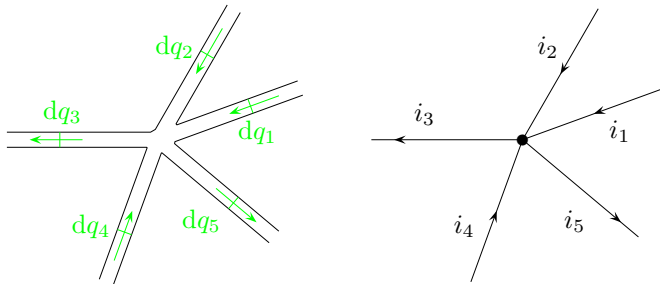
### D) Loi des nœuds

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  $\begin{cases} \varepsilon_k = 1 & \text{si le courant entre} \\ \varepsilon_k = -1 & \text{si le courant sort} \end{cases}$

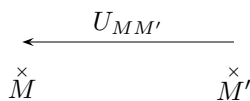
## II Potentiel et tension électrique

### 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 :



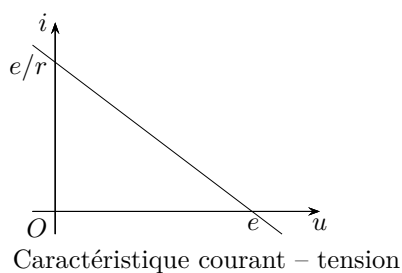
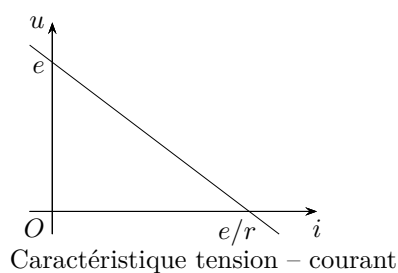
### C) Caractéristique d'un dipôle

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)

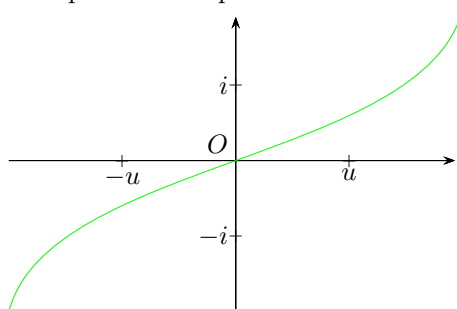


**Remarque** pour certains dipôles (condensateur, bobine), il n'y a pas de relation instantanée.

### D) Propriétés

#### 1) Dipôle (non) polarisé

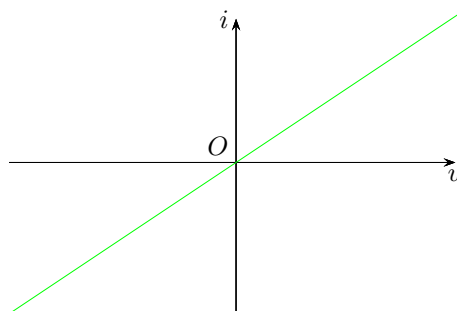
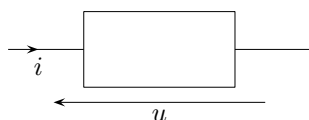
Le dipôle est non polarisé si  $U$  est changé en  $-U$  quand  $i$  est changé en  $-i$  :



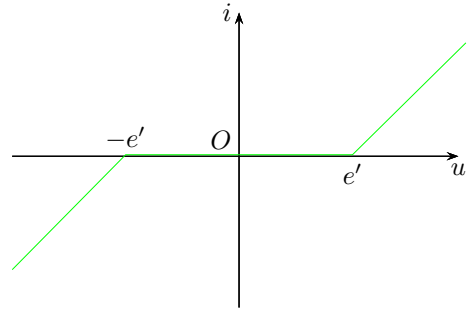
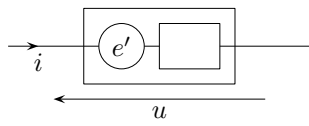
(On a ainsi une fonction impaire)

**Exemples**

**Résistance**

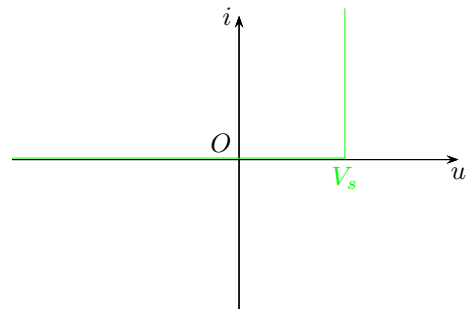
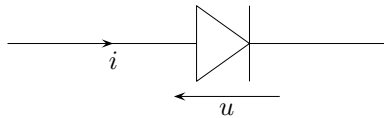


**Récepteur de force contre-électromotrice**



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

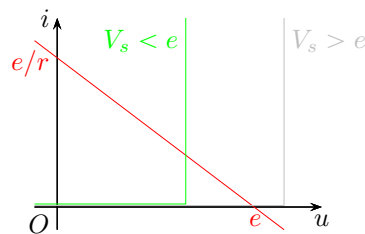
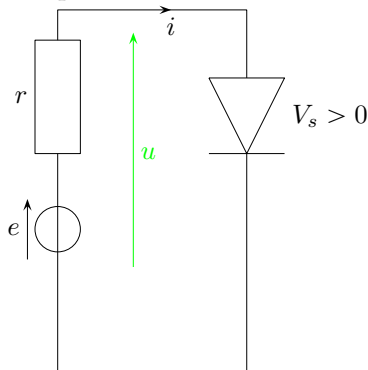
Caractéristique affine par morceaux : 
$$\begin{cases} i = 0 & \text{si } u \leq V_s \\ u = V_s & \text{si } i > 0 \end{cases}$$

**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**

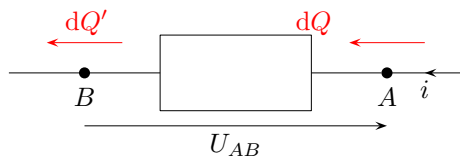
Exemple



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.