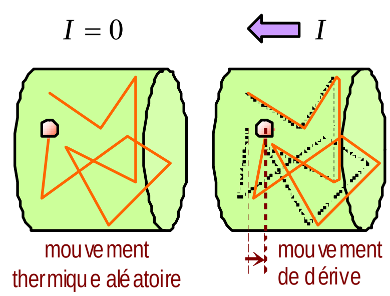
Chapitre 3.3 – La vitesse de dérive

Le mouvement aléatoire des électrons de conduction

Puisque les électrons de conduction sont des électrons de valence, ils sont invités à « sauter » d'un site électronique à l'autre. Ainsi, ces électrons bougent sans arrêt sans effectuer de mouvement net à des vitesses thermiques de l'ordre de 10^6 m/s.

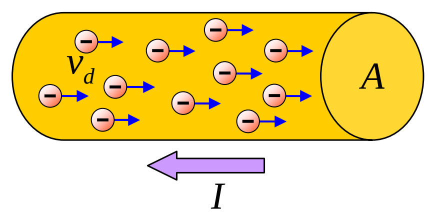
Lorsqu'une différence de potentiel est appliquée aux bornes d'un conducteur, un courant est établi et les électrons de conduction effectuent un mouvement net à une **vitesse de dérive**. Puisqu'il y a un nombre immense de charges libres pour transporter le courant, ils n'ont pas besoin de se déplacer à grande vitesse qui est de l'ordre de 10^{-3} m/s.



La vitesse de dérive

Le vitesse de dérive est la vitesse nette des électrons de conductions sous la présence d'un courant électrique. Elle peut être évaluée à partir du courant divisé par la densité des électrons libres n, de la charge élémentaire e et de l'aire de la section du fil A :

$$v_d = \frac{I}{nAe}$$



où v_d : Vitesse de dérive en mètre par seconde (m/s)

I : Courant électrique en ampère (A)

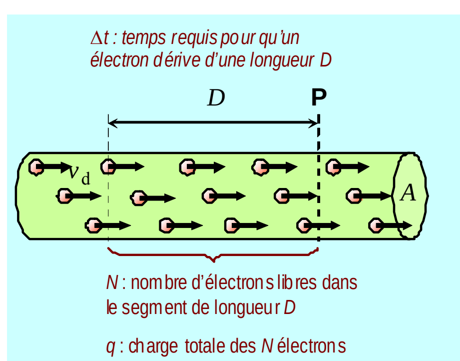
n : Densité des électrons libres par mètre cube (m^{-3})

A : L'aire de la section du fil en mètre carré (m^2)

e : Charge élémentaire en coulomb (C) $(1\ e = 1{,}6\times10^{-19}\ \mathrm{C})$

<u>Preuve :</u>

Imaginons un fil conducteur de longueur D, de section de surface A dont la densité des électrons libres est égale à n. Appliquons une différence de potentiel afin de générer un courant I.



Nous pouvons comptabiliser tous les électrons libres disponibles dans le fil grâce à la densité n et au volume V du fil :

$$N = nV \quad \Rightarrow \quad N = nAD \qquad (V = AD)$$

Nous pouvons également mesurer l'intervalle de temps Δt requis pour permettre aux N électrons de circuler dans le fil grâce au courant I :

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad \Rightarrow \quad \Delta q = I\Delta t \qquad \text{(Isoler } \Delta q\text{)}$$

$$\Rightarrow \quad (Ne) = I\Delta t \qquad \text{(Remplacer } \Delta q = Ne\text{)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{nADe = I\Delta t} \qquad \text{(Remplacer } N = nAD\text{)}$$

Supposons maintenant que toutes ces charges se déplacent à une vitesse de dérive v_d. Puisque le dernier électron comptabilisé doit parcourir une distance D durant un intervalle de temps Δt dans le fil, la cinématique propose alors l'équation suivante pour le déplacement de tous les électrons :

$$D = v_d \Delta t$$

Remplaçons la distance D dans l'équation obtenue à partir du courant I et isolons la vitesse de dérive v_d :

$$nADe = I\Delta t \quad \Rightarrow \quad nA(v_d \Delta t)e = I\Delta t \qquad \text{(Remplacer } D = v_d \Delta t\text{)}$$

$$\Rightarrow \quad nAv_d e = I \qquad \text{(Simplifier } \Delta t\text{)}$$

$$\Rightarrow \quad v_d = \frac{I}{nAe} \quad \blacksquare \qquad \text{(Isoler } v_d\text{)}$$

Situation 1 : *Le fil de cuivre.* Un fil de cuivre de 0,5 mm de rayon transporte un courant de 10 A. On désire calculer la vitesse de dérive des électrons, sachant que le cuivre a une masse volumique de 8,9 g/cm^3, une masse molaire de 63,5 g/mol et possède un électron libre par atome. (Rappel : $1\ \text{mol} = 6{,}022 \times 10^{23}$ atomes)

Évaluons le nombre de d'atome par mètre cube n :

$$n = 8{,}9\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \times \frac{1\ \text{mol}}{63{,}5\ \text{g}} \times \frac{6{,}022 \times 10^{23}\,\text{atomes}}{\text{mol}} \times \left(\frac{100\ \text{cm}}{\text{m}}\right)^3 = 8{,}440 \times 10^{28}\,\frac{\text{atomes}}{\text{m}^3}$$

Évaluons l'aire de la section du fil A :

$$A = \pi r^2 \quad \Rightarrow \quad A = \pi\left(0{,}5 \times 10^{-3}\right)^2$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{A = 7{,}854 \times 10^{-7}\,\text{m}^2}$$

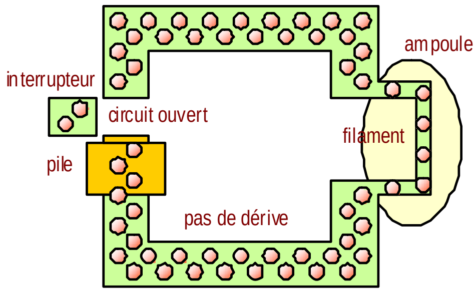
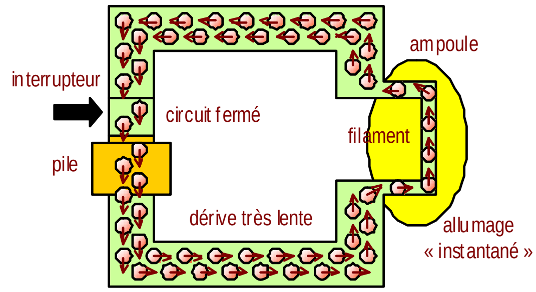
Évaluons la vitesse de dérive v_d :

$$v_d = \frac{I}{nAe} \quad \Rightarrow \quad v_d = \frac{(10)}{\left(8{,}440 \times 10^{28}\right)\left(7{,}854 \times 10^{-7}\right)\left(1{,}6 \times 10^{-19}\right)}$$

$$\Rightarrow \quad \boxed{v_d = 9{,}429 \times 10^{-4}\,\text{m/s}}$$

Un signal qui voyage à la vitesse de la lumière

Bien que la vitesse de dérive soit faible, l'activation du circuit électrique entraîne le mouvement des électrons presque qu'instantanément. Dans les faits, le signal électrique provoquant le courant s'effectue à la vitesse de la lumière. C'est pourquoi l'analogie du modèle hydraulique s'applique si bien au circuit électrique (l'eau coule dès que l'on ouvre le robinet).

Circuit ouvert	Circuit fermé
	
Il n'y a pas de courant, car la résistance associée à la partie manquant du circuit est trop élevée. L'aire est un excellent isolant électrique.	Il y a un courant qui circule dans le circuit.

Exerices

<u>Référence :</u> Note Science Santé – Chapitre 3 – Question 7

Un ampèremètre très sensible peut mesurer un courant aussi petit que $1{,}0 \times 10^{-10}$ A.

a) Combien d'électrons traversent à chaque seconde la section d'un conducteur dans lequel circule un courant de cette intensité ?

b) Quelle est la vitesse de dérive des électrons dans ce conducteur, s'il est en cuivre ($8{,}4 \times 10^{28}$ électrons libres par m^3) et présente une section de 2 mm^2 ?

c) Combien de temps, en moyenne, un électron prend-il pour avancer de un centimètre le long de ce conducteur ?

3.2.6 ***Une vitesse de dérive irréaliste.*** L'aluminium a une masse volumique de 2700 kg/m^3, une masse atomique de 27 g/mol et possède 3 électrons libres par atome. **(a)** Calculez la densité des électrons libres. **(b)** Si les électrons libres se déplaçaient à 3 m/s dans un fil d'aluminium de 1 cm de rayon, quel serait le courant ?

Solutions

<u>Référence :</u> Note Science Santé – Chapitre 3 – Question 7

$I = 1{,}0\times10^{-10}\,\mathrm{A}$

a) $I = \left[\dfrac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}}\right]$ et $e = 1{,}6\times10^{-19}\,\mathrm{C}$ $\Rightarrow$ $1\ \mathrm{C} = 6{,}25\times10^{18}\,e$

Ainsi : $I = 1{,}0\times10^{-10}\,\dfrac{\mathrm{C}}{\mathrm{s}} * \dfrac{6{,}25\times10^{18}\,e}{\mathrm{C}} = 6{,}25\times10^{8}\,\dfrac{e}{\mathrm{s}}$

$1\ e \Rightarrow 1\ \textit{électron}$ donc il y a **6,25 x 10^8 électrons** qui passent par seconde.

b) $n = 8{,}4\times10^{28}\,\dfrac{e^-}{\mathrm{m}^3}$

$A = 2\ \mathrm{mm}^2 * \dfrac{1\ \mathrm{m}}{1000\ \mathrm{mm}} * \dfrac{1\ \mathrm{m}}{1000\ \mathrm{mm}} = 2\times10^{-6}\,\mathrm{m}^2$

Ainsi : $I = enAv_d$ $\Rightarrow$ $v_d = \dfrac{I}{enA} = \dfrac{1\times10^{-10}}{\left(8{,}4\times10^{28}\right)\left(2\times10^{-6}\right)\left(1{,}6\times10^{-19}\right)}$

$\Rightarrow$ $v_d = 3{,}72\times10^{-15}\,\dfrac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$

c) $\Delta x = v_d\ \Delta t$ $\Rightarrow$ $\Delta t = \dfrac{\Delta x}{v_d} = \dfrac{0{,}01}{3{,}72\times10^{-15}}$ $\Rightarrow$ $\boxed{\mathbf{\Delta t = 2{,}69 \times 10^{12}\ s}}$

Très long …

3.2.6 ***Une vitesse de dérive irréaliste.***

(a) Effectuons le changement d'unité suivant :

$$2700\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3} * \frac{1\ \mathrm{mol}}{27\ \mathrm{g}} * \frac{1000}{\mathrm{k}} * \frac{6{,}023\times10^{23}\,\text{atomes}}{\mathrm{mol}} * \frac{3\ \text{électrons libres}}{\text{atome}} = 1{,}81\times10^{29}\ \frac{\text{électrons libres}}{\mathrm{m}^3}$$

(b) Avec la définition de la vitesse de dérive :

$I = nAev_d$ $\Rightarrow$ $I = n\pi R^2 e v_d$

$\Rightarrow$ $I = \left(1{,}81\times10^{29}\right)\pi\left(0{,}01\right)^2\left(1{,}6\times10^{-19}\right)\left(3\right)$

$\Rightarrow$ $\boxed{I = 2{,}7\times10^{7}\,\mathrm{A}}$