

## CORRIGE : L' ECLAIRAGE ARTIFICIEL

### I. Les sources d'éclairage à incandescence

#### A. La lampe à incandescence

A.1. La puissance dissipée par effet Joule  $P_J = \frac{V^2}{R} = 2141.6W$  avec  $R = 22,6\Omega$ .

C'est une puissance élevée pour une utilisation domestique.

A.2. La puissance dissipée par effet Joule se transforme en chaleur et chauffe le filament.

A.3. Le filament absorbe la puissance dissipée par effet Joule  $P_J$  et réémet un rayonnement.

A.4. La puissance rayonnée par le filament vaut  $P_{rayonnée} = \sigma.T^4.S$  avec

$S = 2.\pi.a.l$  = surface latérale en contact avec l'extérieur. (on néglige les sections des côtés)

A.5. A l'équilibre, la puissance dissipée par effet Joule  $P_J$  et la puissance rayonnée

par le filament sont égales soit  $P_J = \sigma.T^4.S$ . D'où  $T = \left(\frac{P_J}{\sigma.2.\pi.a.l}\right)^{1/4} = 5236$  K.

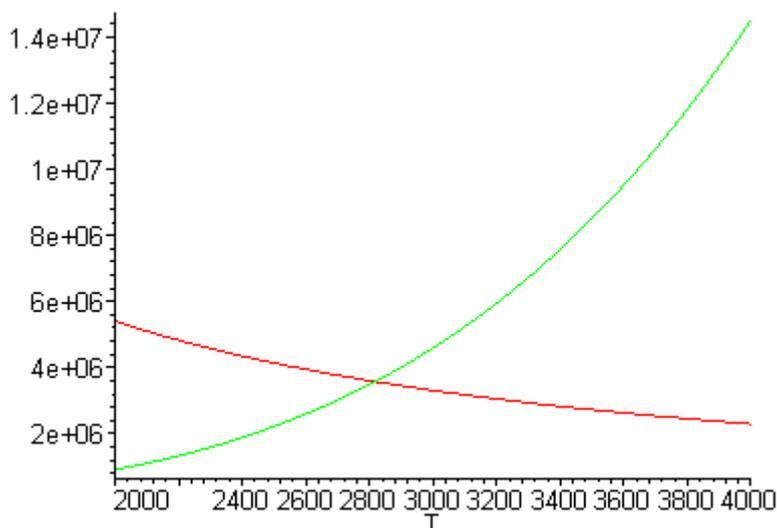
A cette température, le tungstène a fondu ( $T > T_{fusion}$ ). Impossible !

A.6.

a) A l'équilibre,  $P_J = \sigma.T^4.S$  avec  $P_J = \frac{V^2.\pi.a^2}{\rho(T).l} = \frac{V^2.\pi.a^2}{(A.T^2 + B.T).l}$

d'où l'équation  $\sigma.T^4 = \frac{K}{A.T^2 + B.T}$  avec  $K = \frac{V^2.a}{2.l^2} = 3,025$   $V^2.m^{-1}$ .

b)



c) La valeur réelle de la température se situe à l'intersection des deux courbes soit  $T = 2875$  K (précision inutile). La température est inférieure à  $T_{fusion}$ .

A.7. Choisir la longueur du filament élevée permet d'avoir une valeur de K faible donc une température d'équilibre raisonnable ( $< T_{\text{fusion}}$ ).  
On réalise une telle longueur en torsadant le filament.

A.8. On choisit le tungstène pour sa température de fusion élevée.

A.9.

a) Domaine du visible (bleu).

b) La température du filament est proche de 3000K. On lit sur le graphique que le maximum se situe au voisinage de 0,95  $\mu\text{m}$  donc **l'infra rouge**.

c.1) D'après l'allure du spectre, le maximum se trouvant dans l'infra rouge, il y a peu d'énergie émise dans le visible (5%).

c.2)  $\eta = 5\%$ . Valeur très faible !

B. Lampe halogène

B.1. Dans le cas de l'estérification, on peut influencer sur le caractère quantitatif de la réaction en introduisant un des réactifs en excès ou en éliminant un des produits au fur et à mesure de sa formation.

Un autre facteur est donc le nombre de moles pour chaque espèce.

B.2. La température du filament d'une lampe halogène étant plus élevée, le spectre émis se rapproche davantage de celui du soleil donc l'utilisateur préfère la lampe à halogène.

B.3. Il y a 2 autres modes de transferts thermiques :

- convection propre aux fluides

- conduction thermique plus importante pour un solide

B.4.  $R = \rho \cdot \frac{l}{s}$  avec s = section. Si la section diminue, la résistance R augmente, la puissance  $P = R \cdot I^2$  augmente aussi et la température sera plus élevée.

C. **Elaboration du tungstène**

C.1. **Préliminaires**

C.1.1.  $\text{Ag}^+(\text{aq}) + \text{Cl}^-(\text{aq}) = \text{AgCl}(\text{s})$

a.  $Q = \frac{1}{[\text{Ag}^+][\text{Cl}^-]} = 10^4$

b.  $Q \neq K$  donc le système n'est pas à l'équilibre.

c.  $Q < K$  donc le système évolue dans le sens  $\rightarrow$  (formation du précipité).

d.

	$\text{Ag}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{AgCl}_s$
Etat initial	$10^{-2}$	$10^{-2}$	0
Etat final	$10^{-2} - x$	$10^{-2} - x$	x

Donc à l'état d'équilibre  $[\text{Ag}^+] = [\text{Cl}^-] = \frac{1}{\sqrt{K}} = 1,33 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ .

C.1.2.

$$a. Q = \frac{1}{[Ag^+].[Cl^-]} = 10^{12}$$

b.  $Q \neq K$  donc le système n'est pas à l'équilibre.

c.  $Q > K$  donc le système évolue dans le sens  $\leftarrow$  (disparition du précipité).

C'est impossible car dans l'état initial, il n'y a pas de précipité.

d. Il n'y a pas réaction donc  $[Ag^+] = [Ag^+]_{initial} = 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$  et  $[Cl^-] = [Cl^-]_{initial} = 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$

e. On n'a donc pas le droit d'utiliser K pour déterminer les concentrations dans l'état final.

## C.2.Elaboration de la poudre de tungstène

### C.2.1.

a. La loi des gaz parfaits :  $P.V = n.R.T$  permet de calculer le nombre de moles en  $H_2$  soit  $n_{H_2} = 0,01 \text{ mol}$ .

Le nombre de moles en  $WO_3$  :  $n_{WO_3} = \frac{m}{M} = \frac{0,93}{3 \times 16 + 184} = 4.10^{-3} \text{ mol}$

b.  $Q = \left( \frac{n_{H_2O}}{n_{H_2}} \right)^3 = 0 < K$  donc le système évolue dans le sens  $\rightarrow$  (formation de W).

c.

	$WO_3$	$H_2$	W	$H_2O$
Etat initial	$4.10^{-3}$	$10^{-2}$	0	0
Etat final	$4.10^{-3} - x$	$10^{-2} - 3.x$	x	3.x

$$K = \left( \frac{3.x}{10^{-2} - 3.x} \right)^3 = 1,9 \text{ soit } \left( \frac{3.x}{10^{-2} - 3.x} \right) = (1,9)^{1/3} \text{ d'où } x = \frac{10^{-2}.K^{1/3}}{3 + 3.K^{1/3}} = 1,84.10^{-3} \text{ mol}$$

La composition à l'équilibre :

	$WO_3$	$H_2$	W	$H_2O$
Etat final	$2,2.10^{-3}$	$4,5.10^{-3}$	$1,8.10^{-3}$	$5,5.10^{-3}$

### C.2.2.

a.  $Q = \left( \frac{n_{H_2O}}{n_{H_2}} \right)^3 = 0,078 < K$  donc le système évolue dans le sens  $\rightarrow$  (formation de

W).

b.

	$WO_3$	$H_2$	W	$H_2O$
Etat initial	$4.10^{-3}$	$7.10^{-3}$	0	$3.10^{-3}$
Etat final	$4.10^{-3} - x'$	$7.10^{-3} - 3.x'$	$x'$	$3.x' + 3.10^{-3}$

$$K = \left( \frac{3.x' + 3.10^{-3}}{7.10^{-3} - 3.x'} \right)^3 = 1,9 \text{ d'où } x' = 8,44.10^{-4} \text{ mol}$$

	$WO_3$	$H_2$	W	$H_2O$
Etat final	$3,15.10^{-3}$	$4,5.10^{-3}$	$8,4.10^{-4}$	$5,5.10^{-3}$

L'avancement a une valeur différente du cas précédent mais on obtient le même nombre de moles pour  $H_2$  et  $H_2O$  dans l'état final.

En effet,  $K = \left( \frac{n_{H_2O}}{n_{H_2}} \right)^3$  avec  $n_{H_2O} + n_2 = 10^{-2}$  mol dans les deux cas.

C.2.3.

a.  $Q = \left( \frac{n_{H_2O}}{n_{H_2}} \right)^3 = 12,7 > K$  donc le système doit évoluer dans le sens  $\leftarrow$  (disparition de W)

b. Or il n'y a pas de W donc il ne se passe rien.  
L'état final est identique à l'état initial.

C.2.4.

a. Il faut  $Q < K$  soit  $\left( \frac{n_{H_2O}}{n_{H_2}} \right)^3 < K$  soit  $n_{H_2} > 0,8.n_{H_2O}$ .

b. Si ce n'est pas le cas, la réduction n'a pas lieu d'où la nécessité de travailler avec un excès de  $H_2$ .

c. Pour être recyclé,  $H_2$  doit être déshumidifié par refroidissement et condensation de  $H_2O$  puis à nouveau porté à haute température.

C.2.5.

a. Les énergies molaires :

$$E_{r1} = 47,2 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$E_{r2} = 46,9 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

$$E_{r3} = 41,7 \text{ kJ.mol}^{-1}$$

b.  $E_r > 0$  donc ces réactions sont endothermiques.

c. La formation de tungstène est favorisée par une haute température ( $E_r > 0$  donc la réaction demande un apport d'énergie).

C.2.6.

$$(a) = \frac{1}{4} \cdot (1) + \frac{1}{4} \cdot (2) + (3)$$

C.2.7.

On a montré que la formation du tungstène est favorisée par une température élevée, en concordance avec les résultats expérimentaux.

A 900K, la température n'est pas suffisante pour que l'équilibre (3) se réalise et on obtient l'oxyde  $WO_2$ .

Si on élève un peu la température (950 K), la réduction selon l'équilibre (3) commence à être réalisée sans être totale et on observe un mélange de W +  $WO_2$ .

Au-delà de 1000K, la température est suffisante pour que la réduction soit totale et donne du Tungstène pur.

La température est également un paramètre déterminant pour la taille des grains obtenus. Selon les utilisations attendues, un industriel choisira d'opérer à  $T = 1000$  K

si il veut obtenir des grains fins (1 $\mu$ m) et à une température plus élevée s'il désire des grains plus gros.

C.2.8.

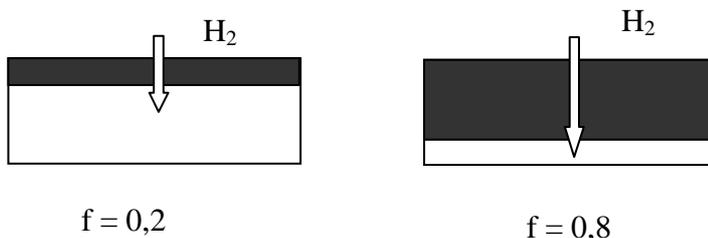
a. D'après la question C.2.7., on choisira  $T = 1000\text{K}$ .

b.

- une faible épaisseur de la couche d'oxyde pour que le dihydrogène puisse plus facilement réagir avec chaque grain d'oxyde.
- une forte porosité de la couche d'oxyde pour la même raison.
- un débit élevé de dihydrogène pour la même raison
- une faible vitesse de passage des nacelles pour que la réaction ait le temps de se réaliser de façon homogène.

C.2.9.

- dépendance avec la masse volumique : plus la poudre d'oxyde est compacte ( $\rho_o$  élevée), plus elle aura des difficultés à réagir avec le dihydrogène et plus le temps de réduction sera long.
- La température est un paramètre important (exposant 5,7) : si la température passe de 1000 K à 1300 K, le temps de réduction est divisé par un facteur de 4,5(énorme !).
- On peut penser que c'est d'abord les couches en surface qui sont réduites en premier si la poudre est assez compacte.



$f = 0,2$

$f = 0,8$

Plus  $f$  est élevée, plus il est difficile au dihydrogène d'approcher l'oxyde et plus le temps de réduction sera long.

La formule n'a pas de sens pour  $f = 0$ .

- Pour une même surface de nacelle, plus la hauteur de la couche d'oxyde est importante et plus l'oxyde aura des difficultés à réagir avec le dihydrogène et plus le temps de réduction sera long.

Le candidat peut proposer une évaluation numérique en utilisant la formule empirique pour se rendre compte des ordres de grandeur.

## II. Diode électroluminescente

### A. Mise en évidence de quelques ordres de grandeur

A.1.  $\rho_{Ga} = 5318\text{kg}\cdot\text{m}^{-3} = \frac{m}{V} = \frac{n \cdot M_{AsGa}}{V}$  d'où  $n = \frac{\rho_{Ga} \cdot V}{M_{AsGa}} = \frac{5318 \cdot 10^3}{144,7} = 3,67 \cdot 10^4$  moles d'AsGa par  $\text{m}^3$ .

A.2.  $\frac{n_{AsGa}}{n_{Si}} = \frac{3,67 \cdot 10^4}{1,5 \cdot 10^{21}} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} = 1,47 \cdot 10^7 \gg 1$

A.3. Le volume occupé par une masse de 1kg d'AsGa :  $V = \frac{m}{\rho_{Ga}} = \frac{1}{5318} = 1,88.10^{-4} \text{ m}^3$ .

Le nombre d'atomes de Si =  $N_D.V = 1,5.10^{21} \cdot 1,88.10^{-4} = 2,82.10^{17}$  atomes

Soit une masse de Si :  $m = \frac{2,82.10^{17} \cdot M_{Si}}{N_a} = 1,31.10^{-8} \text{ kg}$

## B. Le dopage

B.1.  $j_n$  s'exprime en  $\text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

B.2.

a)  $n_2 < n_1$  donc  $\frac{dn}{dx} < 0$  et  $j_n > 0$  donc  $D > 0$ .

b)  $\frac{dn}{dx}$  s'exprime en  $\text{m}^{-4}$  donc  $D$  s'exprime en  $\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

B.3.

a)  $dN(x) = j_n(x) \cdot S \cdot dt$

b)  $dN(x+dx) = j_n(x+dx) \cdot S \cdot dt$

c)  $dN(x) = dN(x+dx)$  d'où  $j_n(x) = j_n(x+dx) = \text{constante}$

$\frac{dn}{dx} = \text{cste} = a$

d)  $n = \left( \frac{n_2 - n_1}{L} \right) \cdot x + n_1$

B.4.

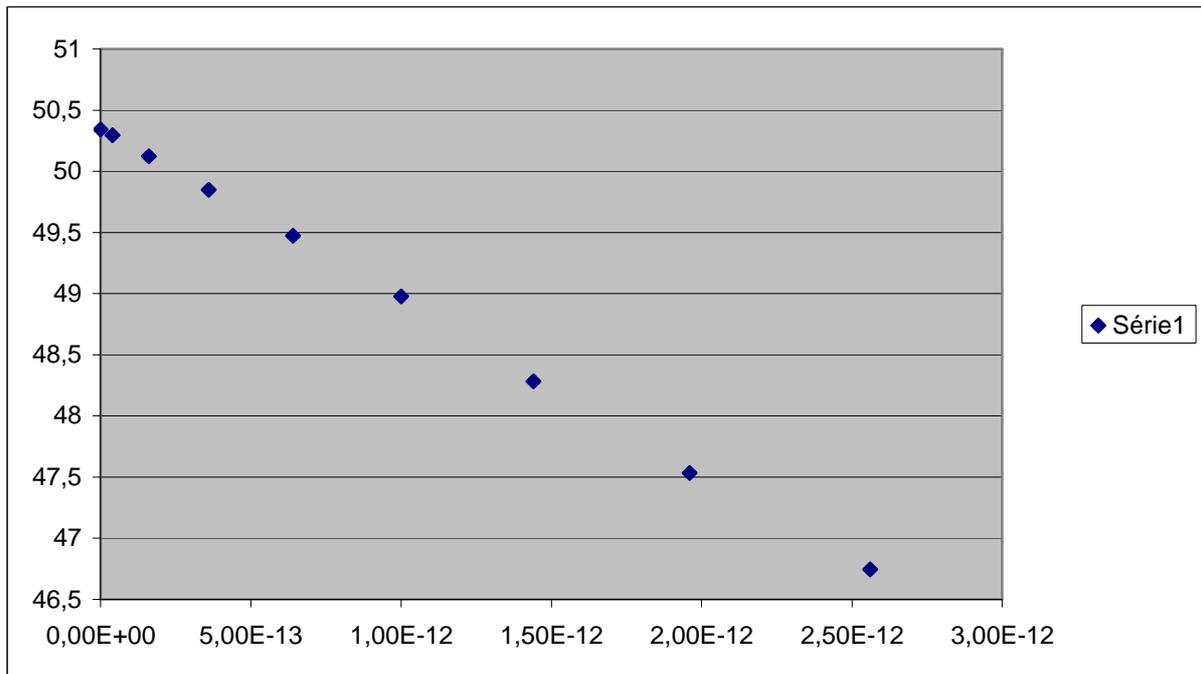
a. Le terme dans l'exponentielle est sans unité d'où  $\tau \approx \frac{x^2}{D}$ .

L'expression peut être prise égale à  $\tau = \frac{x^2}{D}$  ou à un multiple selon le choix adopté.

b.- Pour calculer la valeur de  $D$ , on peut choisir de s'intéresser à une courbe à  $t = \text{cste}$  par exemple  $t = 1$  heure et tracer  $\text{Ln}(n)$  en fonction de  $x^2$ .

On doit trouver une droite :  $\text{Ln}(n) = A + B \cdot x^2$  avec  $B = -\frac{1}{4 \cdot D \cdot t}$

x	n
0	7,30E+21
2,00E-07	6,96E+21
4,00E-07	5,86E+21
6,00E-07	4,46E+21
8,00E-07	3,06E+21
1,00E-06	1,87E+21
1,20E-06	9,30E+20
1,40E-06	4,40E+20
1,60E-06	2,00E+20



La régression linéaire donne :  $A = 50,35$   $B = -1,42 \cdot 10^{12}$

le coefficient de corrélation  $r = -0,999$

D'où  $D = 4,9 \cdot 10^{-17} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

-On observe qu'au bout de 20 heures, la distribution est quasiment uniforme sur une distance de  $2\mu\text{m}$  donc on peut en déduire que le temps caractéristique de diffusion vaut  $\tau = 20\text{heures}$ .

$$\tau \approx \frac{x^2}{D} = \frac{(2 \cdot 10^{-6})^2}{4,9 \cdot 10^{-17}} = 81000\text{s} = 22\text{heures} \quad \text{même ordre de grandeur.}$$

## C. Conductivité

### C.1. Conductivité dans un métal

$$\text{C.1.1. } m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = -e \cdot \vec{E} - \alpha \cdot \vec{v}$$

En projection :

$$m \cdot \frac{dv_x}{dt} + \alpha \cdot v_x = -e \cdot E$$

$$m \cdot \frac{dv_y}{dt} + \alpha \cdot v_y = 0$$

$$m \cdot \frac{dv_z}{dt} + \alpha \cdot v_z = 0$$

C.1.2. Les solutions sont de la forme

$$v_x = K \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{e}{\alpha} \cdot E \quad \text{avec } \tau = \frac{m}{\alpha}$$

$$v_y = K' \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$v_z = K'' \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Après un certain temps de l'ordre de  $3\tau$  ou  $5\tau$ , la solution en  $e^{-\frac{t}{\tau}}$  tend vers 0.

D'où  $v_y = v_z = 0$  et  $v_x = \frac{-e}{\alpha} \cdot E \Rightarrow \vec{v} = -\mu_- \cdot \vec{E}$  avec  $\mu_- = \frac{e}{\alpha}$ .

C.1.3.  $\vec{j} = -n \cdot e \cdot \vec{v} = n \cdot e \cdot \mu_- \cdot \vec{E} = \gamma \cdot \vec{E} \Rightarrow \gamma = n \cdot e \cdot \mu_-$

C.1.4.  $I = j \cdot S = \gamma \cdot E \cdot S = \gamma \cdot S \cdot \frac{V_A - V_B}{l} = \frac{V_A - V_B}{R_{AB}}$  d'où  $R_{AB} = \frac{l}{\gamma \cdot S}$

C.1.5.  $\gamma = \frac{l}{R \cdot S}$  d'où  $\gamma$  s'exprime en  $\Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ .

C.1.6. La section vaut  $S = \pi \cdot a^2$ . La formule est identique à condition de poser la résistivité égale à l'inverse de la conductivité  $\rho = \frac{1}{\gamma}$ .

**C.2.1. Conductivité dans un semi-conducteur**

C.2.1.  $\gamma_n = n \cdot e \cdot \mu_- = 1,5 \cdot 10^{21} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 9200 \cdot 10^{-4} = 220,8 \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$ .

**C.2.2.**

a)  $m \cdot \frac{d\vec{v}}{dt} = +e \cdot \vec{E} - \alpha \cdot \vec{v}$

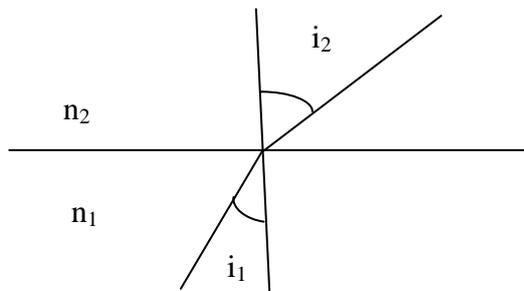
Après  $3\tau$  ou  $5\tau$ , la vitesse est :  $\vec{v} = \mu_+ \cdot \vec{E} = \frac{e}{\alpha} \cdot \vec{E}$

$\vec{j}_+ = N_A \cdot e \cdot \mu_+ \cdot \vec{E} = \gamma_p \cdot \vec{E}$  d'où  $\gamma_p = N_A \cdot e \cdot \mu_+ = 3 \cdot 10^{23} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 400 \cdot 10^{-4} = 1920 \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$

$\gamma_p = N_A \cdot e \cdot \mu_+ \Rightarrow \gamma_p = 1920 \Omega^{-1} \cdot m^{-1}$

b)  $\vec{j}_+ = N_A \cdot e \cdot \mu_+ \cdot \vec{E} = \gamma_p \cdot \vec{E}$  et  $\vec{j}_- = n \cdot e \cdot \mu_- \cdot \vec{E} = \gamma_n \cdot \vec{E}$  donc  $\vec{j}_+$  et  $\vec{j}_-$  sont dirigés dans le même sens et contribuent donc au passage du courant dans le même sens.

**D.1. a)**

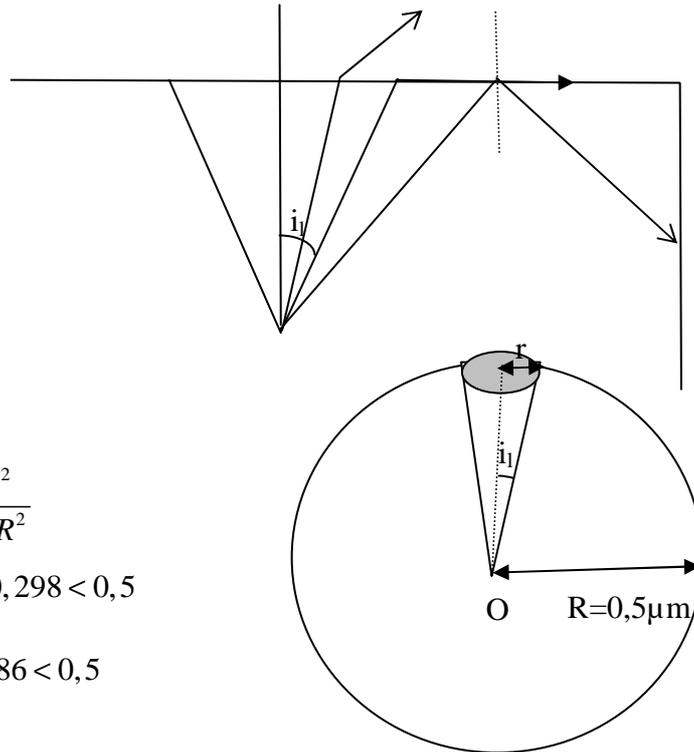


Lois de Descartes pour la réfraction :  $n_1 \cdot \sin i_1 = n_2 \cdot \sin i_2$

$\sin i_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot \sin i_1 < 1$  d'où  $i_2 < i_{1l} = \arcsin(\frac{n_2}{n_1})$

A.N .  $i_{1l} = \arcsin(1/3,5) = 16,6^\circ$

Si  $i_1 > i_{1l}$ , il y a réflexion totale.



$$\eta_o = \frac{s}{4 \cdot \pi \cdot R^2} = \frac{\pi \cdot r^2}{4 \cdot \pi \cdot R^2}$$

avec  $\tan i_{l'} = \frac{r}{R} = 0,298 < 0,5$

ou  $\sin i_{l'} = \frac{r}{R} = 0,286 < 0,5$

b)  $\eta_o = \frac{1}{4} \cdot \tan^2 i_{l'} = 0,022 = 2,2\%$

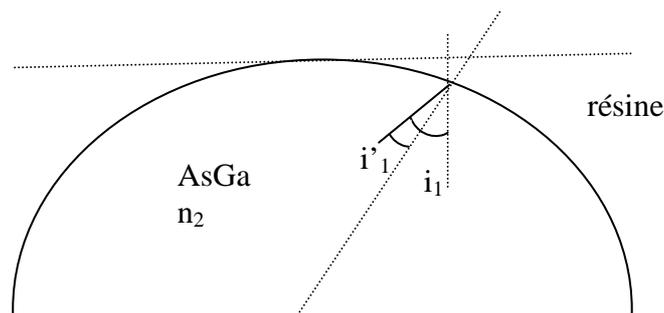
ou  $\eta_o = \frac{1}{4} \cdot \sin^2 i_{l'} = 0,020 = 2\%$

valeur très faible !

D.2.  $i_{l'}' = \arcsin\left(\frac{n_2}{n_1}\right) = \arcsin(1,5/3,5) = 25,4^\circ$  et  $\eta_o' = \frac{1}{4} \cdot \tan^2 i_{l'}' = 0,056 = 5,6\%$

ou  $\eta_o' = \frac{1}{4} \cdot \sin^2 i_{l'}' = 0,046 = 4,6\% > \eta_o$  mais encore très faible.

D.3.



Sur le schéma,  $i_1' < i_1$ , angle d'incidence si l'interface était plane.  
Davantage de rayons pourront sortir de la zone P.

D.4.

a)  $\lambda = c \cdot T = \frac{c}{\nu}$

$$b) \eta = \frac{P_{lumineuse}}{P_{électrique}} = \frac{N_{photonsémis} \cdot h \cdot \nu}{t} \cdot \frac{1}{V \cdot I}$$

$$\text{Or } \eta_o = \frac{N_{photonsémis}}{N_{électrons}} \text{ donc } \eta = \eta_o \cdot N_{électrons} \cdot \frac{h \cdot \nu}{t \cdot V \cdot I}$$

$$\text{L'intensité } I = \frac{dq}{dt} = \frac{N_{électrons} \cdot e}{t} \text{ d'où } \eta = \eta_o \cdot \frac{h \cdot \nu}{e \cdot V}$$

D.5. La caractéristique est une droite d'équation :  $V = E + r \cdot I$

$$E = 2,76V \text{ et } r = \frac{\Delta V}{\Delta I} = \frac{2,9 - 2,76}{0,07} = 2\Omega$$

On peut modéliser la diode comme un récepteur de force électromotrice  $E$  et de résistance interne  $r$ .

D.6.

$$a) V = E + r \cdot I = 2,8 V$$

$$b) \eta_1 = \eta_o \cdot \frac{h \cdot \nu}{e \cdot V} = \eta_o \cdot \frac{h \cdot c}{e \cdot V \cdot \lambda} = 0,086 \text{ soit } 8,6\%$$

$$c) \text{ La puissance électrique } P_{électrique} = V \cdot I = 0,056W$$

$$d) \text{ La puissance lumineuse } P_{lumineuse} = \eta_1 \cdot P_{électrique} = 4,8mW$$

e)

	Lampe à incandescence	Diode électroluminescente
Rendement	5%	8,6%
Puissance lumineuse	2 kW	4,8 mW

Une lampe à incandescence est alimentée en 220V ce qui n'est pas possible pour une diode  $V \approx V_{seuil} = 2,76 V$  ici. Si la diode est alimentée en 220V, il faut ajouter un circuit électronique pour abaisser la tension et le courant la traversant ; ainsi sa puissance reste de l'ordre de 5 mW malgré un meilleur rendement que la lampe à incandescence.

$$E.1 \Phi = N \cdot B \cdot S \cdot \cos(\omega t + \varphi) \text{ d'où } e = -\frac{d\Phi}{dt} = -N \cdot B \cdot S \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$\text{L'amplitude de } e \text{ vaut : } e = N \cdot B \cdot S \cdot \omega = 100 \cdot 0,3 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{12000 \cdot 2 \cdot \pi}{60} = 3,76 V$$

E.2

$$E = R \cdot i_D + u_D$$

On a vu précédemment qu'une diode électroluminescente peut être modélisée par un récepteur de fem  $E$  et de résistance interne  $r$  donc on choisit  $u_D = +2,8 V$  et

$$i_D = 20mA$$

$$R = \frac{E - u_D}{i_D} = \frac{3 - 2,8}{20 \cdot 10^{-3}} = 10\Omega$$

E.3

$$a) \text{ L'énergie } W = E \cdot i \cdot \Delta t = 3,6 \cdot 20 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 60 = 129,6J$$

b) Le travail fourni par l'opérateur  $W_{op} = 3.60 = 180 \text{ J}$ .

c) Le rendement  $\eta_{torche} = \frac{W}{W_{op}} = \frac{129,6}{180} = 72\%$

d) Pertes :

- au niveau des engrenages (frottements)
- au niveau de l'alternateur (pertes fer, pertes par hystérésis...)
- lors de la charge de la batterie (pertes par effet Joule...)