Premier Problème : transmission par fibre optique

La lumière tend de plus en plus à être utilisée pour la transmission de signaux d'information ; elle présente en effet, par rapport à d'autres signaux, l'avantage d'être insensible aux perturbations électromagnétiques.

La chaîne de transmission correspond dans ce cas à plusieurs étapes résumées sur la figure 1. Il faut :

- ⇨ transformer le signal électrique à transmettre en signal lumineux,
- ⇨ transmettre le signal lumineux en l'atténuant le moins possible, grâce à une fibre optique,
- ⇨ convertir le signal lumineux en signal électrique à l'autre extrémité de la liaison et le traiter pour qu'il soit utilisable.

1. *Etude de la transmission du signal lumineux par la fibre optique*

La fibre optique étudiée ici peut être considérée comme constituée par un coeur cylindrique en matériau très transparent, le silicium, d'indice de réfraction $n_1 = 1{,}460$, entouré d'une gaine concentrique au coeur, en silicium dopé, transparente elle aussi, d'indice de réfraction $n_2 = 1{,}454$ (voir la figure 2). Un revêtement plastique protège l'ensemble.

Un rayon R, injecté en 0 dans le coeur de la fibre, demeure prisonnier du coeur si son angle d'incidence i est bien choisi.

1. Quel est le nom du phénomène qui doit se produire à l'interface coeur-gaine si on veut que R demeure dans le coeur de la fibre ?

2. A quelle relation l'angle r' doit-il alors satisfaire ? Application numérique: Calculer la valeur limite de r' convenant.

3. Ecrire, en les justifiant, les relations liant les angles r et r' d'une part, i et r d'autre part. On notera n_a, l'indice de réfraction de l'air. En déduire que R reste dans le coeur de la fibre, si : $n_a \sin i < (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}$. Application numérique : Calculer l'angle d'injection maximum i_m. On donne : $n_a = 1{,}000$.

4. La fibre est légèrement absorbante. La puissance absorbée par une tranche de longueur dx de fibre est proportionnelle à l'épaisseur dx de cette tranche et à la puissance P(x) du faisceau à l'entrée de celle-ci (figure 3). On peut donc écrire : $dP = \alpha.P(x).dx$ avec α qui est une constante caractéristique de la fibre pour la longueur d'onde utilisée.

5.

a) Démontrer que le produit $10.Lg(P(0) / P(x))$est proportionnel à x, distance parcourue par le faisceau dans le coeur de la fibre. On notera le coefficient de proportionnalité β.

On rappelle que Ln a = 2,30 Lg a, Lg désigne le logarithme décimal et Ln le logarithme népérien.

b) le produit 10.Lg(P(0)/P(x)) s'exprime en "décibels" (dB). Le constructeur de la fibre indique pour celle-ci un coefficient d'atténuation β = 0,4 dB/km. Quelle est la puissance du faisceau lumineux après un parcours de 100 km à l'intérieur de la fibre ? La puissance injectée à l'entrée de la fibre est P(0) = 1 µW et on néglige les pertes à l'entrée et à la sortie de la fibre.

2. *Conversion du signal lumineux en signal électrique-Amplification.*

La conversion du signal lumineux en signal électrique s'effectue grâce à une photodiode, de surface S = 7 mm^2. Une photodiode est une jonction PN, polarisée en inverse (figure 4). Dans l'obscurité, elle laisse passer quand même un très faible courant i_0, dit courant d'obscurité. Lorsque la jonction est éclairée, un courant supplémentaire s'ajoute au courant d'obscurité, et on constate alors que le courant i traversant la photodiode est indépendant de la tension qui lui est appliquée et ne dépend que de l'éclairement E (figure 5).

1. Utiliser la courbe de la figure 5 pour écrire la relation entre i et E puis entre i et P (puissance du faisceau éclairant la diode). On exprimera numériquement la relation de manière à avoir i en µA quand P est en nW.

2. La photodiode est insérée dans le montage de la figure 6. L'AOP est supposé être idéal et fonctionne en régime linéaire.

   a) Calculer le gain du montage G = (Us/Ue) en fonction de R_1 et de R_2.

   b) Montrer que i s'écrit, en fonction de Us, sous la forme : i = Us /(R.G).

   c) Exprimer numériquement la relation liant Us à P de manière à avoir Us en V quand P est en nW.

3. La photodiode est placée à la sortie de la fibre optique précédente, dans laquelle un signal de puissance P(0) = 1µW a été injecté. On suppose que tout le faisceau émergent est capté par la photodiode.

4. Quelle est la valeur de la tension Us détectée ?

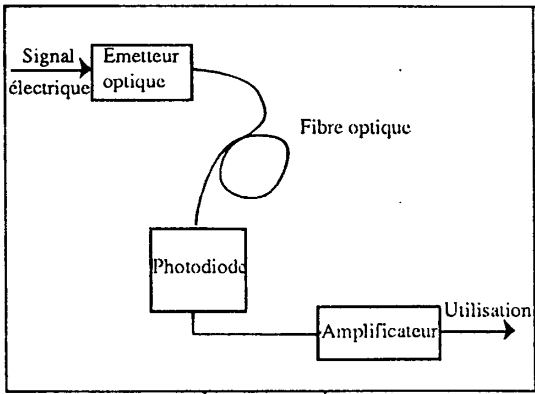


Figure 1

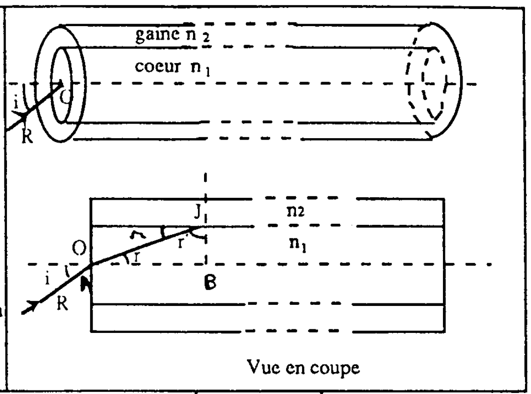


Figure 2

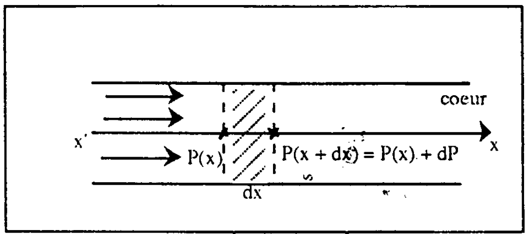
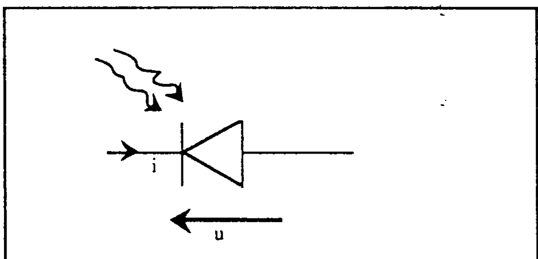
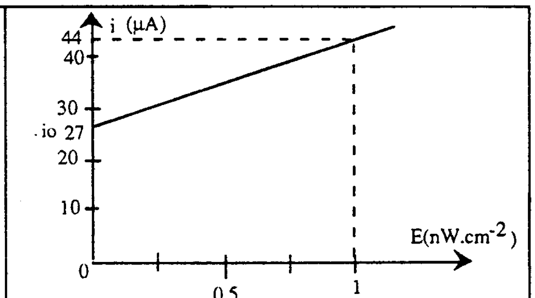


Figure 3



Représentation de la photodiode polarisée en inverse

Figure 4



Courant inverse en fonction de l'éclairement

Figure 5

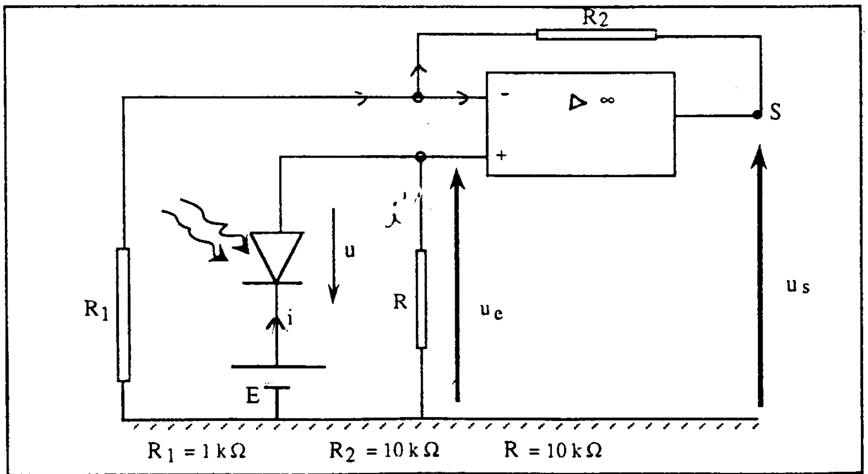
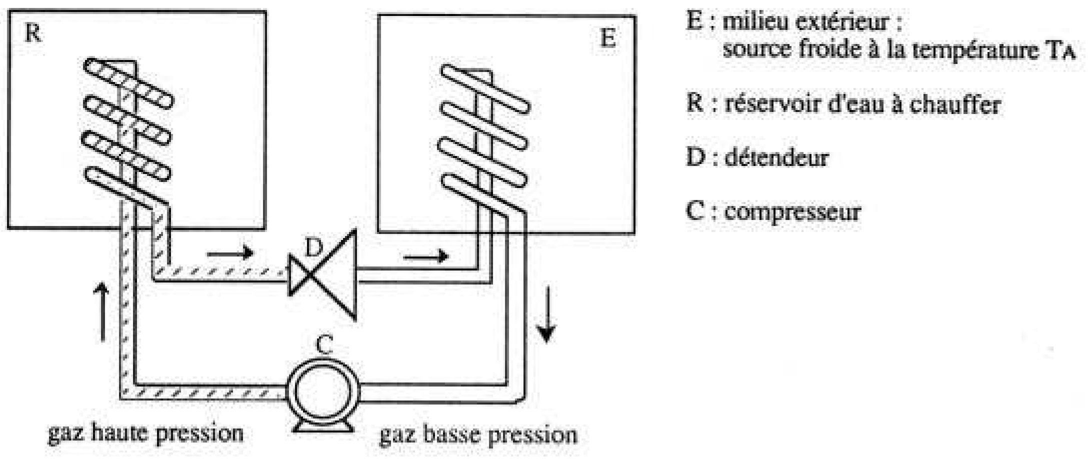


Figure 6

Deuxième Problème : Etude du cycle d'une pompe à chaleur.



On considère une mole de gaz diatomique supposé parfait prise à la température T_A = 280 K du milieu extérieur E sous la pression atmosphérique $P_A = 10^5$ Pa.

On lui fait décrire le cycle suivant :
Le gaz passe dans un compresseur C ; à sa sortie, il peut chauffer l'eau contenue dans le réservoir R puis il passe dans un détendeur D pour se retrouver dans son état initial.

On admettra que le cycle qu'il subit peut être représenté par une suite de transformations réversibles successives :

- ⇨ une compression adiabatique AB amenant le gaz à la température T_B = 320 K
- ⇨ une compression isotherme BC amenant le gaz à la pression $P_C = 2.10^5$ Pa
- ⇨ une détente adiabatique CD amenant le gaz à la température $T_D = T_A$
- ⇨ une détente isotherme DA

Etat A	Etat B	Etat C	Etat D
V_A = ?	V_B = ?	V_C = ?	V_D = ?
T_A = 280 K	T_B = 320 K	T_C = ?	T_D = 280 K
$P_A = 10^5$ Pa	P_B = ?	$P_C = 2.10^5$ Pa	P_D = ?

1. Déterminer les volume, température et pression de chaque étape du cycle.

2. Calculer le travail reçu par le gaz au cours de chaque transformation.
En déduire le travail reçu au cours d'un cycle.

3. Calculer la quantité de chaleur Q_1 reçue du milieu extérieur par le gaz au cours d'un cycle.

4. Calculer la quantité de chaleur Q_2 cédée par le gaz au réservoir d'eau au cours d'un cycle.

5. Calculer le coefficient de performance du cycle : $e = | Q_2 / W|$

Données :
$R = 8,31\ J.K^{-1}.mol^{-1}$
Capacité thermique molaire à volume constant d'un gaz parfait diatonique : $Cv = 5/2\ R$