

-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 ϵ_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 ω ; en déduire le carré de l'indice complexe \underline{n}^2 , après avoir posé $\underline{k} = \underline{n} \frac{\omega}{c}$.

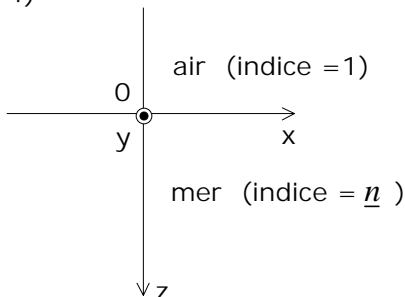
2) Evaluer les parties réelle et imaginaire de \underline{n}^2 ; en déduire l'expression approchée de \underline{n} .

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 δ ainsi que sa vitesse de phase v_ϕ 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.