Pour calculer des grandeurs énergétiques ou des puissances, dois-je utiliser les champs réels ou la notation complexe ?

Les deux sont possibles, mais il est conseillé de repasser par les champs réels.

Quelles sont les méthodes possibles pour obtenir une équation de dispersion ?

On part toujours des équations de Maxwell dans le milieu considéré. On peut ensuite par exemple :
- combiner les équations de Maxwell avec les champs réels (typiquement en faisant $\overrightarrow{\text{rot}}(\overrightarrow{\text{rot}})$) pour obtenir l'équation de propagation de l'un ou l'autre des champs $\overrightarrow{E}$ ou $\overrightarrow{B}$. On transforme ensuite cette relation en notation complexe ce qui permet d'aboutir à la relation de dispersion ;
- ou bien on transforme directement les équations de Maxwell en notation complexe, puis on les combine pour avoir une relation ne faisant apparaître que l'un ou l'autre des champs $\overrightarrow{E}$ ou $\overrightarrow{B}$ (ce n'est pas rare d'avoir à calculer un double produit vectoriel dans ce cas... Il faut connaître la formule qui donne $\overrightarrow{a} \wedge (\overrightarrow{b} \wedge \overrightarrow{c})$). Cette relation donne directement la relation de dispersion, sachant que les champs $\overrightarrow{E}$ ou $\overrightarrow{B}$ sont non nuls.

Comment savoir si l'indice de réfraction d'un milieu est réel ou complexe ?

L'indice de réfraction est lié au vecteur d'onde par la relation (par définition) :

$$\underline{n} = \frac{\underline{k}c}{\omega}$$

Or c et ω sont des réels. Donc il faut déterminer si $\underline{k}$ est réel ou complexe. Pour cela il suffit de regarder la relation de dispersion qui donne une expression de $\underline{k}$.

Dans certaines situations, $\underline{k}$ est réel ou complexe selon la valeur prise par un paramètre. Exemple : dans un plasma,
- si $\omega < \omega_p$ (domaine réactif), on voit que $\underline{k}$ est imaginaire pur et donc $\underline{n}$ aussi ;
- si $\omega > \omega_p$ (domaine de transparence), on voit que $\underline{k}$ est réel et donc $\underline{n}$ aussi.

Comment visualiser correctement une onde évanescente ?

Il faut se rappeler qu'une onde évanescente est une onde *stationnaire* (produit d'une fonction d'espace et de temps) et *atténuée* (exponentielle décroissante en espace) qui dans le cas particulier du cours s'écrit (en champ réel) :

$$E_y(x,t) = E_0 \exp^{-k''x} . \cos(\omega t)$$

À un instant t donné, la fonction $x \to E_y(x)$ est donc une branche d'exponentielle. Pour une animation temporelle, voir les ressources dans le cahier de texte.

Il y a aussi une exponentielle dans l'onde dans un conducteur ohmique. Est-ce aussi une onde évanescente ?

NON ! ! Dans cette situation, l'onde n'est pas stationnaire, elle se propage (en étant atténuée). Notons la différence :

$$E_y(x,t) = E_0 \exp^{-x/\delta} . \cos(\omega t - x/\delta)$$

Le fait de bien faire la différence entre ces deux situations est un des enjeux du chapitre !

Pourquoi dit-on que les courants sont surfaciques pour un conducteur parfait ?

On a vu que les ondes électromagnétiques pénètrent dans un conducteur ohmique sur une longueur caractéristique :

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\mu_0 \gamma \omega}}$$

appelée *épaisseur de peau*. On parle de conducteur parfait quand on fait tendre sa conductivité vers l'infini : $\gamma \to \infty$. Dans ce cas, $\delta \to 0$, et on en déduit que l'onde électromagnétique ne pénètre pas dans le conducteur. Autrement dit, $\overrightarrow{E}$ et $\overrightarrow{B}$ sont nuls dans le volume intérieur du conducteur. Par contre ils peuvent être non nuls au niveau de sa surface. Et comme d'après la loi d'Ohm locale $\overrightarrow{j} = \gamma \overrightarrow{E}$, les courants électriques sont nuls dans le volume, et uniquement surfaciques.

Pourquoi dit-on parfois que l'ionosphère joue le rôle d'un filtre passe-haut ?

L'ionosphère est transparente pour les ondes électromagnétiques de haute fréquence ($\omega > \omega_p$), et opaque pour les ondes électromagnétiques de basse fréquence ($\omega < \omega_p$), d'où cette appellation. La pulsation plasma joue alors le rôle de pulsation de coupure.

Je ne comprends pas ce que signifie un coefficient de réflexion en amplitude de -1... ?

Reprenons la définition :

$$\underline{r} = \frac{\underline{E}_r}{\underline{E}_i}$$

soit $\underline{E}_r = \underline{r}.\underline{E}_i$. Dans l'exemple de la question, on obtient : $\underline{E}_r = -\underline{E}_i$. L'amplitude complexe de l'onde réfléchie est donc égale à l'opposé de l'amplitude complexe de l'onde incidente. Or $-1 = \mathrm{e}^{\mathrm{i}\pi}$, donc l'onde réfléchie sera déphasée de π par rapport à l'onde incidente (ou encore autrement dit en opposition de phase).