



Concours Nationaux d'Entrée aux Cycles de Formation d'Ingénieurs  
Session 2009

Concours Biologie et Géologie  
Epreuve de Physique

Date : Jeudi 04 Juin 2009    Heure : 8 H    Durée : 3 H    Nbre pages : 04

Barème :    Problème I : 11 / 20    Problème II : 09 / 20

*L'usage d'une calculatrice non programmable est autorisé.*

*L'épreuve comporte deux problèmes indépendants. Le candidat peut les résoudre dans l'ordre qui lui convient, en respectant néanmoins la numérotation des questions.*

**PROBLEME I : PHYSIQUE DES ONDES**

**1- Modèle de l'onde électromagnétique plane progressive monochromatique**

On considère une onde électromagnétique plane monochromatique, de pulsation  $\omega$ , de longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$ , se propageant suivant la direction Oz dans un milieu transparent, linéaire, homogène et isotrope d'indice de réfraction  $n$ . Elle est polarisée rectilignement parallèlement à l'axe Ox.

Les axes Ox, Oy et Oz constituent un trièdre direct, de vecteurs unitaires  $\vec{u}_x$ ,  $\vec{u}_y$  et  $\vec{u}_z$ .

Le champ électrique relatif à cette onde s'écrit :  $\vec{E}(z, t) = E_0 \cos(\omega t - kz) \vec{u}_x$ ,  $E_0$  est une constante.

1-1- Ecrire l'équation différentielle dont le champ électrique  $\vec{E}(z, t)$  est solution. Qu'appelle-t-on cette équation ? Citer d'autres phénomènes physiques décrits par ce type d'équation.

1-2- Préciser les caractéristiques d'une onde électromagnétique plane progressive monochromatique.

1-3- Ecrire l'expression du module du vecteur d'onde  $\vec{k}$  en fonction de la pulsation  $\omega$ , de la vitesse de la lumière dans le vide  $c$  et de l'indice du milieu  $n$ .

Réécrire le vecteur champ électrique  $\vec{E}$  de l'onde électromagnétique, en fonction de  $E_0$ ,  $\omega$ ,  $n$ ,  $c$ ,  $z$  et  $t$ .

1-4- Montrer que le vecteur champ magnétique de l'onde s'écrit :

$$\vec{B}(z, t) = \frac{n}{c} E_0 \cos\left(\omega t - n \frac{\omega}{c} z\right) \vec{u}_y.$$

1-5- Qu'appelle-t-on polarisation rectiligne d'une onde électromagnétique plane ? La lumière naturelle est-elle polarisée ? Citer les différents types de polarisation d'une onde électromagnétique plane.

1-6- Comment peut-on produire une lumière polarisée rectilignement ?

1-7- Cette onde électromagnétique traverse un polariseur parfait placé orthogonalement à la direction de propagation.

On note  $\alpha$  l'angle que fait la direction de l'axe du polariseur avec celle du vecteur champ électrique incident  $\vec{E}_i$  (figure 1).

On fait tourner l'axe de polariseur dans son plan. Décrire ce qu'on observe sur l'écran (E) lors de la variation de l'angle  $\alpha$ . Énoncer la loi de Malus.

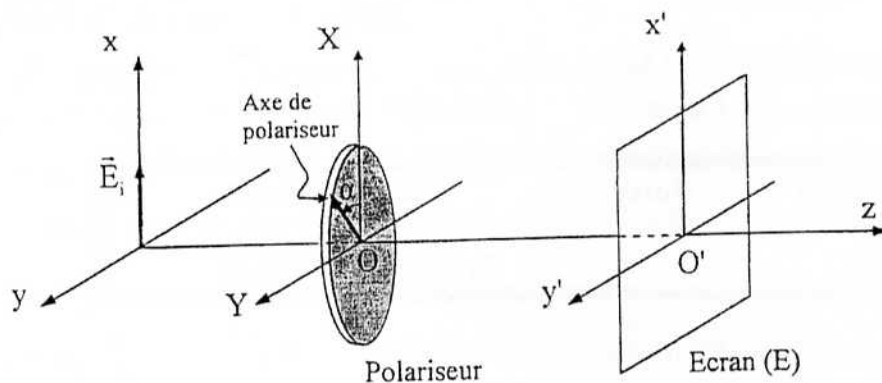


Figure 1

## 2- Lames à retard

On considère une lame à faces parallèles, parfaitement transparente, d'épaisseur  $e$ , taillée dans un cristal uniaxe et dont les faces sont normales à l'axe  $Oz$ . Pour une onde électromagnétique plane monochromatique polarisée rectilignement dans la direction  $Ox$ , la lame présente l'indice  $n_o$  (indice ordinaire). Pour une onde électromagnétique plane monochromatique polarisée rectilignement dans la direction  $Oy$ , la lame présente l'indice  $n_e$  (indice extraordinaire) avec  $n_e > n_o$ . L'axe  $Ox$  est appelé axe rapide et  $Oy$  est l'axe lent. On néglige toute réflexion sur les interfaces.

2-1- Une onde incidente plane polarisée rectilignement suivant  $Ox$  et se propageant dans l'air, d'indice  $n = 1$ , le long de l'axe  $Oz$ , arrive sur la lame à l'abscisse  $z = 0$ . Le champ électrique correspondant s'écrit :  $\vec{E}_i(z, t) = E_{0x} \cos(\omega t - kz) \vec{u}_x$ .

Le champ électrique de l'onde à la sortie de la lame ( $z = e$ ) s'écrit :

$$\vec{E}_t = E_{0x} \cos(\omega t - \varphi_x) \vec{u}_x.$$

Déterminer le déphasage  $\varphi_x$  en fonction de  $\omega$ ,  $n_o$ ,  $e$  et  $c$ .

2-2- Une deuxième onde incidente d'amplitude  $E_{0y}$  mais polarisée suivant  $Oy$  se propageant suivant  $Oz$ , arrive sur la lame à l'abscisse  $z = 0$ . Le champ électrique correspondant s'écrit :

$$\vec{E}'_i(z, t) = E_{0y} \cos(\omega t - kz) \vec{u}_y.$$

Le champ électrique de l'onde à la sortie de la lame ( $z = e$ ) s'écrit :  $\vec{E}'_t = E_{0y} \cos(\omega t - \varphi_y) \vec{u}_y$ .

Déterminer le déphasage  $\varphi_y$  en fonction de  $\omega$ ,  $n_e$ ,  $e$  et  $c$ .

2-3- Une onde incidente, d'amplitude  $E_0$  est polarisée rectilignement suivant une direction faisant l'angle  $\alpha$  avec l'axe  $Ox$ , se propage suivant  $Oz$  (figure 2).

Déterminer le champ électrique résultant  $\vec{E}_T$  de l'onde à la sortie de la lame ( $z = e$ ).

En déduire que le déphasage  $\varphi$  entre les deux composantes suivant les axes  $Ox$  et  $Oy$  du champ électrique  $\vec{E}_T$  transmis de la lame à retard s'écrit :  $\varphi = (n_e - n_o) \frac{\omega}{c} e$ .

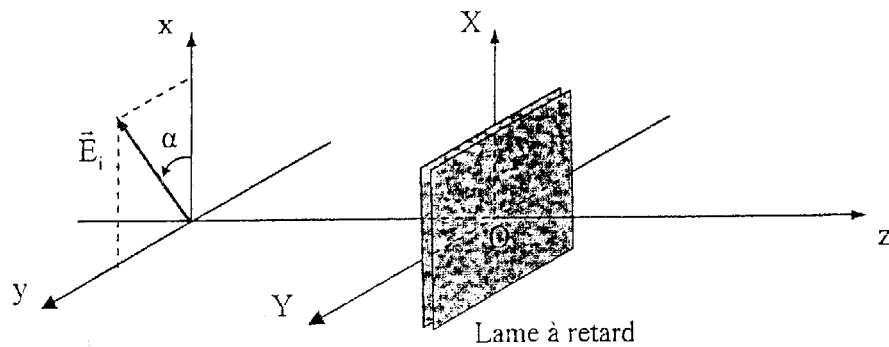


Figure 2

2-4- Deux types de la lame à retard sont à distinguer :

- si  $\varphi = \pi$ , la lame est dite demi-onde.

- si  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ , la lame est dite quart-d'onde.

Justifier ces appellations.

2-5-1- En calculant le champ électrique transmis, décrire le changement d'état de polarisation relative à une onde incidente polarisée rectilignement dans une direction faisant un angle  $\alpha$  avec  $Ox$  lorsqu'elle traverse une lame demi-onde.

2-5-2- En calculant le champ électrique transmis, décrire le changement d'état de polarisation pour l'onde incidente polarisée rectilignement suivant une direction faisant un angle  $\alpha$  avec l'axe  $Ox$  lorsqu'elle traverse une lame quart-d'onde. Quelle est la polarisation de l'onde

transmise si  $\alpha = \frac{\pi}{4}$  ?

## PROBLEME II : THERMODYNAMIQUE

Un câble d'acier de longueur  $L$ , de masse  $m$  et de section circulaire  $s$ , supposée constante, est fixé à un support stable par l'une de ses extrémités. Il est tiré par une force de traction d'intensité  $F$  à l'autre extrémité (figure 3).

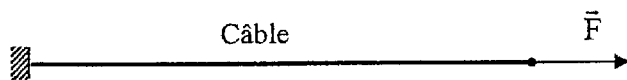


Figure 3

Pour tout état caractérisant le câble, sa température thermodynamique  $T$  est supposée uniforme. A l'état d'équilibre de référence ( $T_0 = 298 \text{ K}$  et  $F = 0 \text{ N}$ ), la longueur du câble est  $L = L_0$  et sa masse volumique vaut  $\rho_0$ .

L'équation d'état du câble liant sa longueur  $L$  à la température  $T$  et à l'intensité de la force  $F$  se

traduit par :  $L(T, F) = L_0 \left( 1 + \alpha(T - T_0) + \frac{F}{sE} \right)$  ;

où  $E$  et  $\alpha$  sont des constantes appelées respectivement module d'Young et coefficient de dilatation linéaire de l'acier.

On note  $U$  et  $S$  respectivement l'énergie interne et l'entropie du câble.

Les évolutions que peut subir le câble peuvent être décrites par la fonction énergie libre  $\Phi = U - TS$ .

Pour des variations élémentaires  $dL$  de la longueur du câble et  $dT$  de la température, la différentielle de l'entropie s'écrit sous la forme :

$$dS(T, L) = m \frac{c_L}{T} dT + \frac{\lambda}{T} dL$$

où  $c_L$  et  $\lambda$  sont des coefficients calorimétriques fonctions a priori de  $T$  et de  $L$ .

1- Le travail élémentaire réversible  $\delta W$  de la force de traction lors d'une variation  $dL$  de la longueur  $L$  du câble est :  $\delta W = F dL$ .

1-1- En utilisant le premier principe, exprimer la différentielle  $dU$ , en fonction des variables  $S$  et  $L$ , relative à une transformation élémentaire.

1-2- Montrer que la différentielle de l'énergie libre  $\Phi$  s'écrit :  $d\Phi = -S dT + F dL$ .

1-3- Montrer que la relation de Clapeyron relative au coefficient calorimétrique  $\lambda$  s'écrit :

$$\lambda = -T \left( \frac{\partial F}{\partial T} \right)_L$$

En déduire que :  $\lambda = \alpha s E T$ .

1-4- Montrer que le coefficient calorimétrique  $c_L$  ne dépend pas de  $L$ .

Dans la suite, on supposera que  $c_L$  est constante dans le domaine de variation de la température.

2- Montrer que les variations élémentaires de l'énergie interne  $U$  et de l'entropie  $S$  lors d'une évolution faisant varier la température de  $dT$  et la longueur du câble de  $dL$  s'écrivent :

$$dU = m c_L dT + s E \left( \frac{L - L_0}{L_0} + \alpha T_0 \right) dL \quad \text{et} \quad dS = \frac{m c_L}{T} dT + s E \alpha dL$$

3- Le câble métallique évolue en contact avec un thermostat de température  $T_0$ . Il est soumis à une force de traction variant réversiblement de la valeur 0 à  $F$ . Sous l'effet de cette force, la longueur du câble subit une modification d'une valeur initiale  $L_i = L_0$  à la valeur finale  $L_f$ .

3-1- Calculer le travail  $W$  reçu par le câble aux cours de cette transformation.

3-2- Déterminer la variation de l'énergie interne du câble. En déduire l'énergie thermique  $Q$  échangée au cours de la transformation. Dans quel sens le transfert thermique entre le câble et le milieu extérieur est effectué ?

3-3- Déterminer la variation de l'entropie  $\Delta S$  lors de cette transformation. Calculer  $\Delta S$  et commenter son signe.

On donne :  $L_0 = 2 \text{ m}$ ,  $L_f = 2,01 \text{ m}$ ,  $s = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ ,  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  et  $E = 2 \cdot 10^{11} \text{ Pa}$ .

4- Le câble est maintenant thermiquement isolé du milieu extérieur. La force de traction exercée, d'une façon réversible ( $0 \rightarrow F$ ), sur le câble, fait évoluer son état d'équilibre de l'état initial  $(T_0, L_0)$  à l'état final  $(T_f', L_f')$ . Déterminer la température finale  $T_f'$  du câble. Calculer  $T_f'$  et commenter le signe de  $\Delta T = T_f' - T_0$ .

On donne :  $L_0 = 2 \text{ m}$ ,  $L_f' = 2,02 \text{ m}$ ,  $T_0 = 298 \text{ K}$ ,  $\rho_0 = 7,8 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$  et  $c_L = 459 \text{ JK}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ .

Fin de l'épreuve.