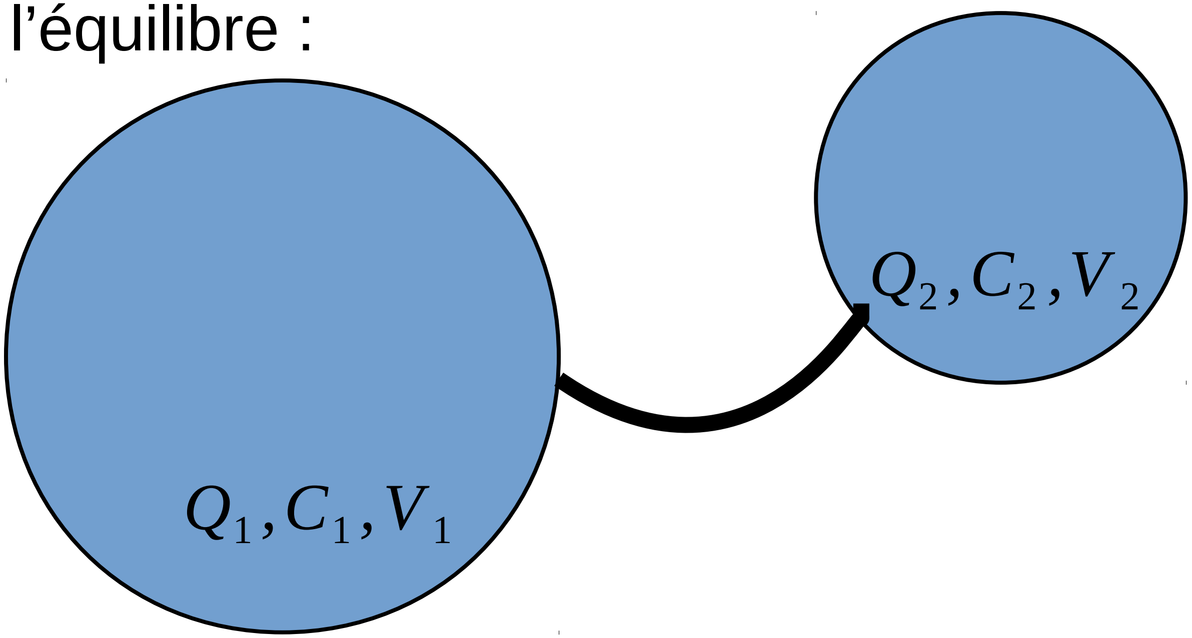
Physique - Électromagnétisme
Chapitre 3 – Electrocinétique

SOMMAIRE

I – Le courant électrique – 1. Rupture de l'équilibre électrostatique

On reprend l'exemple des deux sphères conductrices chargées

A l'équilibre :



$$Q_1 = C_1 . V_1$$

$$Q_2 = C_2 . V_2$$

$$V_2 > V_1$$

On rompt l'équilibre : on les relie par un fil métallique

$$\Delta Q_1 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}\left(V_1 - V_2\right) \qquad \Delta Q_2 = -\Delta Q_1$$

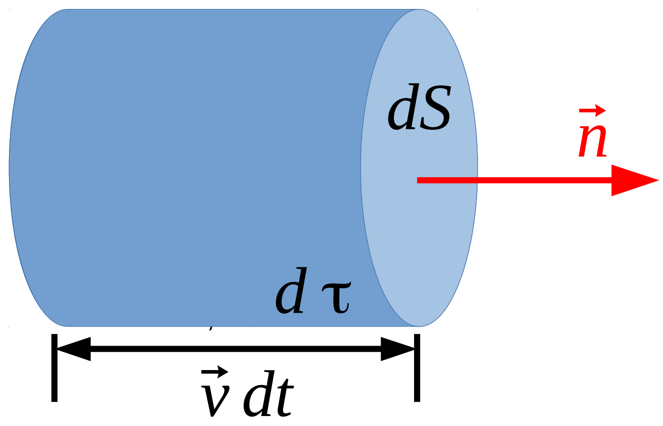
=> déplacement de charges

Il y a passage d'un courant électrique à travers le fil

I – Le courant électrique – 2. Densité de courant

Considérons des charges de vitesse v traversant une surface dS

Pendant le temps dt :



Charges dans le volume dτ :

$$dq=\rho_m\left(\vec{v}\,dt\,.\vec{n}\,dS\right)$$

$$\frac{dq}{dt}=\rho_m\vec{v}\,.\vec{n}\,dS=\vec{j}\,.\vec{n}\,dS$$

$\vec{j}=\rho_m\vec{v}$ est appelée la densité de courant

A travers une surface S :

$$\frac{dQ}{dt} = \iint_S \vec{j}\,\vec{n}\,dS$$

$$I = \iint_S \vec{j}\,\vec{n}\,dS$$

I est l'intensité du courant à travers la surface S

I s'exprime en Ampère (A)

=> j s'exprime donc en A.m^{-2}

Régime stationnaire == $\frac{d}{dt}=0$ **=> I = 0**

$$\oiint_S \vec{j}\,\vec{n}\,dS=0$$

=> le courant traversant une surface fermée doit être nul

$$\iiint_V \mathrm{div}\,\vec{j}\,.dV=0$$

$$\boxed{\mathrm{div}\,\vec{j}=0}$$

Loi de conservation de la charge

=>l'intensité à travers une section d'un tube de courant est toujours la même

Modèle : - matériau conducteur
- champ électrique $\vec{E}=E_x\vec{u}_x$ (attention hors équilibre)

Hypothèse : - un seul type de charges q mobiles (électrons)
- densité volumique de charge n
- masse m de l'électron

Bilan des forces : - Force électrique : $\vec{F}_e=q\vec{E}$
- Force de frottement (interactions charges/réseau)

$\vec{F}_f=\frac{-m\vec{v}}{\tau}$ Avec τ = constante homogène à un temps

PFD :

$$m\frac{d\vec{v}}{dt}=\vec{F}_e+\vec{F}_f$$

$$m\frac{d\vec{v}}{dt}=q\vec{E}+\frac{-m\vec{v}}{\tau}$$

En projetant suivant la direction du champ électrique : $\boxed{m\frac{dv_x}{dt}+\frac{mv_x}{\tau}=qE_x}$ **EDL1**

Solution de l'équation $$v_x = \frac{q\tau}{m} E_x + A e^{-t/\tau}$$

Si τ très faible (à vérifier) $$v_x = \frac{q\tau}{m} E_x \quad \Rightarrow \quad \vec{v} = \frac{q\tau}{m} \vec{E}$$

La densité de courant vaut donc : $$\vec{j} = nq\vec{v} = \frac{nq^2\tau}{m} \vec{E} = \gamma \vec{E}$$

Où γ est la conductivité du matériau

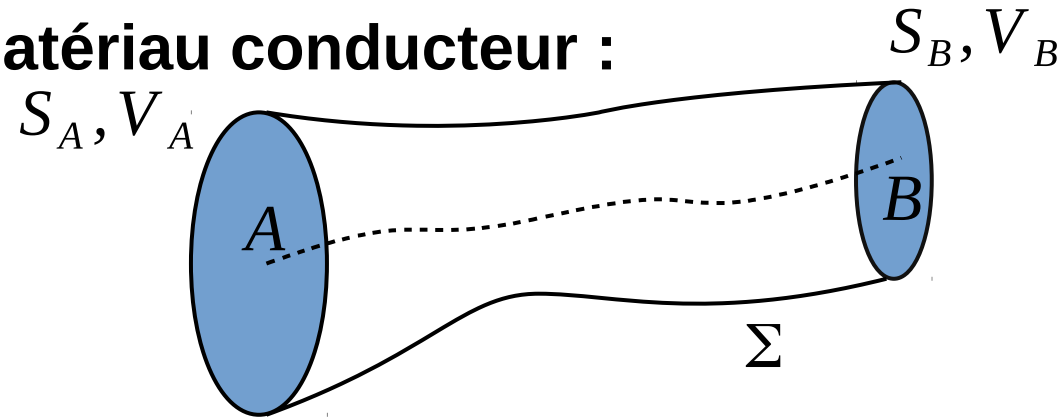
$$\boxed{\vec{j} = \gamma \vec{E}}$$ **Loi d'Ohm**

Cas du cuivre :

$$\gamma = 5{,}8 \cdot 10^{7}\,\Omega^{-1} \cdot \mathrm{m}^{-1}$$
$$n = 8{,}5 \cdot 10^{28}\,\mathrm{e} \cdot \mathrm{m}^{-3}$$
$$q = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$$
$$m = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}$$

$$\tau = \frac{m\gamma}{nq^2} = 2 \cdot 10^{-14}\,\mathrm{s}$$
$$\vec{v} = \frac{q\tau}{m} \vec{E} = 3 \cdot 10^{-3} \vec{E}$$

Soit un matériau conducteur :



L'intensité I : $I = \iint_S \vec{j} \cdot \vec{n}\, dS$

La circulation du champ électrique : $V_A - V_B = \int_A^B \vec{E} \cdot \vec{dl} = \int_A^B \frac{\vec{j}}{\gamma} \cdot \vec{dl}$

Par un raisonnement similaire à la capacité d'un matériau :
on considère deux courants I_1 et I_2 parcourant le conducteur

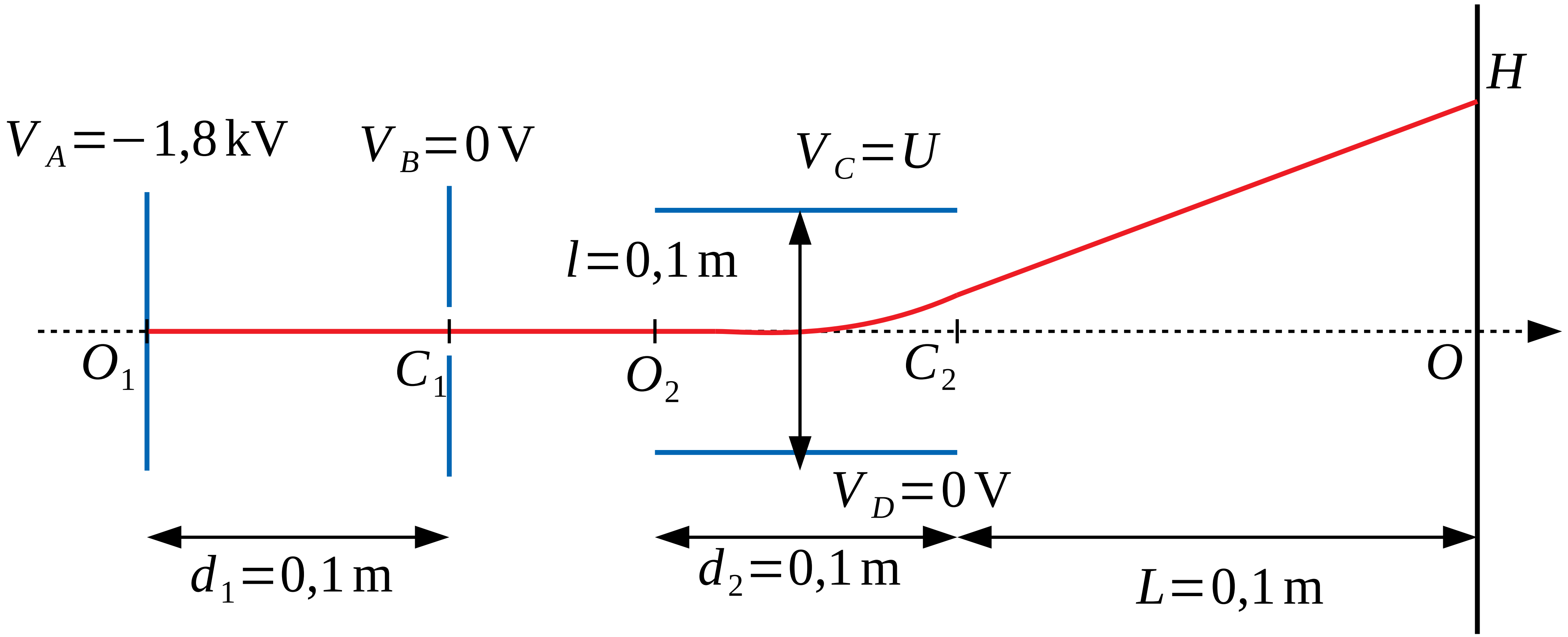
$$I_1 \propto I_2 \Rightarrow \vec{j}_1 \propto \vec{j}_2 \Rightarrow (V_A - V_B)_1 \propto (V_A - V_B)_2$$

$$\Rightarrow I \propto (V_A - V_B)$$

$\boxed{V_A - V_B = R\, I}$ Où R est la résistance du conducteur (en Ohms)

Fil conducteur de section S constante sur toute la longueur du matériau, de longueur L et de résistivité ρ

Annexe – Exemple de courants dans le vide : le tube cathodique



Forme locale théorème de Gauss :

$$\mathrm{div}\,\vec{E}=\frac{\rho}{\epsilon_0}=0 \longrightarrow$$ Champ électrique uniforme

$$E_x=constante$$