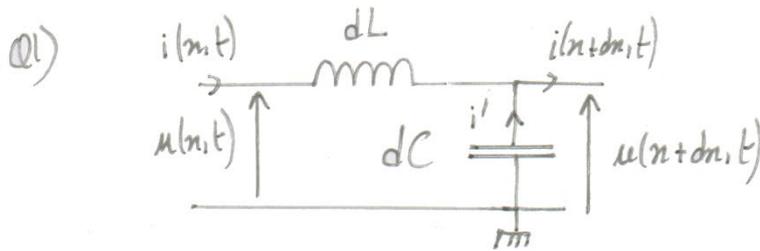


Physique : DS9

Fibre optique (CCP -PC - 2018)



dans que le câble est fermé à son extrémité par un dipôle, le courant revient par la gaine. Si le circuit est ouvert, le courant (onde) va se réfléchir à l'interface câble/air.

Q2) loi des mailles : $u(n+dL,t) = u(n,t) - \Lambda dx \frac{di(n,t)}{dt} \Rightarrow \frac{\partial u}{\partial x} = -\Lambda \frac{\partial i}{\partial t}$ (1)

loi des nœuds : $i(n+dL,t) = i(n,t) - \Gamma dx \frac{\partial u(n+dL,t)}{\partial t} \Rightarrow \frac{\partial i}{\partial x} = -\Gamma \frac{\partial u}{\partial t}$ (2)

Q3)

$$\frac{\partial (1)}{\partial x} \Rightarrow \frac{\partial^2 i}{\partial x \partial t} = -\frac{1}{\Lambda} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad \text{Schwarz} \Rightarrow \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \Lambda \Gamma \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

$$\frac{\partial (2)}{\partial t} \Rightarrow \frac{\partial^2 i}{\partial t \partial x} = -\Gamma \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$$

D'où : $\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = 0$ où $v^2 = \frac{1}{\Lambda \Gamma} \Rightarrow v = \frac{1}{\sqrt{\Lambda \Gamma}}$

Dimension de c : $\begin{cases} [\Lambda] = \text{Hm}^{-1} \\ [\Gamma] = \text{Fm}^{-1} \end{cases} \Rightarrow [v] = \text{H}^{-1/2} \cdot \text{F}^{-1/2} \text{m}$

or $\begin{cases} [E] = [1/2 Li^2] \Rightarrow [H] = [J] \cdot \text{A}^{-2} \\ [E] = [1/2 C V^2] \Rightarrow [F] = [J] \cdot \text{V}^{-2} \end{cases}$ donc $[\text{H}^{-1/2} \text{F}^{-1/2}] = [J^{-1}] \cdot \overset{\text{Watts}}{\text{A} \cdot \text{V}} = \text{s}^{-1}$

donc $[v] = \text{ms}^{-1}$

Rqne : On peut aussi faire l'analogie avec $\omega_0 = \frac{1}{VLC}$ ou directement à partir de l'ÉD.

Q4). On injecte la solution proposée dans D'Alembert :

$$-k^2 \underline{u} + \frac{\omega^2}{v^2} \underline{u} = 0 \Rightarrow \underline{k}^2 = \frac{\omega^2}{v^2}$$

- des deux termes représentent une $\left. \begin{array}{l} \text{OHPH} \\ \text{et} \end{array} \right\} \text{ se propageant vers les } x \text{ positifs}$
_____ $x \text{ négatifs.}$

Q5) À l'aide d'une équation de couplage : $\frac{\partial \underline{u}}{\partial x} = -\Lambda \frac{\partial \underline{i}}{\partial t}$

$$\Rightarrow -j k \underline{u} = -\Lambda (j \omega) \underline{i}$$

$$\Rightarrow \underline{u} = \frac{\omega \cdot \Lambda}{k} \underline{i} = c \Lambda \underline{i} = \sqrt{\frac{\Lambda}{\Gamma}} \underline{i}$$

$$\text{D'où } \underline{Z}_c = \sqrt{\frac{\Lambda}{\Gamma}} = \rho$$

Q6) En fin de câble : $\underline{u}(d, t) = \underline{Z} \underline{i}(d, t) \Rightarrow \rho (i_0 e^{-jk d} - i_1 e^{+jk d}) = \underline{Z} (i_0 e^{jk d} + i_1 e^{-jk d})$

$$\Rightarrow i_0 (\rho - \underline{Z}) e^{-jk d} = i_1 (\rho + \underline{Z}) e^{jk d} + i_1 e^{-jk d}$$

$$\text{D'où } i_1 = i_0 \frac{\rho - \underline{Z}}{\rho + \underline{Z}} e^{-2jk d}$$

$$\text{Q7) } \underline{Z}_L = \frac{\underline{u}(n, t)}{\underline{i}(n, t)} = \frac{\rho (i_0 e^{-jk n} - i_1 e^{jk n})}{i_0 e^{-jk n} + i_1 e^{jk n}} = \rho \cdot \frac{e^{-jk n} - \frac{i_1}{i_0} e^{jk n}}{e^{-jk n} + \frac{i_1}{i_0} e^{jk n}}$$

$$= \rho \cdot \frac{1 - \frac{i_1}{i_0} e^{2jk n}}{1 + \frac{i_1}{i_0} e^{2jk n}}$$

$$\Rightarrow \underline{Z}_L = \rho \cdot \frac{\rho + \underline{Z} - (\rho - \underline{Z}) e^{2jk(n-d)}}{\rho + \underline{Z} + (\rho - \underline{Z}) e^{2jk(n-d)}}$$

Si $\rho = \underline{Z}$ alors \underline{Z}_L indépendant de n et dans ce cas $\underline{Z}_L = \rho = \underline{Z}_c$

$\Leftrightarrow i_1 = 0$: on dit qu'il y a adaptation d'impédance : absence d'onde réfléchie

Q8) La résistance modélise les pertes dans la ligne lors de la propagation du signal c'est l'absorption.

Q9) loi des mailles : $u(n+\Delta n, t) = u(n, t) - \Lambda dx \frac{\partial i}{\partial t} - r i dx$

loi des nœuds : $i(n+\Delta n, t) = i(n, t) - \Gamma dx \frac{\partial u}{\partial t}$

$$\Rightarrow \begin{cases} \frac{\partial u}{\partial x} = -\Lambda \frac{\partial i}{\partial t} - r i \\ \frac{\partial i}{\partial x} = -\Gamma \frac{\partial u}{\partial t} \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial t} = -\frac{r}{\Lambda} \frac{\partial i}{\partial x} - \frac{1}{\Lambda} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \\ \frac{\partial^2 i}{\partial t \partial x} = -\Gamma \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \end{cases}$$

$$\text{Donc } \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \Gamma \Lambda = r \frac{\partial i}{\partial x} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = -\Gamma r \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \Gamma \Lambda \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + r \Lambda \frac{\partial u}{\partial t}$$

Q10) Relation de dispersion : $-k^2 u = r \Lambda (j\omega) u + \Gamma \Lambda (-\omega^2) u$

$$\Rightarrow k^2 = \Gamma \Lambda \omega^2 - r \Gamma j\omega$$

Q11) Si $k = \alpha - j\beta \Rightarrow u = M_0 e^{-\beta x} e^{j(\omega t - \alpha x)}$
 $\hookrightarrow \begin{cases} \beta & \text{est lié à l'absorption} \\ \alpha & \text{la propagation de l'onde} \end{cases}$

Si $\alpha > 0$: l'onde se propage vers les x positifs et s'atténue car $\beta > 0$

Q12) Soit $\begin{cases} u = M_0 e^{-\beta x} e^{j(\omega t - \alpha x)} \\ i = i_0 e^{-\beta x} e^{j(\omega t - \alpha x)} \end{cases} \Rightarrow P = \frac{1}{2} \operatorname{Re}(u \cdot i^*) = \frac{1}{2} M_0 i_0 e^{-2\beta x}$

$$\text{d'où } A = \frac{10}{\ln 10} \cdot \frac{2\beta x}{x}$$

$$\Rightarrow A = \frac{10}{\ln 10} \cdot 2\beta$$

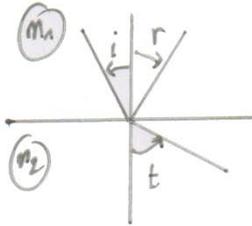
Q13) Soit $k = (\Gamma \Lambda \omega^2 - r \Gamma j\omega)^{1/2}$
 $= (\Gamma \Lambda)^{1/2} \omega \left(1 - \frac{r \Gamma j}{\Gamma \Lambda \omega}\right)^{1/2} \approx \sqrt{\Gamma \Lambda} \omega \left(1 - \frac{1}{2} \frac{r \Gamma j}{\Gamma \Lambda \omega}\right)$ d'où $\beta = \frac{1}{2} r \sqrt{\frac{\Gamma}{\Lambda}}$

$$\Rightarrow A = \frac{10}{\ln 10} r \sqrt{\frac{\Gamma}{\Lambda}}$$

Q14) A H.F, l'épaisseur de peau $\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \gamma \omega}}$ diminue et l'effet de peau apparaît. Donc la section traversée par le courant diminue. Or $r = \frac{R}{L} = \frac{\rho}{S}$, donc r augmente

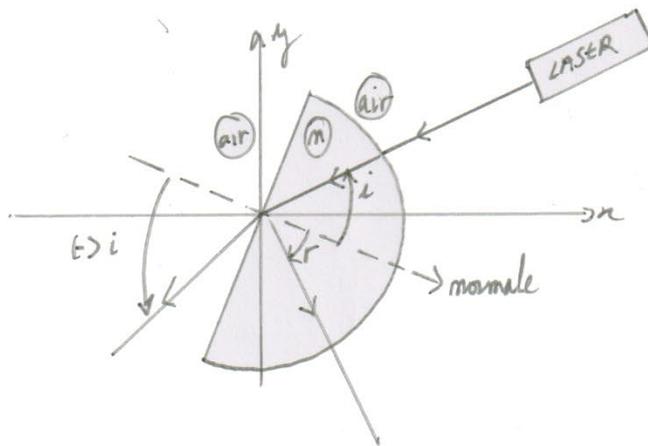
II) la fibre optique

Q15)



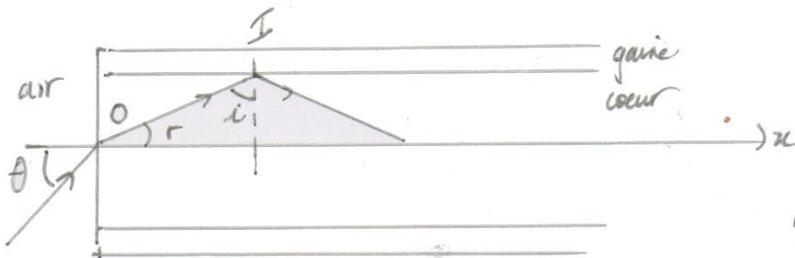
- Tous les rayons appartiennent au plan d'incidence
- $i = -r$
- $n_1 \sin(i) = n_2 \sin(t)$

Q16)



- On peut vérifier la 3ème loi de Descartes : $n_1 \sin(i) = n_2 \sin(t)$
- de laser émet des ondes directives, quasi-planes et monochromatique
 aspect cylindrique de faisceau modèle du rayon lumineux On évite la dispersion

Q17)



Il y a réflexion totale en I si : $i > i_{lim}$
 $\Leftrightarrow i > \text{Arcsin}\left(\frac{n_{gaine}}{n_{cœur}}\right)$
 $\Leftrightarrow \sin\left(\frac{\pi}{2} - r\right) > \sin i_{lim}$
 $\Leftrightarrow \cos r > \sin i_{lim}$
 $\Leftrightarrow 1 - \sin^2 r > \sin^2 i_{lim}$

$$n_e = 1$$

$$\text{or } \sin \theta = n_c \sin r.$$

$$\text{donc } -\sin^2 \theta > n_c^2 \sin^2 i_{lim} - n_c^2$$

$$\Leftrightarrow \sin^2 \theta > n_c^2 (1 - (n_g/n_c)^2)$$

$$\Leftrightarrow \sin^2 \theta > n_c^2 - n_g^2$$

$$\text{Donc } \theta > \theta_L \text{ où : } \sin \theta_L = \sqrt{n_c^2 - n_g^2}$$

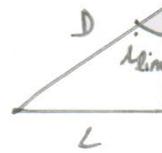
avec $\theta_L = 12^\circ$

Q18) Rayon le plus rapide tel que : $T_1 = \frac{mc}{c} \quad (\theta=0)$

Q19) Rayon le plus lent pour $\theta = \theta_c$ t.q $D = \frac{L}{\sin \theta_{\min}} =$

$$\Leftrightarrow D = L \cdot \frac{mc}{mg}$$

$$\text{d'où } T_2 = \frac{mc^2}{mg} \frac{L}{c}$$



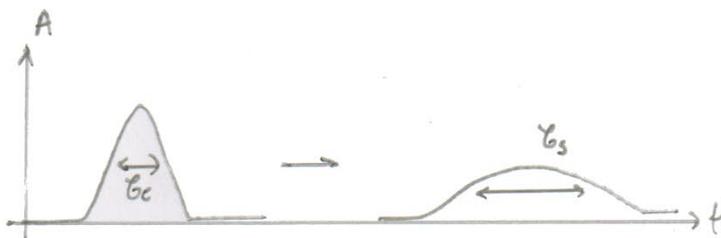
Q20) Soit $\delta T = T_2 - T_1 = \frac{mcL}{c} \left(\frac{mc}{mg} - 1 \right)$

$$\text{or } 2\Delta = 1 - \left(\frac{mg}{mc} \right)^2 \Leftrightarrow \frac{mc}{mg} = \frac{1}{\sqrt{1-2\Delta}}$$

$$\Leftrightarrow \frac{mc}{mg} \stackrel{\Delta \ll 1}{\approx} 1 + \Delta \text{ donc } \delta T = \frac{mcL}{c} \Delta = \underline{5 \cdot 10^{-7} \Delta}$$

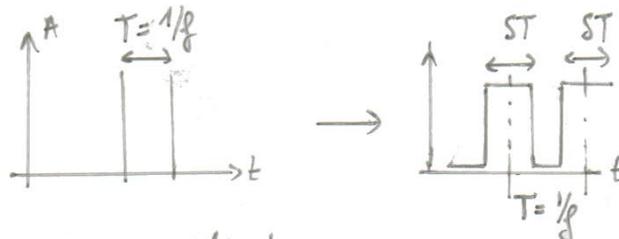
Q21) d'impulsion en sortie a la même allure mais :

- elle est plus étalée : dispersion intermodale
- Son aia reste identique car on n'a pas d'absorption dans ce modèle



d'impulsion s'étale de δT environ d'où $G_s = G_c + \delta T$

Q22) Si $G_c \rightarrow 0$ alors



Grâce au schéma on remarque qu'il faut :

$$\frac{2\delta T}{2} < T \Leftrightarrow \frac{1}{f} > \delta T \Leftrightarrow f < f_{\max} = \frac{1}{\delta T}$$

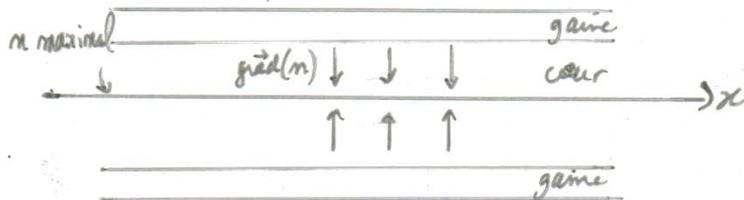
Q23) Soit $f < f_{\max}$ ou $f_{\max} = \frac{1}{\Delta t} = \frac{c}{m_c \Delta L}$

d'où $B = f_{\max} = \frac{c}{\Delta m_c}$

B dépend des caractéristiques intrinsèques de la fibre mais pas de ses conditions d'utilisation d'où son intérêt.

$L_{\max} = 201 \text{ m} \Rightarrow$ c'est trop court pour l'utilisation de cette fibre à 100 Mbit/sec.

Q24)



- \vec{n} est dirigé des zones à faible indice vers les zones à fort indice.
- n est maximal au centre de la gaine d'où le choix proposé.

Q25) loi de Snell $n_{j-1} \sin i_{j-1} = n_j \sin i_j = n_{j+1} \sin i_{j+1} = \dots$
 $\hookrightarrow n \sin i = \text{cte.}$

D'après le schéma : $\sin i = \cos \varphi$ donc $n(y) \cos \varphi = n_c \cos \theta_0 = \text{cte.}$

• Or $\frac{dy}{dx} = \tan \varphi \Rightarrow \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = \frac{\sin^2 \varphi}{\cos^2 \varphi} = \frac{1 - \cos^2 \varphi}{\cos^2 \varphi} = \frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1 = \left(\frac{n(y)}{n_c \cos \theta_0}\right)^2 - 1$

$\Rightarrow \left(\frac{dy}{dx}\right)^2 = \left(\frac{n(y)}{n_c \cos \theta_0}\right)^2 - 1$

Q26) Exercice : $\frac{d^2 y}{dx^2} = - \frac{2\Delta}{(r_c \cos \theta_0)^2} y \Rightarrow y'' + k^2 y = 0$
 $\Rightarrow y(x) = A \cos(kx) + B \sin(kx)$

Fonction périodique telle que : $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

Or $d = \frac{\lambda}{2}$ $\Rightarrow d = \frac{\pi r_c \cos \theta_0}{\sqrt{2\Delta}}$

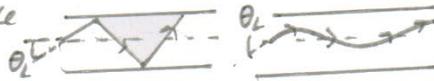
Q27) d'ouverture numérique dépend des valeurs extrêmes de n donc :

$$\sin(\theta_2) (\text{gradient}) = \sin(\theta_1) (\text{saut})$$

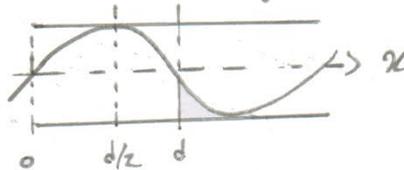
Q28) Soit $\sin \theta_2 = n_c \sin \theta_0 \Rightarrow \sin \theta_0 = \frac{\sin(12^\circ)}{1,5} \Rightarrow \theta_0 = 8,00$

D'où $\Delta T' = \frac{n_c L}{c} \left(\frac{1}{\cos \theta_0} - 1 + \frac{\cos \theta_0}{2} \right) = 2,4 \text{ ns}$

D'où $\Delta T' \ll \Delta T$, on peut donc utiliser des fréquences plus élevées si besoin.
 On peut s'expliquer ce fait car les rayons sont aidés à rester au centre de la fibre quand ils ont une forte incidence



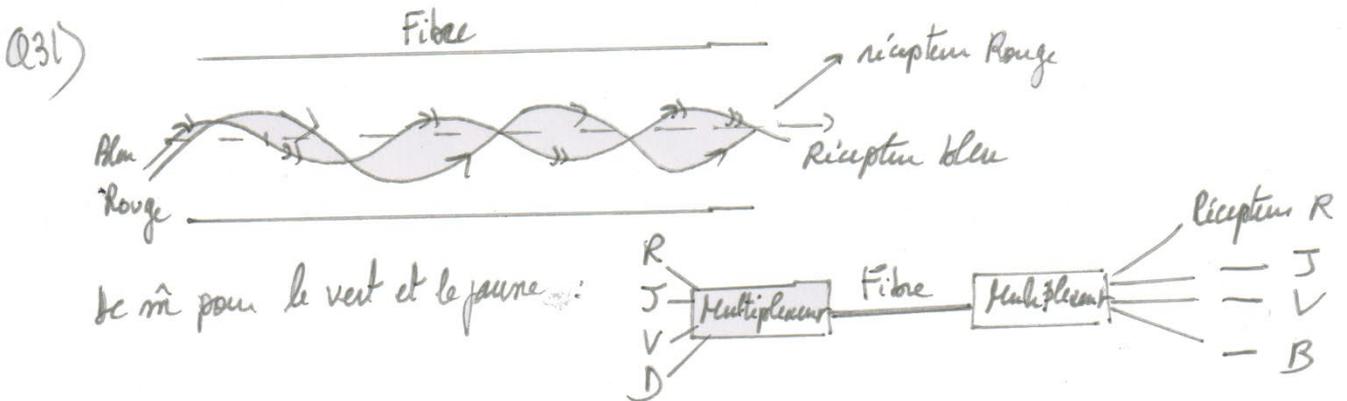
Q29) Il faut que le rayon le plus incliné rase la gaine de la fibre



ainsi $y(0) = 0$ et $\frac{\partial y}{\partial x} \Big|_{x=d/2} = 0$ d'où $y(x) = B \sin kx$ avec $\frac{kd}{2} = (p+1) \frac{\pi}{2}$ dans le cas limite.

ou $y(d/2) < \epsilon_c \Rightarrow B \sin(kd/2) < \epsilon_c$

Q30) d'intérêt du multiplexage est de pouvoir envoyer plus d'informations à l'aide d'une seule fibre.



Q32) D'après le principe de retour inverse de la lumière, on peut faire fonctionner le système à l'envers. D'où le terme de réciproque.

Q33) Le réseau est un système dispersif par diffraction d'où la séparation / recombinaison des informations aux différentes couleurs, longueurs d'onde.

Q34) Bilan de puissance sur une mésobranche de :

$$SP_{\text{éch}} + SP_{\text{rééc}} = 0 \quad \text{soit} \left\{ \begin{array}{l} SP_{\text{éch}} = P(x) - P(x+dx) \\ SP_{\text{rééc}} = m v S dx \times \frac{\sigma}{S} \times (-P(x)) \end{array} \right.$$

$$\text{donc } -\frac{\partial P}{\partial x} - m v \sigma dx P = 0$$

$$\Rightarrow \underbrace{P(x) = P_0}_{P_0} e^{-m v \sigma x}$$

Q35) Soit $A = \frac{10/\ln(10) \cdot \ln[P_0/P(x)]}{x} = \frac{10/\ln(10) \cdot m v \sigma x}{x}$

$$\Rightarrow \underbrace{A = \frac{10}{\ln(10)} \cdot m v \sigma}$$

Q36) Soit d_{max} t.q: $P(d_{\text{max}}) = 0,01 P_0 \Rightarrow -m v \sigma d_{\text{max}} = \ln(0,01)$

$$\Rightarrow d_{\text{max}} = \frac{2 \ln 10}{m v \sigma} = \frac{2 \times 10}{A m v \sigma}$$

$$\Rightarrow \underbrace{d_{\text{max}} = \frac{20}{A}}$$

Pour la fibre avec $A = 0,2 \text{ dB/km} \Rightarrow d_{\text{max}} = 100 \text{ km}$.

Le câble coaxial : $A = 10 \text{ dB/km} \Rightarrow d_{\text{max}} = 5 \text{ km}$

Q37) λ est minimal pour $\lambda \sim 1,6 \mu\text{m} \Rightarrow$ c'est de l'infrarouge

Q38) Vu que $\frac{M(\text{O})}{M(\text{H})} = 16 \Rightarrow$ on peut représenter l'oxygène fixe par rapport à l'hydrogène.

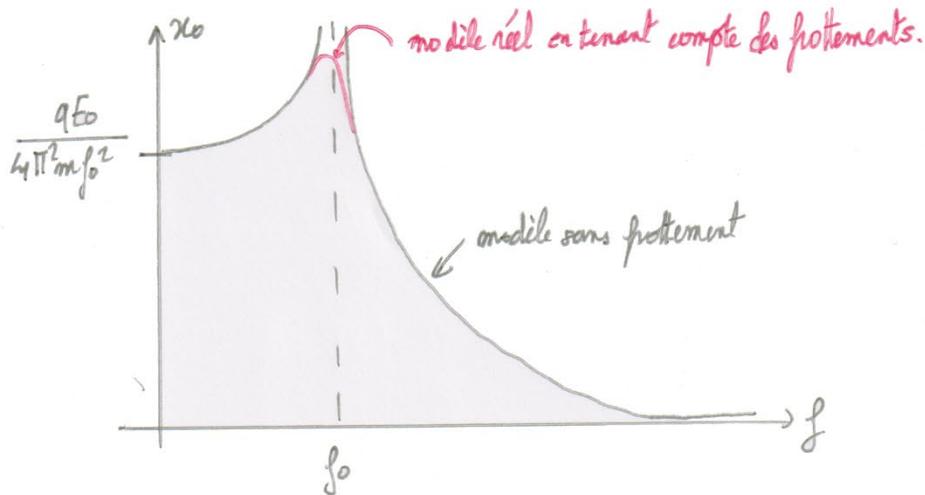
Q39) Vu que H et O sont chargés alors ils vont subir $\vec{F} = q\vec{E}$ et se mettre en mouvement.

Q40) PFD appliqué à H dans Rep: $m \ddot{x} = -kx + qEx$ d'où $\ddot{x} + \omega_0^2 x = \frac{q}{m} E_0 \cos(2\pi f t)$

$$\text{avec } \omega_0^2 = \frac{k}{m} \Rightarrow f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Q41) En notation complexe : $-\omega^2 x_0 + \omega_0^2 x_0 = a/m \epsilon_0$

$$\text{D'où : } x_0 = \frac{q \epsilon_0}{4\pi^2 m (f_0^2 - f^2)}$$



Q42) Soit $f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = 1,07 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$

Or sur la figure 11, il semblerait qu'on ait affaire à l'harmonique 2^e f. q :

$$\Rightarrow \lambda_{0H} = \frac{c}{2f_0} = 1,5 \mu\text{m} \quad \text{: on vérifie ainsi la valeur obtenue graphiquement.}$$

Q43) On pose $k_1 = \frac{m_1 \omega}{c} \Rightarrow \vec{B}_1 = \frac{\vec{E}_1 \wedge \vec{e}_1}{\omega} = \frac{m_1}{c} \frac{\epsilon_0}{\omega} e^{i(\omega t - k_1 x)} \vec{e}_z = \vec{B}_1$
 $\omega \vec{B}_1 = \frac{m_1}{c} \epsilon_0 \cos(\omega t - k_1 x) \vec{e}_z$

Q44) Pour l'onde réfléchi : $\vec{k}_r = -\vec{k}_1 = -\frac{m_1 \omega}{c} \vec{e}_x$
 et $\vec{B}_r = -\frac{m_1}{c} \frac{\epsilon_0}{\omega} e^{i(\omega t + k_1 x)} \vec{e}_z \propto \vec{B}_r = -\frac{m_1}{c} \epsilon_0 \cos(\omega t + k_1 x) \vec{e}_z$

Q45) Continuité de \vec{E} en $x=0$: $\epsilon_0 + \epsilon_{0r} = \epsilon_{02}$ (1)
 " " \vec{B} en $x=0$: $m_1 \epsilon_0 - m_1 \epsilon_{0r} = m_2 \epsilon_{02}$ (2)

$$\text{ou } \mathcal{C} = \frac{\epsilon_{02}}{\epsilon_0} =$$

$$m_1 (1) + (2) \Rightarrow m_1 2 \epsilon_0 = m_1 (\epsilon_{02}) + m_2 \epsilon_{02} \Rightarrow \mathcal{C} = \frac{2m_1}{m_1 + m_2}$$

des indices étant réels, il n'y a pas de déphasage.

Q46) Soit $\langle \vec{P}_i \rangle = \frac{1}{2} \operatorname{Re} \left(\frac{\vec{E}_i \times \vec{B}_i^*}{\mu_0} \right) = \frac{m_1}{2\mu_0 c} |\vec{E}_i|^2 = \frac{m_1}{2\mu_0 c} \vec{E}_i \vec{E}_i^*$
 et $\langle \vec{R}_e \rangle = \frac{m_2}{2\mu_0 c} \vec{E}_2 \vec{E}_2^*$

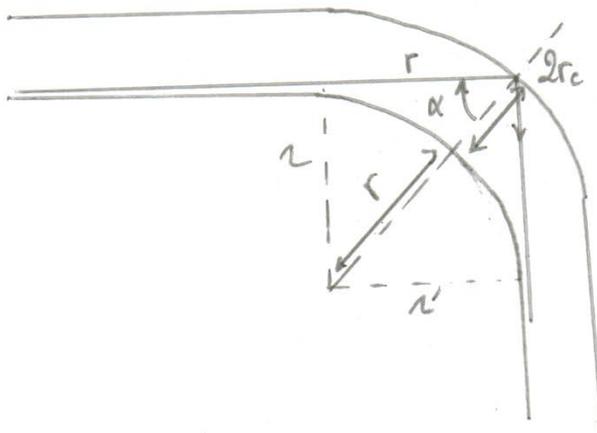
Donc $T = \frac{m_2}{m_1} \sigma^2 = \frac{4m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2}$

Q47) Soit $\frac{P_{\text{transmis}}}{P_{\text{incident}}} = T^2$ (deux dioptries) = 0,92

d'où $\frac{I}{I_0} = -10 \log T = -0,36 \text{ dB}$

Atténuation très faible

Q48)



Pour qu'on n'ait pas de pertes il faut que α vérifie : $\sin \alpha > \frac{m_g}{m_c}$

$$\Leftrightarrow \frac{r}{r+2r_c} > \frac{m_g}{m_c}$$

$$\text{D'où } r m_c > m_g (r+2r_c)$$

$$\Leftrightarrow r (m_c - m_g) > 2m_g r_c$$

$$\Leftrightarrow r > r_c \cdot \frac{2m_g}{m_c - m_g}$$

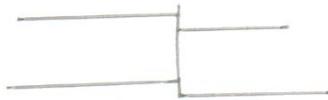
$$\Leftrightarrow r > \frac{10^{-3}}{2} \cdot \frac{2 \times 1,485}{1,5 - 1,485}$$

$$\Leftrightarrow r > \underline{9,9 \text{ cm}}$$

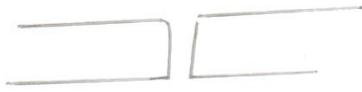
Q4)



Bien



défaut transversal (concentricité)

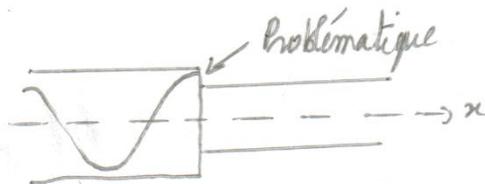


"longitudinal



"angulaire

Q5) Dans le sens 50/125 vers 62,5/125 il y aura peu de problèmes



Cependant la fibre optique est utilisée dans les deux sens en général & ici un raccordement entre 2 fibres de m[^]e type est préconisé.