

# Transport de charges

## Les charges et le courant

### Objectifs :

- Densité de charge et intensité du courant
- Vecteur densité de courant électrique
- Conservation de la charge & LDN
- Loi d'Ohm
- Résistance électrique et effet Joule

### Révision SUP :

- Interaction électrostatique
- Définition du courant EC
- ARQS
- Notion de flux

## I - Les charges et le courant

### 1 - Densité de charge

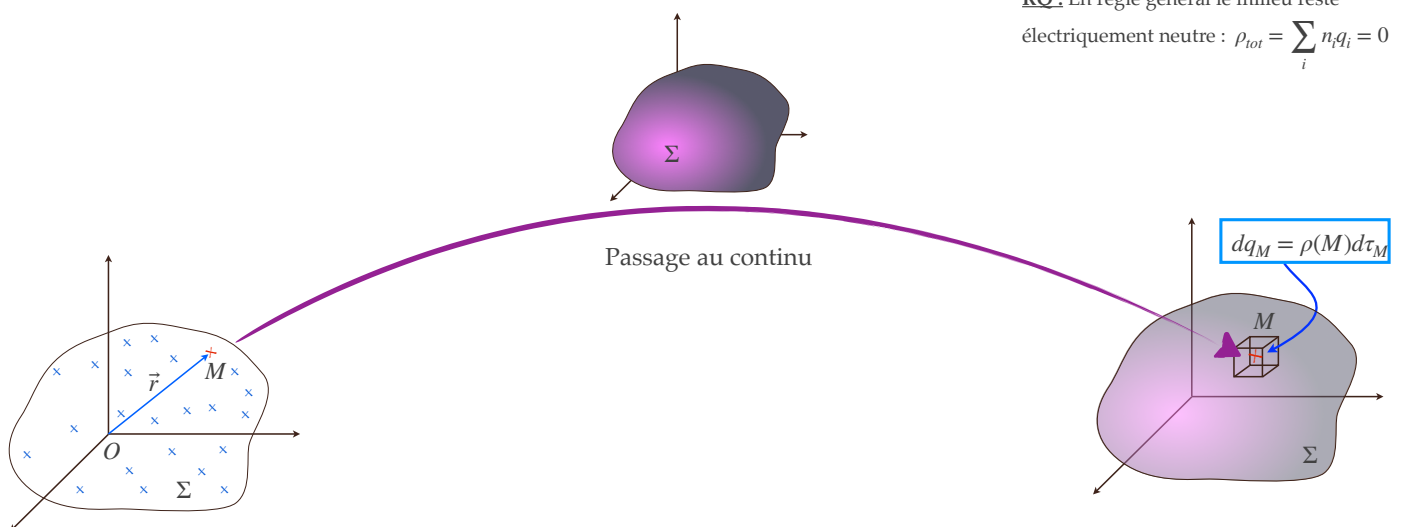
L'ensemble des charges (électrons etc...) est une collection de points  $M_i$  et de charge  $q_i$  que l'on peut décrire par une représentation continue au moyen d'une fonction scalaire  $\rho(M)$  ou **densité volumique de charge** telle que la charge dans un élément de volume  $d\tau$  vaut :  $dq = \rho(M)d\tau$

Soit :

- $n_p$  : densité microscopique de charge
- $q_p$  : la charge considérée

**RO :** Selon le PB on peut ne considérer que les porteurs mobiles ou porteurs fixes

**RO :** En règle général le milieu reste électriquement neutre :  $\rho_{tot} = \sum_i n_i q_i = 0$



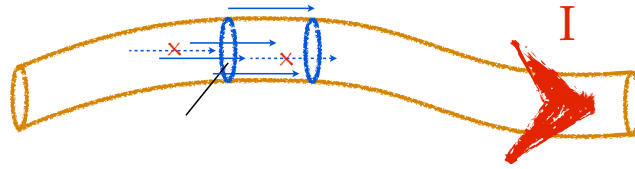
## 2 - Le courant :

Soit un conducteur filiforme de section  $S$ ,  $I_s$  quantifie la quantité algébrique de charge qui traverse  $S$  par unité de temps. Il s'exprime en Ampère. A priori  $I_s$  est une fonction du temps et de la position sur le fil :

**Révision SUP :** Calcul du courant comme un débit de charges.

Montrer que  $I = S v_p n_p q_p$

- $n_p$  nb de porteurs/unité vol.
- $v_p$  vitesse des porteurs
- $q_p$  charge d'un porteur
- $S$  section du fil

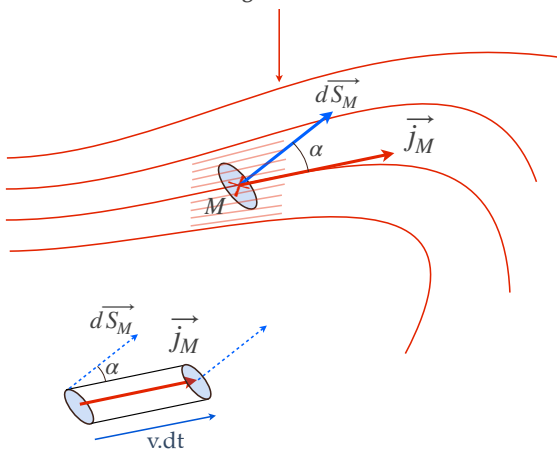


## 3 - Vecteur densité de courant

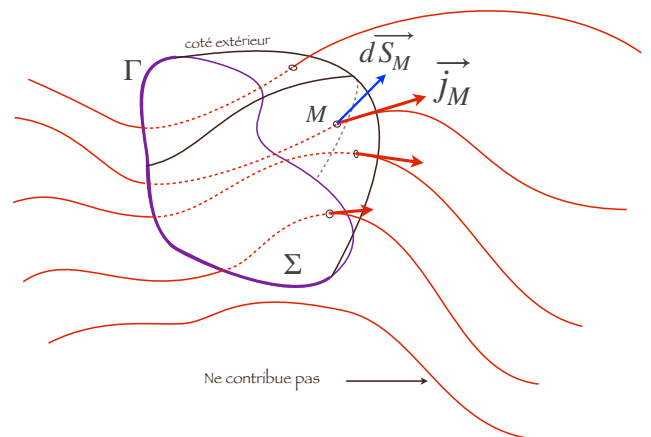
Plus généralement le courant est présent en tout point  $M$  du matériau conducteur, et peut être caractérisé par une charge  $dq$  passant à travers un élément de surface  $d\vec{S}_M$  :  $dq_M = q_p n_p d^3V_M = q_p n_p d\vec{S}_M \cdot \vec{v}_M dt = I_M dt$  (cf - Diffusion de particules)

**Définition :** Afin de calculer le courant on introduit le **vecteur densité de courant**  $\vec{j}_M$  qui indique au point  $M$ , la direction le sens et l'intensité de l'écoulement des charges. Soit :  $\vec{j}_M = q_p n_p \vec{v}(M)$  avec  $\vec{v}(M) = \vec{v}_p$  à l'échelle mésoscopique : mouvement coordonné des charges.

A l'échelle mésoscopique, le mouvement des charges est coordonné. On peut raisonner en terme de **ligne de courant**.



## 4 - Intensité du courant



Le **Courant** est donc interprété comme le :  
**flux du vecteur densité de courant à travers une surface.**

**Rq :** en régime permanent  $I_\Gamma$  ne dépend que de  $\Gamma$  et non de  $\Sigma$

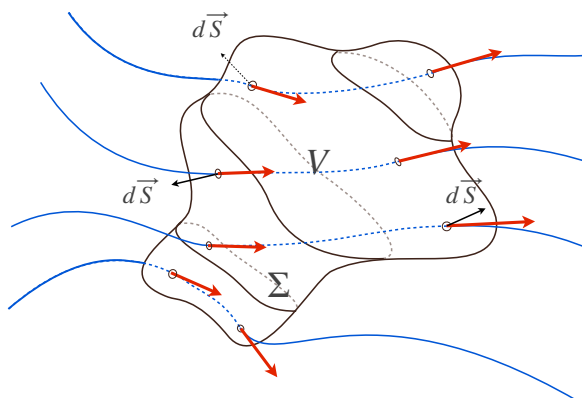
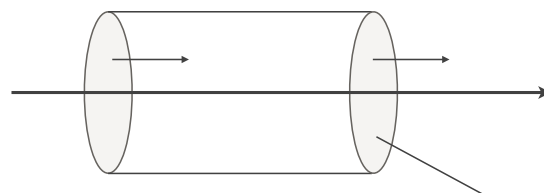
## II - Conservation de la charge

### 1 - Bilan unidirectionnel de conservation de la charge

Nous allons calculer l'augmentation de charge  $dq$  au sein du volume élémentaire de 2 façons :

- Augmentation intrinsèque de la densité de charge  $\rho(t, x)$  au cours du temps.
- Augmentation de la charge par le courant entrant à travers ses frontières.

L'identification de ces 2 expressions est la traduction même de la conservation de la charge.

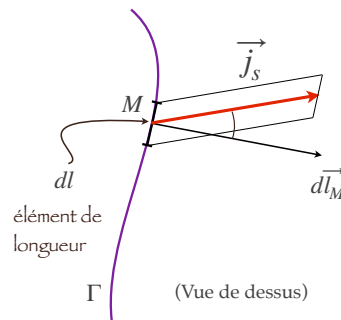
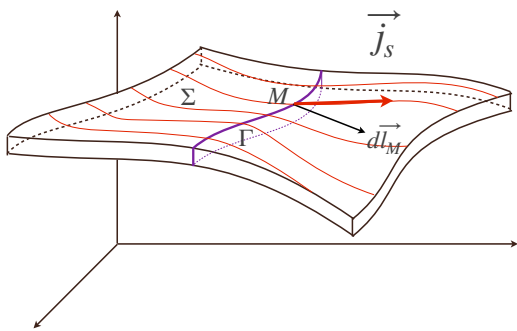


**Interprétation :**

$Div(\vec{j})$  est le flux **sortant** par unité de volume

Cf - fiche opérateurs vectoriels

3' - HP - Densité de courant surfacique  $\vec{j}_s(M)$  : dans bien des cas il est pratique d'envisager une distribution surfacique plutôt que volumique



$$dI_M = \vec{j}_s(M) \cdot d\vec{l}_M$$

$\vec{j}_s$  est donc en  $A \cdot m^{-1}$

$$I_\Gamma = \int_\Gamma \vec{j}_s \cdot d\vec{l}_M$$

$A$  —  $m$   
 $A \cdot m^{-1}$

Le courant est donc interprété comme le :  
« flux » du vecteur densité de courant à travers une ligne.

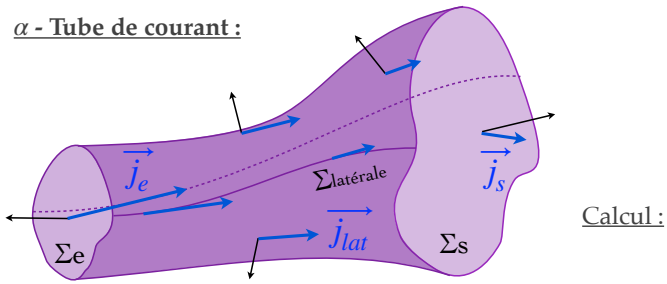
**NB :** le vecteur  $d\vec{l}_M$  a pour norme  $dl$  mais il est dirigé selon la normale à  $\Gamma$  dans le plan tangent à la surface  $\Sigma$  au point  $M$ .

- Exo :**
- Soit  $e$  l'épaisseur de la plaque  $\rightarrow$  relier  $\vec{j}$  et  $\vec{j}_s$
  - Soit  $S$  la section d'un fil  $\rightarrow$  relier  $\vec{j}$  et  $I$

### III - Etude du courant en régime stationnaire

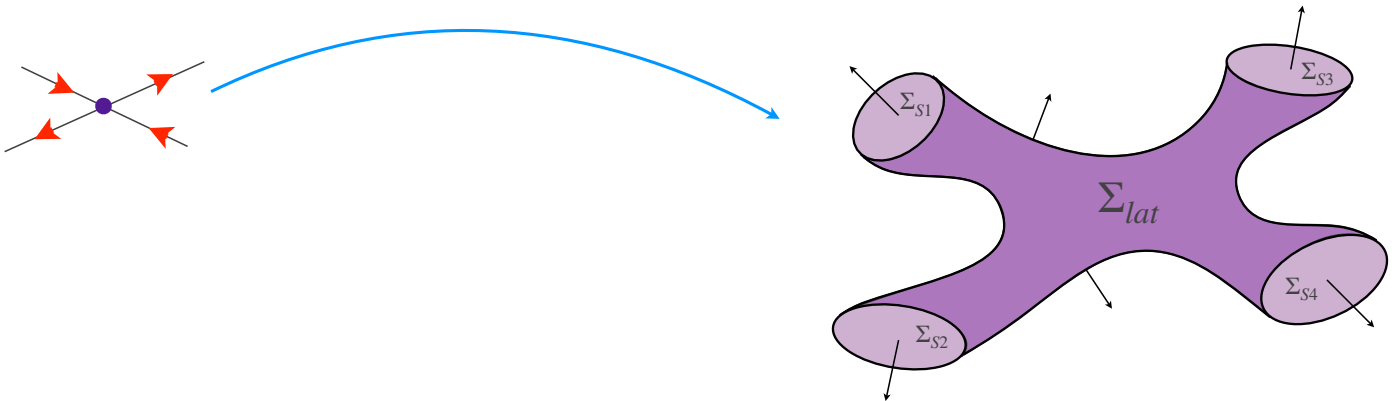
#### 1 - Conséquences de la conservation de la charge en régime stationnaire

##### $\alpha$ - Tube de courant :



##### $\beta$ - Loi des noeuds :

Dans l'ARQS il n'y a pas d'accumulation de charge  $dq = 0$  au cours du temps soit localement  $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$

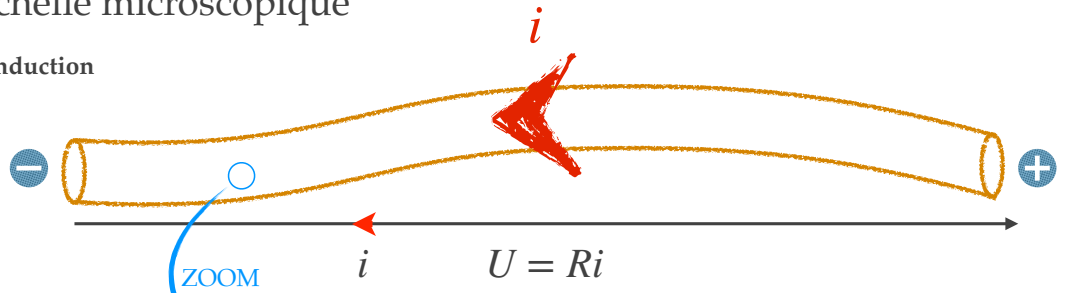


Ecriture locale de la L.D.N :

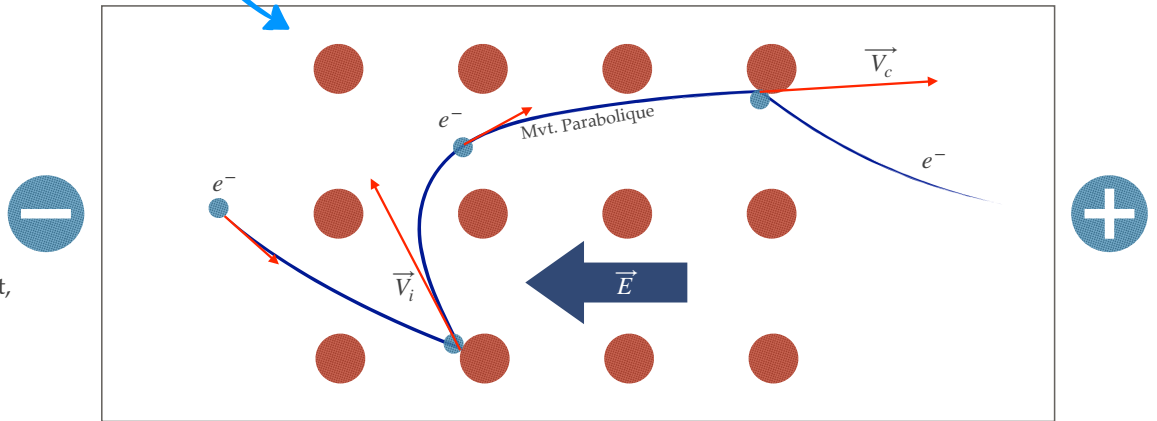
# IV - Le courant à l'échelle microscopique

## 1 - Modèle de Drude de la conduction

Macroscopiquement on observe le flot moyen d'un gaz d'électron

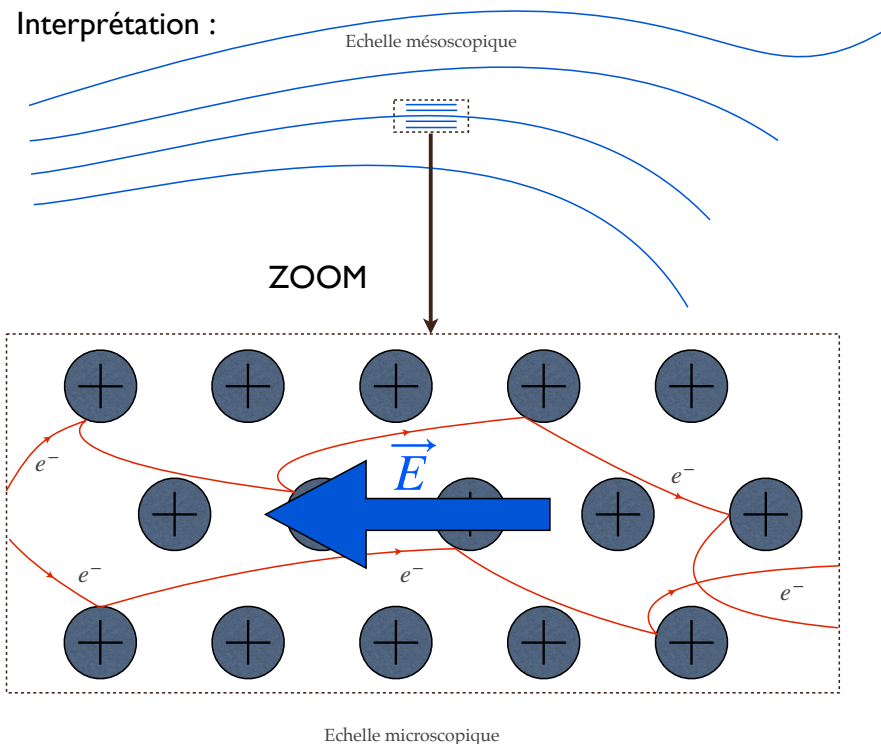


Microscopiquement, l'électron rebondit aléatoirement au sein d'un réseau de cations



Noter que les cations sont aussi agités thermiquement, et peuvent donc relancer l'électron dans toutes les directions.

### Interprétation :



La vitesse initiale de l' $e^-$  après un choc est le résultat aléatoire produit par :

- Ses point et angle d'impact sur le réseau cationique. (marche aléatoire)
- Le mouvement aléatoire du cation lui-même qui s'agite autour de sa position moyenne. (→ agitation thermique)

Après un choc le modèle de Drude consiste à penser que, raisonnablement, **la vitesse initiale de l' $e^-$  est nulle en moyenne** :

A l'échelle mésoscopique ces successions d'accélération/arrêt se traduit par une ⇒ **vitesse constante du flot de porteurs de charges mobiles**