

Le problème, consacré à la **propagation guidée de la lumière**, comporte deux parties indépendantes : fibres optiques et optique géométrique (première partie), approche électromagnétique et onde évanescente (deuxième partie).

Remarques préliminaires importantes : il est rappelé aux candidat(e)s que

- * les explications des phénomènes étudiés, les justifications physiques interviennent dans la notation au même titre que les calculs,*
- * tout au long de l'énoncé, les paragraphes en italiques ont pour objet d'aider à la compréhension du problème mais ne donnent pas lieu à des questions,*
- * tout résultat fourni dans l'énoncé peut être admis et utilisé par la suite, même s'il n'a pas été démontré par les candidat(e)s.*

Le guidage de la lumière est assuré par des fibres optiques : c'est un guide d'onde pour les radiations lumineuses.

Une fibre optique est constituée d'un cylindre de verre (ou de plastique) appelé cœur, entouré d'une gaine transparente d'indice de réfraction plus faible. La gaine contribue non seulement aux propriétés mécaniques de la fibre, mais évite aussi les fuites de lumière vers d'autres fibres en cas de contact. Actuellement, le diamètre du cœur d'une fibre va de 3 à 200 μm selon ses propriétés et le diamètre extérieur de la gaine peut aller jusqu'à 400 μm .

PREMIERE PARTIE

Tournez la page S.V.P.

FIBRES OPTIQUES ET OPTIQUE GEOMETRIQUE

I.A Lois DE SNELL-DESCARTES

On considère un dioptre de surface S , séparant deux milieux homogènes, d'indices de réfraction différents n_1 et n_2 . Un rayon lumineux rectiligne, incident dans le milieu 1, tombant sur le dioptre en un point I , donne naissance à un rayon réfléchi dans le milieu 1 et à un rayon réfracté dans le milieu 2.

Soit $\vec{N}$ le vecteur normal à S en I , dont le sens est défini de 2 vers 1. Le plan d'incidence est le plan défini par le rayon lumineux et $\vec{N}$, et l'angle d'incidence est l'inclinaison du rayon incident sur la normale à la surface.

I.A.1 Enoncer les lois définissant le rayon réfléchi.

I.A.2. Enoncer les lois définissant le rayon réfracté.

I.B Fibre optique à saut d'indice

Soit une fibre optique F constituée d'un cœur cylindrique de rayon a et d'indice n_1 , entouré d'une gaine d'indice n_2 inférieur à n_1 et de rayon extérieur b . Les faces d'entrée et de sortie sont perpendiculaires au cylindre d'axe Oz formé par la fibre. L'ensemble, en particulier la face d'entrée, est en contact avec un milieu d'indice n_0 et pour les applications numériques on supposera que ce milieu est de l'air pour lequel $n_0 = 1$.

I.B.1 « Zigzag » plan

Un rayon lumineux SI arrive en un point I sur la face d'entrée de la fibre. A quelle(s) condition(s) d'incidence ce rayon a-t-il, dans la fibre, un trajet plan ?

On considère un rayon SI incident sur le cœur et contenu dans le plan Oxz (

Figure 1). On appelle INCORPORER Equation.DSMT36 l'angle d'incidence et INCORPORER Equation.DSMT36 l'angle de la réfraction sur la face d'entrée de la fibre.

Figure 1

I.B.2 Déterminer en fonction de n_0 , n_1 et n_2 la condition que doit satisfaire i pour que le rayon réfracté ait une propagation guidée dans le cœur.

La valeur maximale de i est alors désignée par i_a (angle d'acceptance de la fibre).

I.B.3 On appelle ouverture numérique (O.N.) du guide la quantité $O.N. = n_0 \sin i_a$. Exprimer O.N. en fonction de n_1 et n_2 .

I.B.4 Calculer i_a et O.N. pour une fibre d'indices $n_1 = 1,456$ (silice) et $n_2 = 1,410$ (silicone). Quelle serait la valeur de ces grandeurs pour un guide à base d'arséniure de gallium pour lequel $n_1 = 3,9$ et $n_2 = 3,0$? Commentaires.

L'atténuation de la lumière dans les fibres optiques est due à l'absorption et à la diffusion par le matériau constitutif du cœur et par ses impuretés (Fe^{2+} , Cu^{2+} , OH^-). Elle se mesure en décibels par km :

$$A_{dB/km} = \frac{10}{l_{(km)}} \log_{10} \left(\frac{\phi_1}{\phi_2} \right)$$

où ϕ_1 et ϕ_2 désignent les flux lumineux dans les plans de front successifs 1 et 2 distants de l .

I.B.5 On parvient couramment à réaliser des fibres dans lesquelles le flux, après un parcours de 50 km, représente 10 % du flux incident. Calculer l'atténuation de telles fibres.

I.C Applications

I.C.1 Endoscope à fibres, fibroscope

Le but d'un endoscope est de permettre à un observateur de « voir » dans des endroits inaccessibles, d'intérêts divers (médical, militaire, industriel, etc). L'endoscope à fibres est constitué de deux faisceaux de fibres : l'un éclaire le site, l'autre assure le retour vers l'extérieur de la lumière émise par la cible éclairée. Le nombre de fibres constituant chaque faisceau est de l'ordre de 10^4 à 10^6 .

Si l'on imagine la cible divisée en environ 10^5 petits carrés, chaque fibre au voisinage de la cible recueillant la lumière de l'un d'eux, quel est le problème posé à l'autre extrémité par la reconstitution de l'image ?

Quel est le problème technologique majeur posé alors par la fabrication du faisceau de fibres ?

I.C.2 Transmission optique par fibre

Deux grands problèmes se posent lorsque l'on veut transmettre des signaux lumineux dans les fibres : l'atténuation (cf. I.B.5) de l'impulsion qui se propage et son élargissement temporel.

On considère la fibre étudiée en I.B et on suppose que la lumière incidente qui véhicule le signal définit un cône convergent de sommet O et de demi-angle i_a .

I.C.2.a Calculer la différence $\delta\tau_{\max}$ des durées extrémales de propagation dans le cœur en fonction de la longueur L de la fibre, des indices n_1 et n_2 et de c (vitesse de la lumière dans le vide).

I.C.2.b Calculer la différence $\delta\tau_{\max}$ pour $L = 1$ km, $n_1 = 1,456$ et $n_2 = 1,410$. On prendra $c = 3.10^8$ m.s⁻¹.

On envoie à l'entrée de la fibre des impulsions lumineuses très brèves avec une période T (figure 2) :

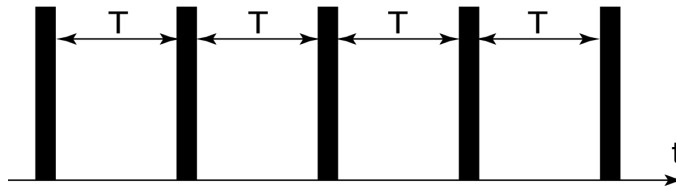


Figure 2

I.C.3 Quelle est la valeur minimale de T pour que les impulsions soient séparées à la sortie ? Comment définissez-vous une bande passante associée ?

En transmission numérique, on exprime le résultat en nombre maximum d'éléments binaires (présence ou absence d'impulsion : bit) qu'on peut transmettre par seconde. Que vaut le débit en b/s (bits par seconde) de cette fibre ? Le comparer au standard téléphone Numéris (64 kb/s) et au standard télévision (100 Mb/s).

I.D Fibres à gradient d'indice

Les fibres à gradient d'indice parabolique (variation en r^2 de l'indice dans le cœur) ont une importance particulière pour la transmission d'informations. L'indice dans le cœur (de rayon a) diminue de façon continue de la valeur n_1 sur l'axe de la fibre à la valeur n_2 dans la gaine (toujours de rayon extérieur b).

Soit r la distance d'un point quelconque de la fibre à l'axe Oz . On suppose que l'indice $n(r)$ vaut :

$$\begin{aligned} n(r) &= n_1 \left(1 - \Delta \frac{r^2}{a^2} \right) && \text{pour } 0 < r < a \\ n(r) &= n_2 && \text{pour } a < r < b, \end{aligned}$$

avec $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$.

On considère un empilement de lames à faces parallèles, homogènes, de faible épaisseur et d'indices décroissants ($n_j < n_{j-1}$). Soit i_{j-2} l'angle d'incidence du rayon lumineux sur la lame $j-1$ (Figure 3).

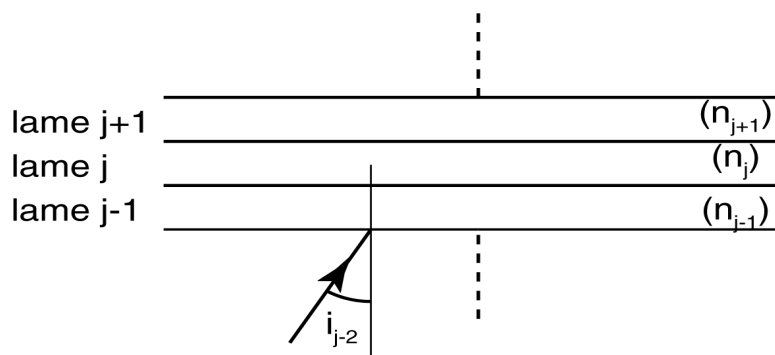


Figure 3

I.D.1 Tracer l'allure du rayon lumineux dans l'empilement de lames et donner une relation entre les angles d'incidences et les indices successifs.

Soit un rayon lumineux SO incident sous l'angle i au point O d'une fibre F' à gradient d'indice. Dans le repère Oxz , traçons la tangente à la trajectoire du rayon lumineux en un point $M(x,z)$ où l'indice vaut $n(x,z)$, et soit $\theta(x,z)$ l'angle que fait cette tangente avec l'axe Z (

Figure 4).

Figure 4

I.D.2 Donner l'expression d'une quantité K , fonction de n et θ , invariante le long de la trajectoire du rayon dans le cœur. Donner la valeur de K en fonction de n_1 et $\theta_0 = \theta(r=0, z=0)$

Quelle relation existe-t-il entre n_0 , n_1 , i et θ_0 ?

I.D.3 Etablir l'équation différentielle : $f(dx, dz, \Delta, a, \theta_0, x) = 0$, satisfaite par la trajectoire $x = x(z)$ du rayon lumineux dans le cœur .

La mettre sous la forme :

$$dz = \frac{dx}{\sqrt{A^2 - 1}}, \text{ où } A \text{ s'exprime en fonction de } \Delta, x, a \text{ et } \theta_0.$$

On se place dans le cas où la quantité Δ est jugée suffisamment petite pour qu'on soit dans l'approximation $\Delta \ll 1$.

I.D.4 Montrer qu'alors l'équation différentielle de la trajectoire prend la forme :

$$\alpha dz = \frac{dx}{\sqrt{1 - \beta x^2}}$$

En déduire l'équation $x = x(z)$ de la trajectoire dans le cœur.
Quelle est la trajectoire du rayon dans la gaine ?

I.D.5 *Fibre autofocalisante*

I.D.5.a Déterminer l'angle d'acceptance i_a de cette fibre qui conduit à un rayon guidé dans le cœur.

I.D.5.b Comparer l'ouverture numérique O.N.' de cette fibre F' à celle O.N. de la fibre F à saut d'indice.

I.D.5.c Exprimer la période Λ (période spatiale) de la trajectoire du rayon lumineux dans le cœur.

I.D.5.d Pourquoi peut-on dire que la fibre est autofocalisante si les conditions sont telles que θ_0^2 (exprimé en radians) $\ll 1$?

On est toujours dans l'hypothèse $\Delta \ll 1$ et la fibre F' a une longueur L suffisamment grande pour considérer $L \gg \Lambda$.

I.D.6 Calculer dans ces conditions, à l'ordre le plus bas, le temps T' mis par un rayon caractérisé par l'angle de réfraction θ_0 (correspondant à $i \leq i_a$) pour parcourir cette fibre. Montrer qu'on peut écrire :

$$T' = \frac{n_1 L}{c \cos \theta_0} [\alpha' + \beta' \sin^2 \theta_0 + \gamma' \sin^4 \theta_0]$$

Donner la valeur des coefficients α' , β' et γ' .

On utilisera éventuellement les résultats suivants :

$$\text{si } kL \gg 1, \text{ on a : } I_1 = \int_0^L \sin^2 kz dz \cong \frac{L}{2} \text{ et } I_2 = \int_0^L \sin^4 kz dz \cong \frac{3L}{8}$$

I.D.7 Temps de parcours et débit

I.D.7.a Calculer la différence de temps de parcours $\delta\tau'$ entre ce rayon et celui caractérisé par $\theta_0 = 0$. Montrer, en ayant remarqué que $\theta_0 \ll 1$, qu'on obtient, pour θ_0 exprimé en radians : $\delta\tau' = B\theta_0^4$, où B s'exprime en fonction de n_1 , L et c .

I.D.7.b En déduire l'expression de $\delta\tau'_{\max}$ pour les rayons qui restent dans le cœur. Exprimer $\delta\tau'_{\max}$ en fonction de n_1 , n_2 ainsi que le rapport $\frac{\delta\tau'_{\max}}{\delta\tau_{\max}}$ (cf. I.C.2.b).

I.D.7.c Donner la valeur de ce rapport pour $n_1 = 1,456$ et $n_2 = 1,410$. Justifier qualitativement ce résultat. Comparer les débits des deux types de fibres.

DEUXIEME PARTIE

ELECTROMAGNETISME : FORMULES DE FRESNEL ET ONDE EVANESCENTE

On considère l'espace rempli de deux milieux notés 1 et 2, séparés par une interface plane S . Ce sont des diélectriques parfaits, non magnétiques, linéaires, homogènes, isotropes et non absorbants de permittivité ϵ_1 et ϵ_2 , d'indice n_1 et

n_2 (les milieux étant ni dispersifs, ni absorbants, ces quantités sont réelles) et de perméabilité magnétique μ_0 (celle du vide).

On note c la vitesse de propagation de la lumière dans le vide et pour les applications numériques, on prendra $c = 3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

Une source, située dans le milieu 1, émet une onde électromagnétique plane progressive monochromatique (OPPM) polarisée rectilignement, de longueur d'onde λ_0 dans le vide et de pulsation ω , appelée onde incidente, de champ électrique $\vec{E}_i$ qui tombe en O sur S avec un angle orienté θ_i par rapport à la normale (Figure 5).

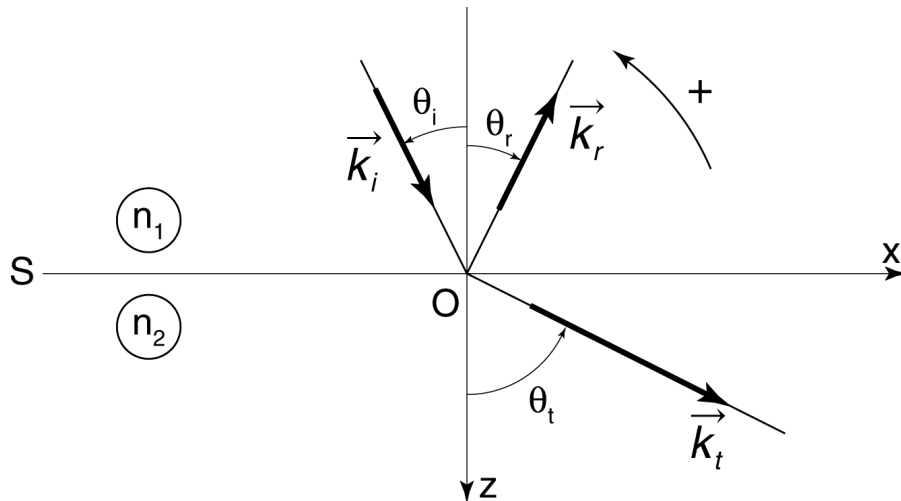


Figure 5

Cette onde donne naissance en O à une onde réfléchie, de champ électrique $\vec{E}_r$, de vecteur d'onde $\vec{k}_r$ dans le milieu 1 et à une onde transmise de champ électrique $\vec{E}_t$, de vecteur d'onde $\vec{k}_t$, dans le milieu 2. On écrit en notation complexe en un point $M(x,y,z)$ à l'instant t :

$$\vec{E}_i(M,t) = \vec{E}_{0i} \exp j(\omega t - \vec{k}_i \cdot \vec{r})$$

où le vecteur d'onde réel $\vec{k}_i$, dans le plan d'incidence Oxz, a les composantes suivantes (Figure 5) :

$$[k_{ix} = k_i \sin \theta_i, \quad k_{iy} = 0, \quad k_{iz} = k_i \cos \theta_i]$$

Pour un vecteur $\vec{V}$, on notera V sa norme lorsqu'il n'y a pas de confusion possible.

II.A.1 Invariances

II.A.1.a Justifier que les ondes réfléchie et transmise ont la même pulsation ω que l'onde incidente.

II.A.1.b Établir que $k_i = k_0 n_1$, avec $k_0 = \omega / c$.

Justifier que les vecteurs d'onde $\vec{k}_r$ pour l'onde réfléchie et $\vec{k}_t$ pour l'onde transmise satisfont :

$$k_{r_x} = k_{t_x} = k_{i_x} \equiv k_x$$

$$k_{r_y} = k_{t_y} = k_{i_y} \equiv k_y$$

II.A.2 Les lois de SNELL-DESCARTES

II.A.2.a Donner, en fonction de ω , c et n_1 , l'équation différentielle de propagation de l'onde $\vec{E}_1$ résultant de la superposition des ondes incidente $\vec{E}_i$ et réfléchie $\vec{E}_r$ dans le milieu 1.

II.A.2.b On écrit en notation complexe :

$$\vec{E}_1(M,t) = \vec{E}_1(z) \exp j(\omega t - k_x \cdot x) .$$

Justifier cette écriture. Montrer que $\vec{E}_1(z)$ est solution de l'équation différentielle :

$$\frac{d^2 \vec{E}_1(z)}{dz^2} + k_{1z}^2 \vec{E}_1(z) = \vec{0} .$$

Exprimer le terme k_{1z}^2 en fonction de ω , c , n_1 , et k_x .
Justifier son caractère réel et son signe.

En déduire les expressions de $\vec{E}_i(z)$ et $\vec{E}_r(z)$. Calculer k_r .

II.A.2.c On introduit l'angle orienté θ_r (Figure 5) relatif à l'onde réfléchie $\vec{E}_r$.
Retrouver les lois de la réflexion.

II.A.2.d Donner en fonction de ω , c et n_2 , l'équation de propagation de l'onde $\vec{E}_2 = \vec{E}_t$ dans le milieu 2.
Après avoir justifié l'écriture de l'onde dans le milieu 2 sous la forme :

$$\vec{E}_2(M,t) = \vec{E}_2(z) \exp j(\omega t - k_x \cdot x) ,$$

donner l'équation satisfaite par $\vec{E}_2(z)$.

On se place dans le cas où $n_2 > n_1$.

Exprimer la solution générale pour k_{2z} en fonction de k_0 , n_1 , n_2 , et θ_i . En déduire l'expression de l'onde transmise $\vec{E}_t(z)$ dans le milieu 2. Calculer k_t .

II.A.2.e On introduit l'angle orienté θ_t (Figure 5) relatif à l'onde transmise $\vec{E}_t$. Retrouver les lois de la réfraction.

II.A.3 *Onde évanescente*

On se place maintenant dans le cas où $n_1 > n_2$.

II.A.3.a A quelle condition l'onde $\vec{E}_t$ existe-t-elle sans être amortie ?

On suppose que cette dernière condition n'est pas non plus satisfaite.

II.A.3.b Montrer que le vecteur d'onde dans le milieu 2 devient complexe et donner ses composantes dans le repère $Oxyz$ en fonction de k_0 , n_1 , n_2 et θ_i .

Montrer que l'onde transmise peut alors s'écrire :

$$\vec{E}_t(M, t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{.Identifier INCORPORER}$$

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M, t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **. Est-ce encore une onde progressive ? Pourquoi une telle onde est-elle dite évanescente ?**

II.A.3.c La profondeur de pénétration de l'onde dans le milieu 2 est définie comme la distance à l'interface, telle que l'amplitude du champ électrique se trouve divisée par un facteur $e = 2,72$. Exprimer en fonction de **INCORPORER**

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M, t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **, INCORPORER**

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M, t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **, INCORPORER**

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M, t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **et INCORPORER**

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M, t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **et tracer l'allure du**

graphe INCORPORER Equation.3 $\vec{E}_t(M, t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **.II.A.4**
Donner en fonction de la longueur d'onde INCORPORER

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M, t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **dans le vide la valeur de en incidence quasi-rasante avec INCORPORER**

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M, t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **= 1,456 silice) et**

INCORPORER Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M, t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **= 1,410**

silicone).II.B Formules de FresnelII.B.1 Equations de Maxwell et conditions aux limites.II.B.1.a Donner les deux équations de Maxwell valables dans tous les milieux, traduisant les propriétés intrinsèques des champs électrique INCORPORER Equation.3

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{et magnétique INCORPORER Equation.3}$$

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{Quelles en sont les conséquences sur les composantes de INCORPORER Equation.3}$$

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{et INCORPORER Equation.3}$$

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{à l'interface S ? II.B.1.b Donner l'autre couple d'équations de Maxwell, qui lient les champs aux sources, prenant en compte les propriétés du milieu matériel, et relatives au déplacement électrique INCORPORER Equation.3}$$

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{et à l'excitation magnétique}$$

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{INCORPORER Equation.3 Qu'en déduisez-vous sur les champs INCORPORER Equation.3}$$

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{et INCORPORER Equation.3}$$

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{à la traversée de l'interface S séparant les deux milieux diélectriques parfaits ? II.B.2 Onde incidente polarisée perpendiculairement au plan d'incidence. On considère maintenant une onde incidente dont la polarisation est perpendiculaire au plan d'incidence : INCORPORER Equation.3}$$

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{II.B.2.a Caractériser la polarisation du}$$

$$\text{champ INCORPORER Equation.3} \quad \vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$$

$$\text{associé à INCORPORER Equation.3} \quad \vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$$

$$\text{Donner, en la justifiant, celle des champs INCORPORER}$$

$$\text{Equation.3} \quad \vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{et INCORPORER Equation.3}$$

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{des ondes réfléchi et transmise. Les champs des ondes incidente, réfléchi et transmise sont écrits :}$$

$$\text{INCORPORER Equation.3} \quad \vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{I = r, t}$$

$$\text{INCORPORER Equation.3} \quad \vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{I = i, r, t II.B.2.b}$$

$$\text{Exprimer INCORPORER Equation.3} \quad \vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{I = i, r, t) dans le repère INCORPORER Equation.DSMT36}$$

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{en fonction de INCORPORER Equation.3}$$

$$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)} \quad \text{et des paramètres INCORPORER}$$

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$, **INCORPORER**

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$, **INCORPORER**

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **et INCORPORER**

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **II.B.3 Coefficients de transmission et de réflexion pour l'amplitude** On appelle facteur de réflexion et de transmission en amplitude pour cette onde polarisée perpendiculairement au plan d'incidence, les quantités complexes) sans dimension **INCORPORER Equation.3**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **et INCORPORER Equation.3**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **suivantes : INCORPORER Equation.3**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **et INCORPORER Equation.3**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **II.B.3.a Ecrire un système de deux équations satisfaites par INCORPORER Equation.3**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **et INCORPORER Equation.3**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **Le résoudre et montrer qu'on obtient les formules de Fresnel : INCORPORER Equation.3**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **et INCORPORER Equation.3**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **II.B.3.b Que remarque-t-on pour**

INCORPORER Equation.3 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **? Que vaut le déphasage de l'onde réfléchie lors d'une réflexion sur un milieu plus réfringent ? Donner la valeur de INCORPORER Equation.3**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **et INCORPORER Equation.3**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **pour les cas particuliers :• d'une incidence telle que INCORPORER Equation.3**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **avec INCORPORER Equation.DSMT36**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **< INCORPORER Equation.DSMT36**

$\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **• d'une incidence rasante INCORPORER**

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **avec INCORPORER**

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k''_{tz} \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ **> INCORPORER**

Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$.II.C Onde évanescente, coefficients de réflexion et de transmission
II.C.1 Onde électromagnétique évanescente Exprimer en fonction de
INCORPORER Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ 1
INCORPORER Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ 2
INCORPORER Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ et de
INCORPORER Equation.3 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ les
composantes dans le repère INCORPORER Equation.DSMT36
 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ de l'amplitude INCORPORER Equation.3
 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ de l'onde magnétique associée à l'onde
évanescente INCORPORER Equation.3 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$
de la question II.A.3.b polarisée perpendiculairement au plan
d'incidence.II.C.2 Coefficients de réflexion et de
transmissionII.C.2.a Ecrire les deux conditions de passage que
satisfont les champs à la surface S. En déduire les deux équations
vérifiées maintenant par INCORPORER Equation.DSMT36
 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ et INCORPORER Equation.DSMT36
 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$.II.C.2.b Montrer que les solutions
peuvent s'écrire : INCORPORER Equation.3
 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ et INCORPORER Equation.3
 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ Identifier INCORPORER
Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ et INCORPORER
Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$.II.C.2.c Sans faire de
calcul, décrire ce qui se passe si le milieu 2 a une épaisseur
INCORPORER Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ très
faible, de l'ordre de la profondeur de pénétration INCORPORER
Equation.DSMT36 $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$, et s'il existe une
deuxième interface S' avec un milieu 3 identique au milieu 1
Figure 6). $\vec{E}_t(M,t) = \vec{E}_{0t} e^{-k_{tz}'' \cdot z} e^{j(\omega t - k_x x)}$ Figure 6FIN DE L' EPREUVE