

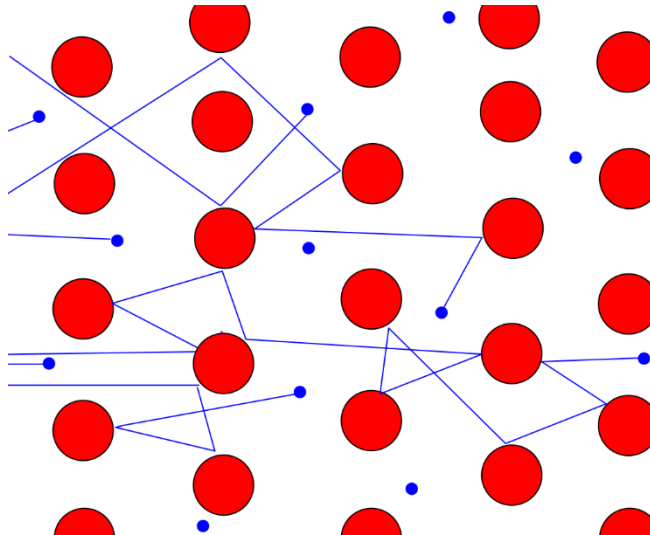


Éléments de Physique : Électromagnétisme

CHAPITRE 3 : COURANT ET LOI D'OHM

Table des matières

1. Courant électrique
2. Théorie atomique de la résistance
3. Loi d'Ohm et force électromotrice



Charges en mouvement

Précédemment, nous avons vu qu'il existe des **charges électriques**, à l'origine de **forces**, **champs** et **potentiels** électriques.

Que se passe-t-il lorsque **les charges se déplacent** ?

- Des phénomènes radicalement nouveaux apparaissent : magnétisme, force de Lorentz...
- Le mouvement peut être :
 - continu (courant DC)
 - oscillant (courant AC, rayonnement)

Le mouvement résulte d'une force, donc d'une différence de potentiel, appliquée sur une charge :

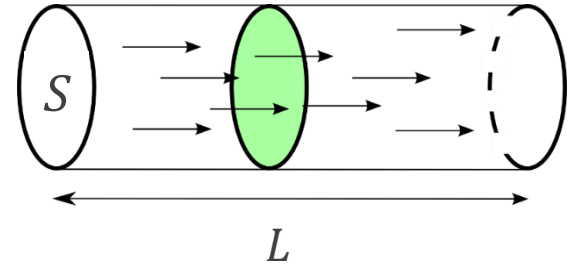
$$m\mathbf{a} = \mathbf{F} = q\mathbf{E} = -q\nabla V$$

Courant électrique

Le **courant électrique** dans un fil correspond à la charge (en coulombs) qui traverse sa section (en m²) en une seconde :

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Unité : [C/s] = ampère [A]



Par convention, le courant est positif pour des charges positives.

Les charges en mouvement peuvent être :

- des électrons (chargés négativement, $e = 1,602 \times 10^{-19}$ C)
- des ions en solution ou dans le vide
- d'autres particules (muons, protons...)

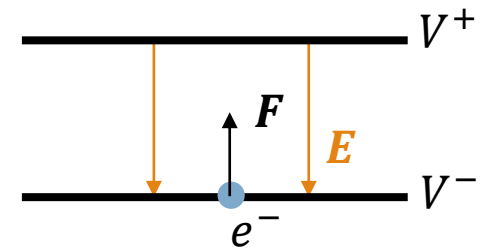
Courant électrique : exemple I

Courant dans le vide

Une différence de potentiel $\Delta V = 100 \text{ V}$ est appliquée entre 2 plaques distantes de 1 m \rightarrow électrons en MRUA.

Masse d'un électron : $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$

Charge d'un électron : $-e = -1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$



➤ Initialement :

$$U = qV^- \qquad K = 0$$

➤ Après accélération :

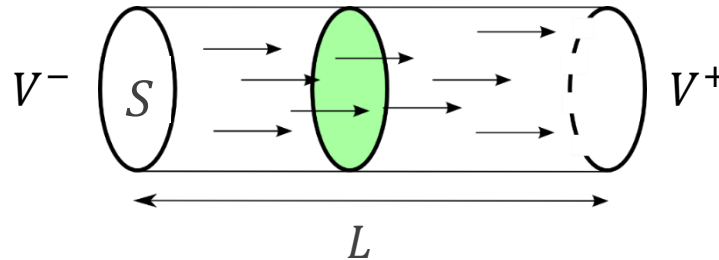
$$U = qV^+ \qquad K = -\Delta U = -q(V^+ - V^-) = -q\Delta V = \frac{mv^2}{2}$$

$$\text{Vitesse des électrons : } v = \sqrt{\frac{2e\Delta V}{m}} = 5,9 \times 10^6 \text{ m/s}$$

Courant électrique : exemple II

Courant dans un fil de cuivre

On observe que ΔV constant donne I constant \rightarrow MRU.



Pour un fil de longueur L et rayon $R = 1$ mm parcouru par un courant de $I = 10$ A, avec une densité de charges $n = 8,38 \times 10^{28}$ électrons/m³ :

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{enLS}{\frac{L}{v}}$$

$$\Delta Q = enLS$$

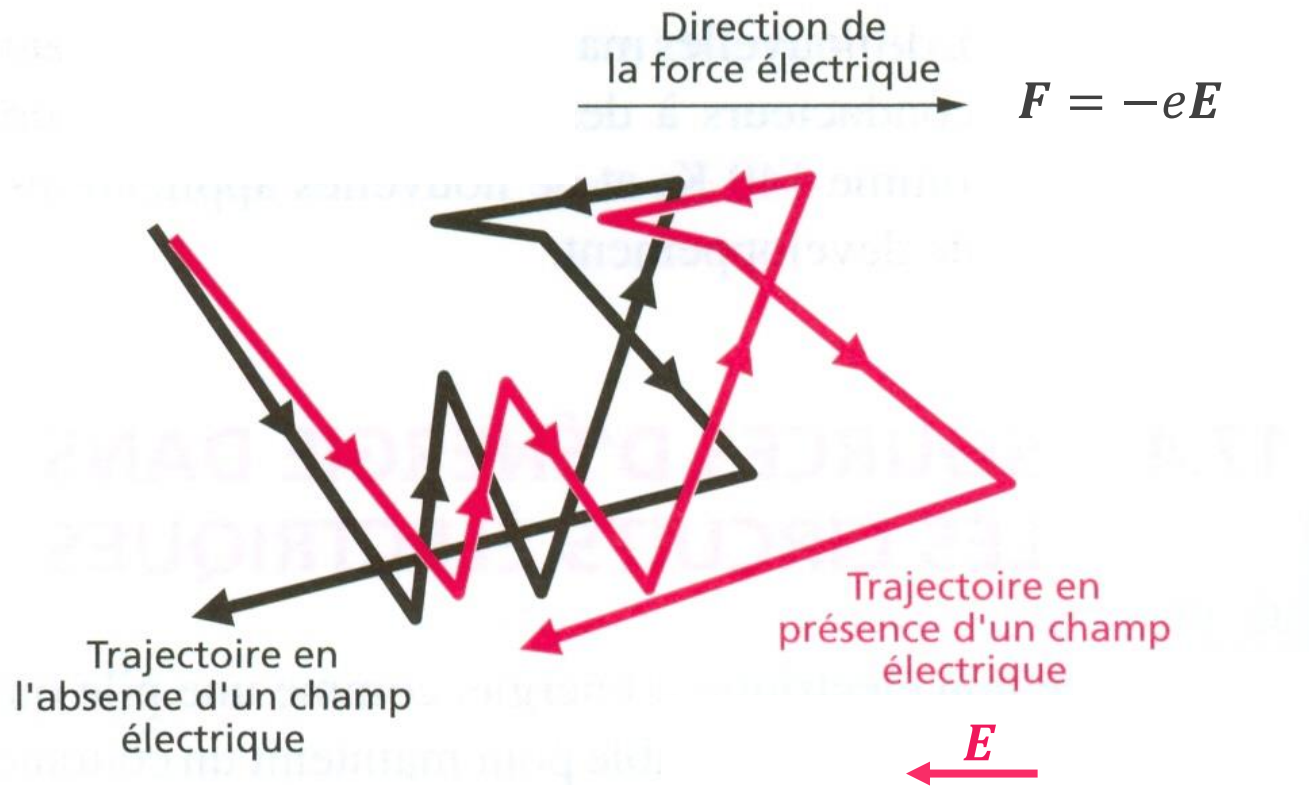
$$\Delta t = \frac{L}{v}$$

Donc $v = 2,37 \times 10^{-4}$ m/s...

Pourquoi I est-il constant et v si faible ?

Transport des électrons

En réalité, les électrons dans un matériau sont entraînés par le champ électrique, mais leur déplacement net est ralenti.

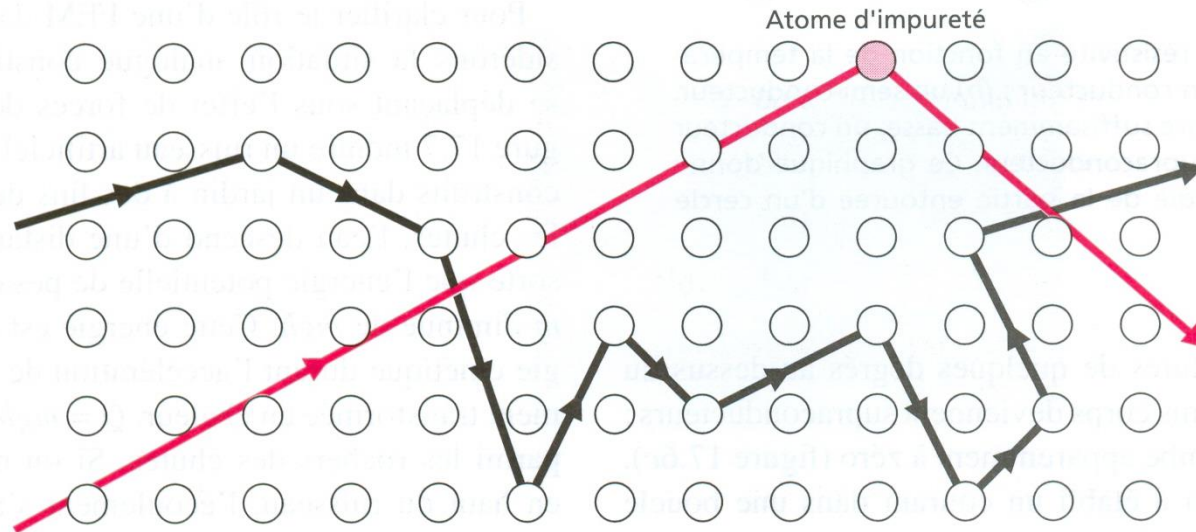


Mécanismes de résistance

Qu'est-ce qui ralentit les électrons ?

Diffusion et chocs sur :

- des impuretés
- des atomes déplacés
- d'autres électrons

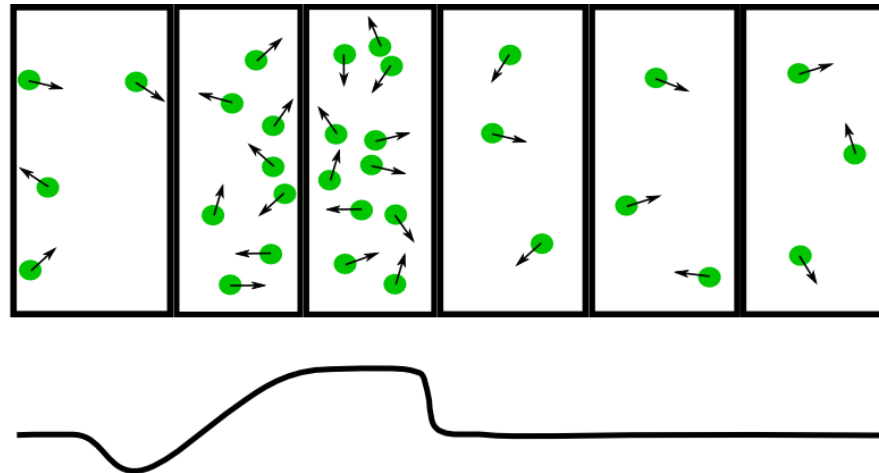


Propagation d'un signal

La variation de V ou E se propage beaucoup plus vite que les électrons (à une vitesse proche de celle de la lumière) : dès que l'électron bouge, son interaction coulombienne se fait sentir à distance.

Exemple : signal dans un câble téléphonique

La propagation du signal est semblable à une vague de pression : son dans l'air, vague dans la mer...

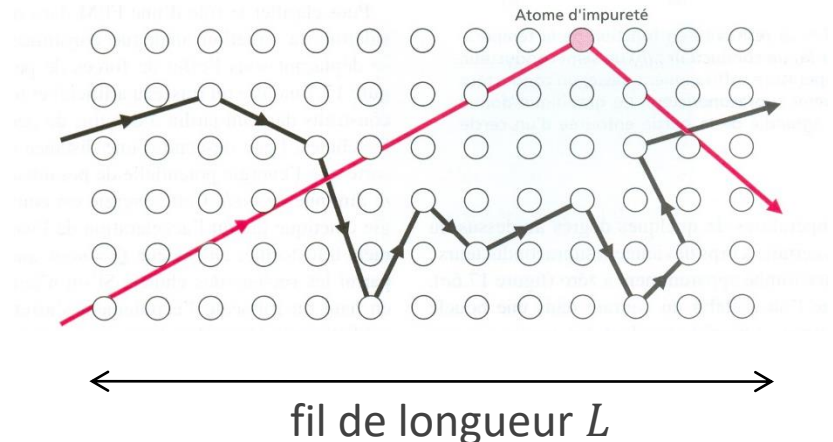


Théorie atomique de la résistance

Estimation de la vitesse moyenne des électrons

- Distance entre chocs = libre parcours moyen λ
- Vitesse thermique $u \sim 10^5$ m/s à température ambiante
- Temps de parcours entre deux chocs $t = \frac{\lambda}{u}$
- Accélération pendant le parcours $a = \frac{F}{m} = \frac{eE}{m} = \frac{e\Delta V}{mL}$
- Vitesse moyenne $v = \frac{1}{2}at = \frac{e\lambda\Delta V}{2mLu}$
- Courant électrique :

$$I = envS = \frac{ne^2\lambda S}{2mu} \Delta V$$



Résistivité et conductivité

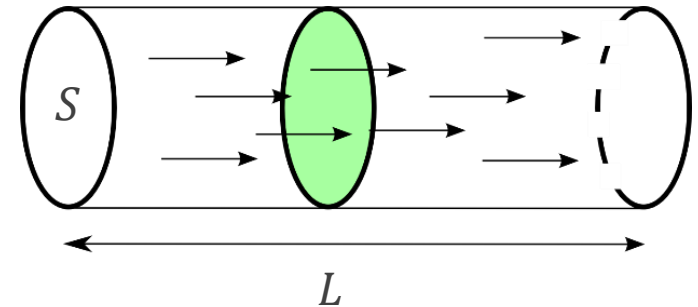
Lien entre description microscopique et macroscopique :

$$I = \frac{ne^2\lambda S}{2mu L} \Delta V \Leftrightarrow I = \frac{1}{R} \Delta V$$

La résistance dépend de la géométrie du fil :

➤ augmente linéairement avec L

➤ diminue linéairement avec S



On peut écrire :

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

$$\text{avec } \rho = \frac{2mu}{ne^2\lambda} \quad [\text{Ohm.m}]$$

La **résistivité** ρ est une propriété intrinsèque du matériau (ne dépend pas de la géométrie).

La **conductivité** σ est l'inverse de la résistivité :

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

$$[\text{Ohm}^{-1}.\text{m}^{-1}]$$

Quelques valeurs typiques

Matériau	Résistivité à 20°C ($\Omega \cdot m$)
Argent	16×10^{-9}
Cuivre	17×10^{-9}
Or	22×10^{-9}
Aluminium	28×10^{-9}
Plomb	208×10^{-9}
Eau pure	$1,8 \times 10^5$
Air	10^9 à 10^{15}
Bois	10^{14} à 10^{16}
Verre	10^{17}
Polystyrène	10^{20}

Loi d'Ohm

Les électrons subissent une force de frottement effective et ont une vitesse limite v , qui fixe le courant I .

Dans le régime d'équilibre, dans de nombreuses situations, I est simplement proportionnel à ΔV , ce qui se traduit par la **loi d'Ohm** :

$$\Delta V = RI$$

À partir de cette relation, on définit la **résistance** R .

Unités : Ohm (Ω)



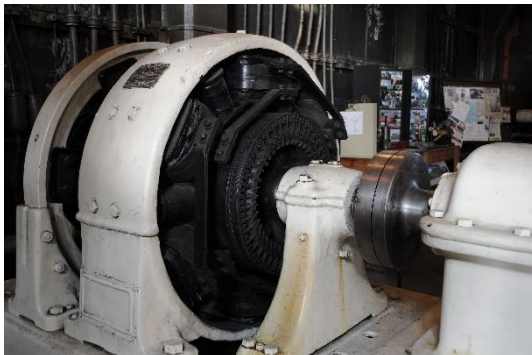
Origine de la différence de potentiel

D'où vient la différence de potentiel appliquée ?



➤ **Piles** : « réservoirs » de charges (+ et -)

L'énergie chimique se transforme en V électrique.



➤ **Générateurs** : effort électromécanique continu pour séparer les charges

L'énergie mécanique se transforme en V (voir induction).

Dans tous les cas, il faut une « pompe » à charges, qui leur fournit de l'énergie potentielle.

Force électromotrice

La **force électromotrice** (FEM) est la différence de potentiel à l'origine du mouvement des charges le long d'un circuit.

FEM = travail des forces extérieures non électriques (chimiques, magnétiques...) par unité de charge :

$$W_E = \Delta U_E = q\Delta V$$

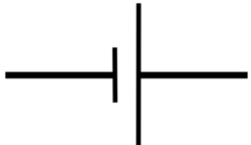
En d'autres termes, elle correspond au travail par unité de charge fourni par un générateur au circuit.

Comme le potentiel électrique, la FEM s'exprime en volts.

Pile électrique

Une **pile** est une source de différence de potentiel électrique à peu près constante.

- Deux réservoirs de charge sont séparés et maintiennent ΔV .
- Si des électrons passent vers l'anode, ils se recombinent avec des ions positifs. D'autres ions migrent pour les remplacer.
- La pile se décharge (lentement), à travers une membrane.

Symbole de la pile: -  +

