

**-EXERCICE 33.6-**

• **ENONCE :**

« Communications sous-marines par ondes radio »

• On envisage la propagation d'ondes électromagnétiques dans l'eau de mer, assimilé à un milieu diélectrique LHI neutre, de permittivité relative  $\epsilon_r = 79$  et de conductivité électrique  $\gamma = 4 \Omega^{-1}.m^{-1}$  (cette conductivité est due aux sels dissous) ; ses propriétés magnétiques sont celles du vide.

**Rq :** cette valeur peut sembler élevée, mais elle correspond à des fréquences « faibles » par rapport aux fréquences optiques, pour lesquelles l'indice  $n = \sqrt{\epsilon_r}$  est proche de 1,3 ; notons également que la valeur de  $\epsilon_r$  « statique » dépend notablement de la température de l'eau.

- Les fréquences d'étude sont  $f_1 = 200 \text{ KHz}$  (modulation d'amplitude) et  $f_2 = 100 \text{ MHz}$  (modulation de fréquence).
- On admettra la validité de la loi d'Ohm dans le milieu considéré.

1) On s'intéresse à la propagation d'ondes planes harmoniques en  $\exp[i(\omega t - \vec{k} \cdot \vec{r})]$ , où le vecteur d'onde est à priori complexe.

Donner l'équation de dispersion vérifiée par  $\underline{k}$  et  $\omega$  ; en déduire le carré de l'indice complexe  $\underline{n}^2$ , après avoir posé  $\underline{k} = \underline{n} \frac{\omega}{c}$ .

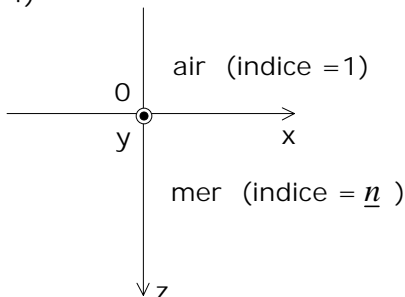
2) Evaluer les parties réelle et imaginaire de  $\underline{n}^2$  ; en déduire l'expression approchée de  $\underline{n}$ .

On posera :  $a = \sqrt{\frac{2\epsilon_0\omega}{\gamma}}$ .

Finalement, aux fréquences envisagées, à quel type d'équation se ramène l'équation satisfaite par le champ électrique dans l'eau de mer ?

3) Exprimer la profondeur de pénétration de l'onde  $\delta$  ainsi que sa vitesse de phase  $v_\phi$  dans l'eau de mer ; faire l'application numérique pour  $f_1$  et  $f_2$  et conclure.

4)



On considère le dioptre air/mer et l'on se place sous incidence normale.

L'onde incidente se propage dans l'air selon les z croissants et est polarisée rectilignement ; on donne l'expression du champ électrique:

$$\vec{E}_i = E_0 \exp[i(\omega t - kz)]\vec{e}_x$$

- Elle engendre en  $z=0$ , une onde réfléchiée et une onde incidente, dont on admettra la structure d'ondes planes et harmoniques.

## EXERCICE

- a) Donner les expressions des champs électriques réfléchis et transmis  $\vec{E}_r$  et  $\vec{E}_t$  ; on fera apparaître des coefficients de réflexion et de transmission en amplitude  $\underline{r}$  et  $\underline{t}$ .
- b) En déduire les champs magnétiques associés  $\vec{B}_i$ ,  $\vec{B}_r$  et  $\vec{B}_t$ .
- c) En explicitant les relations de passage en  $z=0$ , exprimer  $\underline{r}$  et  $\underline{t}$  en fonction de  $\underline{n}$ .  
Commenter.

5) Déterminer les coefficients de réflexion et de transmission en puissance  $R$  et  $T$ .

Que vaut la somme  $R+T$  ? Commenter le résultat.

Donner une expression simplifiée de  $T$  en fonction de  $a$  ; faire l'application numérique pour  $f_1$  et  $f_2$  et conclure.

6) On envisage la communication par ondes radio entre un navire et un sous-marin ; sachant que le récepteur embarqué à bord de ce dernier peut détecter un signal d'énergie  $10^{11}$  inférieure à celle émise à bord du navire, quelle est la profondeur maximum  $H$  à laquelle doit se trouver le sous-marin pour que la communication soit possible ?

Conclure en indiquant comment, en pratique, sont réalisées les transmissions sous-marines.