

Examen d'Électromagnétisme II

Mardi 4 juillet 2023

9h15 – 12h15

CM1105

Prof. R. Fleury

Instructions

Merci de déposer une pièce d'identité sur le coin de votre table et indiquer votre nom sur votre copie.

Matériel autorisé dans la salle :

- Notes **manuscrites** strictement limitées à du texte, des formules et schémas, écrits sur deux feuilles A4 recto-verso (total de 4 pages).
- Pas d'autre matériel imprimé (notes, photocopiés, livres).
- Crayons, règle, compas, stylos, feutres, feuilles blanches : pas de limitation.
- Calculatrice programmable aux performances raisonnables (pas de PC, pas de dispositifs à connexion sans fil).

Déroulement :

- Trois problèmes sont proposés. Les trois problèmes sont comptés dans l'évaluation.
- L'examen est à rendre écrit avec un stylo bleu ou noir. Pas d'autres couleurs, pas d'écriture au crayon.
- L'heure officielle de finalisation de l'examen sera respectée de façon stricte.
- Des feuilles blanches seront mises à disposition si besoin.
- Débranchez vos téléphones portables.

Soyez très raisonnables avec boissons, nourriture et demandes de quitter la salle pendant l'examen.

L'intégralité de l'énoncé doit être rendu à la fin de l'épreuve.

Exercice 1)

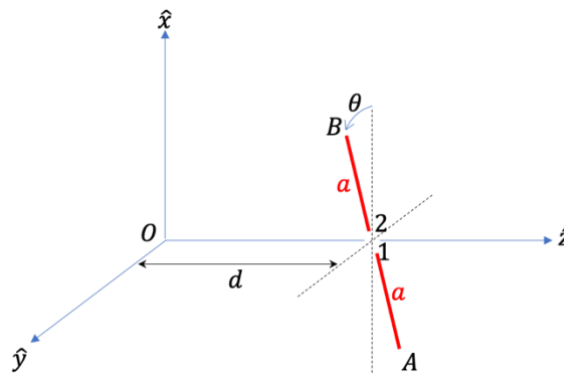
On considère une onde plane monochromatique se propageant dans la direction \hat{z} . La fréquence de cette onde est de 2.4 GHz. Le milieu de propagation est le vide ($\varepsilon = \varepsilon_0$ et $\mu = \mu_0$).

Dans cet exercice, on considère deux cas correspondant à deux polarisations différentes pour cette onde :

Polarisation (a) : Le phaseur du champ électrique s'écrit $\vec{E}(z) = \hat{x}E_0 \exp(-j\beta z)$ avec $E_0 = 1 \text{ V/m}$.

Polarisation (b) : Le phaseur du champ électrique s'écrit $\vec{E}(z) = E_0(\hat{x} - j\hat{y}) \exp(-j\beta z)$, avec $E_0 = 1 \text{ V/m}$.

Dans les deux cas, cette onde est incidente sur une antenne filaire, faite de deux fils conducteurs rectilignes de longueurs a , alignés sur le même axe et séparés par une distance $h \ll a$. Elle est placée dans un plan parallèle à (xOy) , à une distance d de l'origine O du repère, et son axe fait un angle θ par rapport à \hat{x} . Le schéma ci-dessous résume la géométrie du problème, et définit les bornes 1 et 2 qui servent à mesurer la tension induite V_{ind} (cette tension est le signal capté par l'antenne). Les points A et B correspondent aux deux extrémités de l'antenne.

**QUESTIONS ASSOCIEES A COCHER (1p par question):**

1A)

La longueur d'onde :

- ☐ vaut 12.5 centimètres.
- ☐ vaut 240 micromètres.
- ☐ Aucune des réponses précédentes

1B)

Le champ magnétique

- ☐ est orienté suivant \hat{y} dans les deux cas
- ☐ est orienté suivant \hat{y} seulement dans le cas (a)
- ☐ Aucune des réponses précédentes

Nom :

Sciper :

1C)

Dans le cas (b), l'onde plane est

☐ polarisée rectiligne

☐ polarisée circulaire

☐ polarisée elliptique

QUESTIONS PRINCIPALES (5p):

1D) Dans chacune des situations (a) et (b), calculer le phaseur complexe associé à la tension $V_{ind}(t)$ induite entre les bornes de l'antenne en fonction des paramètres du problème. Cette tension est définie comme l'intégrale $V_{ind} = \int_A^B \vec{E} \cdot \vec{dl}$ prise le long de l'antenne, sur toute sa longueur (\vec{E} est le phaseur complexe associé au champ électrique de l'onde incidente). On pourra négliger complètement l'ouverture h et considérer l'antenne comme un fil unique de longueur $2a$.

Situation a

Situation b

Sciper :

[illegible]

$\epsilon = 81\epsilon_0$
 $\mu = \mu_0$

$\epsilon = \epsilon_0, \mu = \mu_0$

$\theta_i = 44.6^\circ$

incident

\hat{x}

\hat{z}

$\odot \hat{y}$

Nom :

Sciper :

Le but de l'exercice est de déterminer la polarisation (linéaire, circulaire ou elliptique) de l'onde réfléchie et de la caractériser.

QUESTIONS ASSOCIEES A COCHER (1p par question):

3A) L'onde incidente

☐ est polarisée rectiligne

☐ est polarisée circulaire

☐ est polarisée elliptique

3B) Pour ce problème de réflexion/transmission

☐ il n'existe pas d'angle critique

☐ il existe un angle critique θ_c et $\theta_i < \theta_c$

☐ il existe un angle critique θ_c et $\theta_i > \theta_c$

3C) Dans l'eau, le rapport entre la norme du champ électrique et la norme du champ magnétique pour une onde plane:

☐ est inférieur à sa valeur dans l'air

☐ est égale à sa valeur dans l'air

☐ est supérieur à sa valeur dans l'air

QUESTIONS PRINCIPALES (5p):

3D) Exprimer les composantes du vecteur d'onde incident β_{zi} et β_{xi} en fonction du paramètre θ_i . Effectuer un calcul direct du produit scalaire $\vec{E}_i \cdot \vec{\beta}_i$ et commenter brièvement le résultat.

3E) Le champ électrique incident peut se décomposer en une somme d'une composante transverse électrique (TE) et une composante transverse magnétique (TM) : $\vec{E}_i = \vec{E}_i^{TE} + \vec{E}_i^{TM}$. Donner les expressions de \vec{E}_i^{TE} et \vec{E}_i^{TM} .

[illegible]

[illegible][illegible]

- (i) les valeurs numériques de leurs modules, que nous noterons respectivement ρ_{\perp} et ρ_{\parallel} .
- (ii) les valeurs numériques en degrés de leurs arguments respectifs (les arrondir à la dizaine de degré la plus proche et garder cette valeur pour la suite). Ces derniers seront notés θ_{\perp} et θ_{\parallel} .

-
- This image shows a blank sheet of white paper with horizontal ruling lines. The lines are evenly spaced and extend across the width of the page. There are no margins, text, or other markings on the paper.

Nom :

Sciper :

3J) En déduire le phaseur complexe associé à la composante TM du champ électrique réfléchi, \vec{E}_r^{TM} , en fonction de E_0 , ρ_{\parallel} , θ_{\parallel} , θ_i , et des vecteurs unitaires de base \hat{x} , \hat{y} , \hat{z} . A la réflexion, cette composante a-t-elle subi un changement d'amplitude ? de phase ? de direction ?

3K) Quelle est la polarisation de l'onde réfléchie ? La caractériser complètement.

Exercice 3)

On considère une antenne dipolaire rayonnant en espace libre. Une telle antenne est constituée d'un câble conducteur dans lequel s'écoule un courant sinusoïdal à la fréquence angulaire ω_0 . On suppose qu'on peut approximer la distribution de courant source par l'expression suivante :

Nom :

Sciper :

$$\vec{J}(x', y', z') = \hat{z} I_0 \delta(x') \delta(y') \text{ si } |z'| < L/2$$

$$\vec{J}(x', y', z') = 0 \quad \text{si } |z'| \geq L/2$$

QUESTIONS ASSOCIEES A COCHER (1p par question):

3A) La distribution $\delta(x)$

o est sans unité

o a pour unité l'unité de son argument x , c'est-à-dire des mètres

o a pour unité l'inverse de l'unité de son argument x , c'est-à-dire des mètres⁻¹

3B) L'amplitude du courant

o est maximale en $x = y = z = 0$

o est minimale en $x = y = z = 0$

☐ aucune des deux réponses précédentes

3C) Le potentiel vecteur \vec{A} rayonné par ce dipôle

o est orienté suivant \hat{z} partout dans l'espace

o est orienté suivant \hat{z} seulement en champ lointain

o ne peut pas posséder de composante suivant \hat{z}

QUESTIONS PRINCIPALES (5p):

1D) Calculer les champs électriques et magnétiques lointains rayonnés par l'antenne.

[illegible]

[illegible][illegible][illegible]