

Correction de l'épreuve de physique (Session 2009)
Filière Biologie-Giologie

	<u>PROBLEME I :</u>	22 pts
1-1-	$\Delta \vec{E}(M,t) - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}(M,t)}{\partial t^2} = \vec{0} ; \vec{E}(M,t) = \vec{E}(z,t) \Rightarrow \Delta \vec{E}(M,t) = \frac{\partial^2 \vec{E}(M,t)}{\partial z^2}$ <p>d'où : $\frac{\partial^2 \vec{E}(M,t)}{\partial z^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \vec{E}(M,t)}{\partial t^2} = \vec{0} ; v$ est la vitesse de propagation de l'onde.</p> <p>c'est l'équation de propagation D'Alembert.</p> <p>Exemples :</p> <ul style="list-style-type: none"> - onde mécanique le long d'une corde tendue - onde acoustique dans les fluides. <p>Pour les phénomènes étudiés, on néglige les effets de l'amortissement ou la dissipation de l'énergie.</p>	<p align="center">1</p> <p align="center">0,5</p> <p align="center">0,5</p>
1-2-	<p>Les caractéristiques sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - L'onde électromagnétique plane progressive est transversale : $\vec{E} \perp \vec{k}$ et $\vec{B} \perp \vec{k}$ - le trièdre $(\vec{E}, \vec{B}, \vec{k})$ est orthogonal direct ; $\vec{B} = \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}}{\omega}$ - les champs \vec{E} et \vec{B} sont en phase. 	1,5
1-3-	<p>D'après l'expression de $\vec{E}(z,t)$, la propagation de l'onde électromagnétique est réalisée le long de l'axe Oz $\Rightarrow \vec{k} = k \vec{e}_z ; k = \frac{\omega}{v} = \frac{\omega}{c/n} = \frac{n\omega}{c}$.</p> <p>$\Rightarrow \vec{k} = \frac{n\omega}{c} \vec{u}_z ; c$ est la célérité d'onde électromagnétique dans le vide.</p> <p>$\vec{E}(z,t) = E_0 \cos\left(\omega t - \frac{n\omega}{c} z\right) \vec{u}_x$</p>	<p align="center">0,5</p> <p align="center">1</p>
1-4-	<p>On a : $\vec{B}(z,t) = \frac{\vec{k} \wedge \vec{E}(z,t)}{\omega}$ et $\vec{k} = \frac{n\omega}{c} \vec{u}_z$</p> <p>$\vec{B}(z,t) = \frac{1}{\omega} \frac{n\omega}{c} \vec{u}_z \wedge E_0 \vec{u}_x \cos\left(\omega t - \frac{n\omega}{c} z\right)$ puisque $\vec{u}_z \wedge \vec{u}_x = \vec{u}_y$</p> <p>$\Rightarrow \vec{B}(z,t) = \frac{n}{c} E_0 \cos\left(\omega t - \frac{n\omega}{c} z\right) \vec{u}_y$</p>	<p align="center">0,5</p> <p align="center">1,5</p>
1-5-	<p>La polarisation est liée au comportement de l'extrémité de vecteur champ électrique de l'onde électromagnétique.</p> <p>Une polarisation rectiligne d'une onde électromagnétique est caractérisée par une orientation fixe du vecteur champ électrique. Son extrémité décrit un segment de droite dans un plan d'onde.</p> <p>La lumière naturelle (provenant du Soleil) est non polarisée.</p>	<p align="center">1</p> <p align="center">0,5</p>

	<p>Les différents types de polarisation sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> - polarisation rectiligne - polarisation circulaire (gauche et droite) - polarisation elliptique (gauche et droite) 	0,5
1-6-	On place une source ponctuelle de lumière dans le plan focal objet d'une lentille convergente. La lumière émergente traverse un polariseur P. A la sortie du polariseur, la lumière est polarisée rectilignement suivant la direction du polariseur.	1
1-7-	<p>A la sortie du polariseur, l'onde électromagnétique transmise est polarisée suivant la direction de l'axe du polariseur.</p> <p>Lorsqu'on fait l'axe du polariseur, l'intensité lumineuse (flux d'énergie de l'onde électromagnétique) de l'onde transmise varie alternativement entre une valeur maximale I_{max} et une valeur minimale nulle $I_{min} = 0$;</p> <ul style="list-style-type: none"> - si le champ incident \vec{E}_i est colinéaire à l'axe du polariseur $\Rightarrow I = I_{max}$ - si \vec{E}_i est perpendiculaire à l'axe du polariseur $\Rightarrow I = I_{min} = 0$ <p>$I = \cos^2 \alpha I_{incidente}$: loi de Malus</p>	1 1
2-1-	<p>A la sortie de la lame à retard, $z = e$.</p> <p>L'onde est polarisée suivant Ox, l'indice du milieu est $n_o \Rightarrow k = \frac{n_o \omega}{c}$;</p> <p>Le champ électrique transmis est :</p> <p>$\vec{E}_t(z = e, t) = E_{0x} \cos\left(\omega t - \frac{n_o \omega}{c} e\right) \vec{u}_x = E_{0x} \cos(\omega t - \varphi_x) \vec{u}_x \Rightarrow \boxed{\varphi_x = \frac{n_o \omega}{c} e}$</p>	1
2-2-	<p>L'onde est polarisée suivant Oy, l'indice du milieu est $n_e \Rightarrow k = \frac{n_e \omega}{c}$;</p> <p>Le champ électrique transmis est :</p> <p>$\vec{E}'_t(z = e, t) = E_{0y} \cos\left(\omega t - \frac{n_e \omega}{c} e\right) \vec{u}_y = E_{0y} \cos(\omega t - \varphi_y) \vec{u}_y \Rightarrow \boxed{\varphi_y = \frac{n_e \omega}{c} e}$</p>	1
2-3-	<p>Le champ électrique incident s'écrit :</p> <p>$\vec{E}_i(z, t) = E_0 \cos\alpha \cos(\omega t - kz) \vec{u}_x + E_0 \sin\alpha \cos(\omega t - kz) \vec{u}_y$.</p> <p>A la sortie de la lame à retard ($z = e$), le champ électrique transmis s'écrit :</p> <p>$\vec{E}'_T(z = e, t) = E_0 \cos\alpha \cos\left(\omega t - \frac{n_o \omega}{c} e\right) \vec{u}_x + E_0 \sin\alpha \cos\left(\omega t - \frac{n_e \omega}{c} e\right) \vec{u}_y$</p> <p>$\Leftrightarrow \vec{E}'_T(z = e, t) = E_0 \cos\alpha \cos(\omega t - \varphi_x) \vec{u}_x + E_0 \sin\alpha \cos(\omega t - \varphi_y) \vec{u}_y$</p> <p>$\vec{E}'_T(z = e, t) = E_0 \cos\alpha \cos(\omega t) \vec{u}_x + E_0 \sin\alpha \cos(\omega t - (\varphi_y - \varphi_x)) \vec{u}_y$</p> <p>$= E_0 \cos\alpha \cos(\omega t) \vec{u}_x + E_0 \sin\alpha \cos(\omega t - \varphi) \vec{u}_y$</p> <p>Avec $\varphi = \varphi_y - \varphi_x = (n_e - n_o) \frac{\omega}{c} e$.</p>	1 1 0,5

2-4-	<p>* Si $\varphi = \pi$; à la sortie de la lame, la différence de phase entre les composantes du champ électrique est : $\varphi = \frac{2\pi\delta}{\lambda}$; δ est la différence de marche à la sortie de la lame.</p> <p>$\varphi = \frac{2\pi\delta}{\lambda} = \pi \Rightarrow \delta = \frac{\lambda}{2}$: il s'agit d'une lame demi-onde.</p> <p>* Si $\varphi = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \varphi = \frac{2\pi\delta}{\lambda} = \frac{\pi}{2} \Rightarrow \delta = \frac{\lambda}{4}$ dans ce cas la lame est dite quart-d'onde</p>	0,5 0,5
2-5-1-	<p>$\vec{E}_i(z, t) = E_0 \cos\alpha \cos(\omega t - kz) \vec{u}_x + E_0 \sin\alpha \cos(\omega t - kz) \vec{u}_y$.</p> <p>Pour une lame demi-onde $\varphi = \pi$.</p> <p>Le champ électrique transmis de la lame ($z = e$), est :</p> <p>$\vec{E}_t = E_0 \cos\alpha \cos(\omega t) \vec{u}_x + E_0 \sin\alpha \cos(\omega t - \varphi) \vec{u}_y$ $= E_0 \cos\alpha \cos(\omega t) \vec{u}_x + E_0 \sin\alpha \cos(\omega t - \pi) \vec{u}_y$</p> <p>Enfin $\vec{E}_t = E_0 (\cos\alpha \vec{u}_x + \sin\alpha \vec{u}_y) \cos(\omega t)$ la direction de \vec{E}_t est inchangée.</p> <p>→ le champ électrique transmis d'une lame demi-onde est polarisé rectilignement.</p>	1 1
2-5-2-	<p>Lorsqu'il s'agit d'une lame quart-d'onde $\varphi = \frac{\pi}{2}$.</p> <p>$\vec{E}_t = E_0 \cos\alpha \cos(\omega t) \vec{u}_x + E_0 \sin\alpha \cos(\omega t - \varphi) \vec{u}_y$ $= E_0 \cos\alpha \cos(\omega t) \vec{u}_x + E_0 \sin\alpha \cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \vec{u}_y$</p> <p>$\vec{E}_t = E_0 \cos\alpha \cos(\omega t) \vec{u}_x + E_0 \sin\alpha \sin(\omega t) \vec{u}_y$.</p> <p>$E_{0x} = E_0 \cos\alpha$ et $E_{0y} = E_0 \sin\alpha$, les deux composantes sont quadrature de phase.</p> <p>→ le champ électrique transmis d'une lame quart-d'onde est polarisé elliptiquement.</p> <p>Si $\alpha = \frac{\pi}{4} \Rightarrow E_{0x} = E_{0y} = \frac{1}{\sqrt{2}} E_0$ et $\varphi = \frac{\pi}{2}$; l'onde transmise est polarisée circulairement.</p>	1 1 0,5
	<u>PROBLEME II :</u>	18 pts
1-1-	<p>$L(T, F) = L_0 \left(1 + \alpha(T - T_0) + \frac{F}{sE} \right)$ et $dS = \frac{m c_L}{T} dT + \frac{\lambda}{T} dL$</p> <p>Le premier principe de la thermodynamique : $dU = \delta W + \delta Q$</p> <p>On a $\delta W = F dL$ et $\delta Q = T dS \Rightarrow dU = T dS + F dL$</p>	2
1-2-	<p>$\phi = U - TS$: énergie libre</p> <p>$d\phi = d(U - TS) = dU - d(TS) = T dS + F dL - S dT - T dS = F dL - S dT$</p> <p>$d\phi(T, L) = F dL - S dT$.</p>	1,5
1-3-	La différentielle de ϕ est totale \Rightarrow les dérivées croisées de $\phi(T, L)$ sont identiques.	

	$d\phi(T,L) = \left(\frac{\partial\phi}{\partial T}\right)_L dT + \left(\frac{\partial\phi}{\partial L}\right)_T dL = -SdT + FdL \Rightarrow \left(\frac{\partial\phi}{\partial T}\right)_L = -S \text{ et } \left(\frac{\partial\phi}{\partial L}\right)_T = F$ $\frac{\partial}{\partial L} \left(\left(\frac{\partial\phi}{\partial T}\right)_L \right)_T = \frac{\partial}{\partial T} \left(\left(\frac{\partial\phi}{\partial L}\right)_T \right)_L \Rightarrow \left(\frac{\partial(-S)}{\partial L}\right)_T = \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_L = -\left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T$ <p>D'après la différentielle de S :</p> $dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_L dT + \left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T dL = \frac{mc_L}{T} dT + \frac{\lambda}{T} dL$ $\left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_L = -\left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T = -\frac{\lambda}{T} \Rightarrow \boxed{\lambda = -T \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_L}$ <p>On a : $L(T,F) = L_0 \left(1 + \alpha(T-T_0) + \frac{F}{sE} \right) \Rightarrow F = sE \frac{(L-L_0)}{L_0} - \alpha sE(T-T_0)$</p> $\Rightarrow dF = sE \frac{dL}{L_0} - \alpha sE dT ; \text{ à } L = \text{Cte} \Rightarrow dF = -\alpha sE dT = \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_L dT$ $\Rightarrow \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_L = -\alpha sE \Rightarrow \lambda = -T \left(\frac{\partial F}{\partial T}\right)_L = \alpha sE T \Rightarrow \boxed{\lambda = \alpha sE T}$	1 1 1
1-4-	$dS = \frac{mc_L}{T} dT + \frac{\lambda}{T} dL = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_L dT + \left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T dL$ $\Rightarrow \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_L = \frac{mc_L}{T} \text{ et } \left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T = \frac{\lambda}{T} = \alpha sE.$ <p>dS est une différentielle totale \Rightarrow égalité entre les dérivées croisées</p> $\frac{\partial}{\partial L} \left(\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_L \right)_T = \frac{\partial}{\partial T} \left(\left(\frac{\partial S}{\partial L}\right)_T \right)_L \Leftrightarrow \frac{\partial}{\partial L} \left(\frac{mc_L}{T} \right)_T = \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{\lambda}{T} \right)_L = \frac{\partial}{\partial T} (\alpha sE)_L = 0$ $\frac{\partial c_L}{\partial L} = 0 \Leftrightarrow c_L \text{ est indépendante de } L$	0,5 1
2-	$dU = \delta Q + \delta W = T dS + \delta W = mc_L dT + \lambda dL + FdL = mc_L dT + (\lambda + F)dL$ $\Leftrightarrow dU = mc_L dT + (F + \alpha sE T)dL.$ <p>Puisque $F = sE \frac{(L-L_0)}{L_0} - \alpha sE(T-T_0) \Leftrightarrow F + \alpha sE T = sE \frac{(L-L_0)}{L_0} - \alpha sE T_0$</p> <p>D'où : $dU = mc_L dT + \left(sE \frac{(L-L_0)}{L_0} - \alpha sE T_0 \right) dL.$</p> $dS = \frac{mc_L}{T} dT + \frac{\lambda}{T} dL ; \frac{\lambda}{T} = \alpha sE$ $\Rightarrow dS = \frac{mc_L}{T} dT + \alpha sE dL$	1 1
3-1-	<p>La transformation est isotherme : $T_i = T_f = T_0$</p> $\Rightarrow L = L_0 \left(1 + \frac{F}{sE} \right) \Rightarrow F = sE \frac{(L-L_0)}{L_0}$ $\delta W = FdL = sE \frac{(L-L_0)}{L_0} dL \text{ travail élémentaire échangé lors de la transformation}$	1

	<p>isotherme élémentaire.</p> $W = \int_{L_i}^{L_f} \frac{sE}{L_0} (L - L_0) dL = \frac{sE}{L_0} \left(\left[\frac{L^2}{2} \right]_{L_i}^{L_f} - L_0 [L]_{L_i}^{L_f} \right)$ $W = \frac{sE}{L_0} \left(\frac{L_f^2}{2} - \frac{L_i^2}{2} \right) - sE(L_f - L_i) ; L_i = L_0$ $\Rightarrow W = \frac{sE}{2L_0} \left((L_f^2 - L_0^2) - 2(L_0 L_f - L_0^2) \right) = \frac{sE}{2L_0} (L_f - L_0)^2$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $W = \frac{sE}{2L_0} (L_f - L_0)^2$ </div>	1
3-2-	<p>A T = cte $\Rightarrow dU = sE \left(\frac{(L - L_0)}{L_0} - \alpha T_0 \right) dL$ lors de l'évolution élémentaire</p> $\Delta U = \frac{sE}{2L_0} (L_f - L_0)^2 + \alpha sE T_0 (L_f - L_0) = Q + W$ $\Rightarrow Q = \Delta U - W = \frac{sE}{2L_0} (L_f - L_0)^2 + \alpha sE T_0 (L_f - L_0) - \frac{sE}{2L_0} (L_f - L_0)^2$ <p>Puisque $L_f > L_0 \Rightarrow Q = \alpha sE T_0 (L_f - L_0) > 0$.</p> <p>Le système reçoit un transfert thermique du milieu extérieur.</p>	1 0,5 0,5
3-3-	<p>Calcul de ΔS</p> <p>A T = cte, $dS = \alpha sE dL$ ou $dS = \frac{\delta Q}{T_0} \Rightarrow \Delta S = \frac{Q}{T_0} = \frac{\alpha sE T_0 (L_f - L_i)}{T_0}$</p> <p>$L_i = L_0 \Rightarrow \Delta S = \alpha sE T_0 (L_f - L_0)$</p> <p>AN : $\Delta S = 5,5 \cdot 10^{-6} \times 12 \cdot 10^{-6} \times 2 \cdot 10^{11} (2,01 - 2) = 0,132 \text{ JK}^{-1} > 0$.</p> <p>L'augmentation de l'entropie est due à un apport du transfert thermique à partir de l'extérieur.</p>	1 0,5 0,5
4-	<p>La transformation est adiabatique réversible $\delta Q = 0$ et $dS = 0$.</p> $dS = \frac{m c_L}{T} dT + \frac{\lambda}{T} dL = \frac{m c_L}{T} dT + \alpha sE dL = 0 \Rightarrow \frac{dT}{T} = - \frac{\alpha sE}{m c_L} dL$ <p>Lors de la transformation : $\int_{T_0}^{T_f} \frac{dT}{T} = - \int_{L_0}^{L_f} \frac{\alpha sE}{m c_L} dL \Leftrightarrow \ln \left(\frac{T_f}{T_0} \right) = - \frac{\alpha sE}{m c_L} (L_f - L_0)$</p> $T_f = T_0 \exp \left(- \frac{\alpha sE}{m c_L} (L_f - L_0) \right)$ <p>AN : $m = s L_0 \rho = 0,086 \text{ kg} ; T_f = 298 \exp \left(- \frac{12 \cdot 10^{-6} \cdot 5,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 0,02}{0,086 \cdot 459} \right)$</p> $\Rightarrow T_f = 294,4 \text{ K} \Rightarrow \Delta T = T_f - T_0 = -3,6 \text{ K} \ll T_0$ <p>Lors de cette transformation, le câble subit un refroidissement.</p>	1 0,5 0,5