Université Abdelmalek Essaâdi
Faculté des Sciences de Tétouan
Département de Physique
Année : 2008/2009
SMP

Contrôle n°1
Physique 3: Electricité II
(S3, Durée : 2h)

Exercice 1: (6.5 pt)

Une structure formée par deux arcs circulaires de rayons respectives a et b et de deux fils de longueurs finies ℓ (voir la figure 1 ci-dessous). La structure est placée dans le plan xoy et est parcourue par un courant d'intensité I.

1- Représenter sur une figure les champs magnétiques créés en O par les quatre parties de cette structure.

2- Déterminer le champ magnétique total créé par la structure au point O.

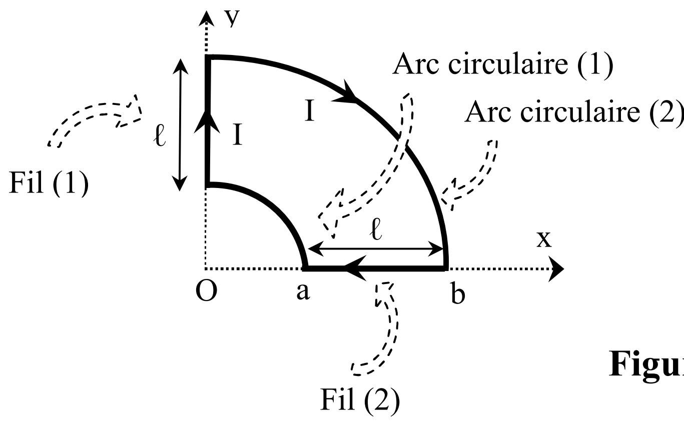


Figure 1

3- En place au voisinage de cette structure une source qui crée un champ magnétique uniforme $\vec{B} = B_0.\vec{k}$, B_0 est une constante positive et $\vec{k}$ est le vecteur unitaire de l'axe oz. Déterminer la force magnétique totale exercée par ce champ magnétique sur la structure précédente.

Exercice 2 : (6.5 pt)

Un solénoïde 'infiniment long', comportant n spires jointives par unité de longueur de rayon a, est parcouru par un courant d'intensité constante I et de sens celui de la figure 2 de la page suivante.

1- Déterminer le champ magnétique $\vec{B}$ à l'intérieur du solénoïde en utilisant le théorème d'Ampère.

2- Calculer le flux de ce champ à travers une spire circulaire de rayon $b < a$ centrée sur l'axe du solénoïde et dont la normale $\vec{N}$ faisant l'angle θ avec cet axe $\left(\left(\vec{B}, \vec{N}\right) = \theta\right)$. Quelle est l'inductance mutuelle M du solénoïde et de la spire ?

3- a- Donner le courant électrique induit dans la spire lorsque celle-ci tourne avec une vitesse angulaire constante ω ($\theta = \omega.t$), la résistance de la spire est r.

b- Déterminer le sens de ce courant induit pour θ variant entre 0 et $\pi/2$.

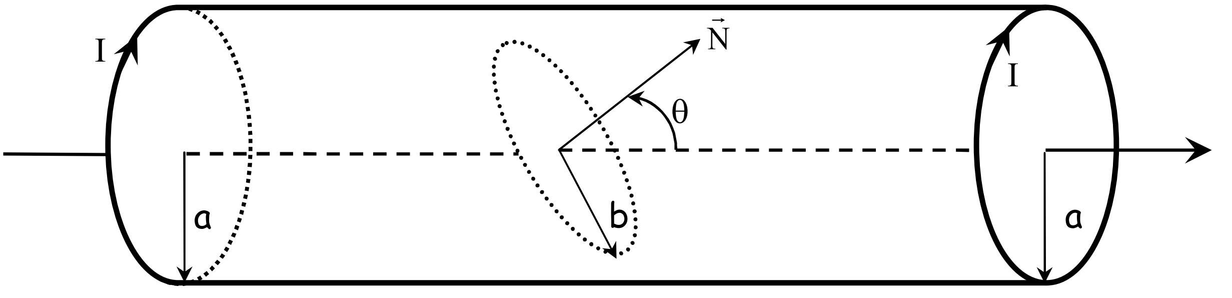


Figure 2

Exercice 3 : (7 pt)

Soit dans le vide, une onde électromagnétique plane définie par les champs électrique et magnétique donnés par:

$$\vec{\mathbf{E}} = E_0.e^{j(\omega t - \beta z)}.\vec{e}_x \ , \ \vec{H} = H_0.e^{j(\omega t - \beta z)}.\vec{e}_y$$

avec E_0 = 1mV/m.

1- Déterminer H_0 et donner sa valeur.

2- Quelle est la condition d'existence de ces champs?

3- Définir la polarisation et le sens de propagation de cette onde.

4- Déterminer l'équation d'onde à la quelle satisfont $\vec{E}$ et $\vec{H}$ et en déduire la valeur de β/ω et le rapport E/H des normes des champs électromagnétiques.

5- Montrer que $\vec{E}$ et $\vec{H}$ sont perpendiculaires et transverses.

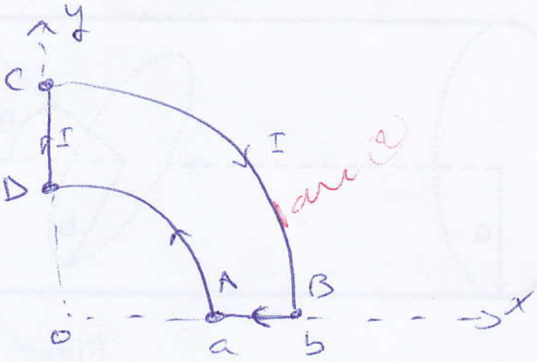
6- Déterminer la valeur moyenne dans le temps de la densité d'énergie électromagnétique.

On donne la perméabilité du vide $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ SI et la célérité de la lumière dans le vide $c=3.10^8$ m/S.

Correction du contrôle n°1 2008/2009

Le 15 Nov 2008

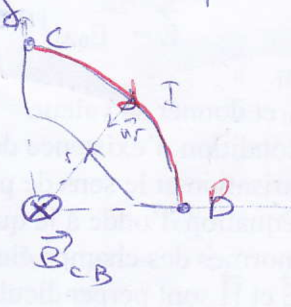
EX ①



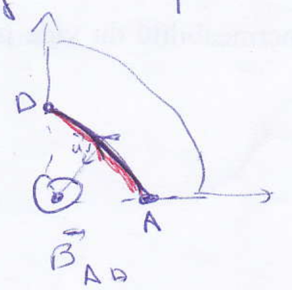
1) D'après la loi de Biot et Savart, le ch p mag créé par un élément de courant $I\,\vec{dl}$ de la structure en un pt P de l'espace est :

$$d\vec{B}(P) = \frac{\mu_0}{4\pi r^2}\, I\, \vec{dl} \wedge \vec{u_r}$$

→ Soit $\vec{B}_{CB}$ le ch p mag créé par l'arc circulaire ②



→ Soit $\vec{B}_{AD}$ le ch p mag créé par l'arc circulaire ①



→ soit $\vec{B}_{BA}$ et $\vec{B}_{DC}$ les ch p mag créés respectivement par les fils

① et ② : $\vec{B}_{BA} = 0$ $\quad \vec{u_r} \parallel \vec{dl}$

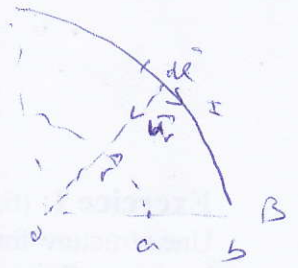
$\vec{B}_{DC} = 0$ $\quad \vec{u_r} \parallel \vec{dl}$

Les deux champs mag sont nuls.

2 - Calcul du chρ mag total créé par la structure en O :

→ le chρ mag créé par l'arc ① (càd l'arc BB) en O :

un élet $I\,\vec{dl}$ de l'arc BB crée en O le chρ mag :



$$d\vec{B}_{BC}(O) = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{I\,\vec{dl} \wedge \vec{u_r}}{r^2}$$

$\vec{dl} \perp \vec{u_r}$, $r = b$ ⟹ $dB_{BC} = \dfrac{\mu_0 I\,dl}{4\pi b^2}$

$dl = b\,d\theta$ $\qquad dB_{BC} = \dfrac{\mu_0 I\,b\,d\theta}{4\pi b^2}$

$$B_{BC} = \int dB_{BC} = \frac{\mu_0 I}{4\pi b}\int_0^{\pi/2} d\theta$$

$$\boxed{B_{BC} = \frac{\mu_0 I}{8 b}} \quad \text{et} \quad \boxed{\vec{B}_{BC} = -\frac{\mu_0 I}{8 b}\vec{k}}$$

→ de même $\boxed{B_{AD} = \dfrac{\mu_0 I}{8 a}}$ et $\boxed{\vec{B}_{AD} = \dfrac{\mu_0 I}{8 a}\vec{k}}$

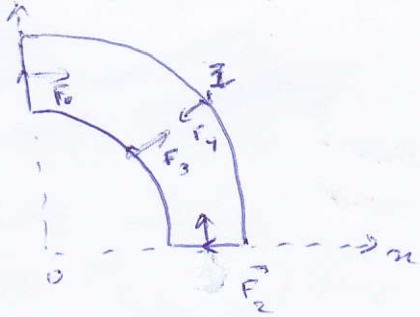
→ le chρ mag créé par les deux segments de fils ① et ② sont nuls : $\boxed{\vec{B}_{BA} = \vec{B}_{DC} = \vec{0}}$

Donc le chρ mag total créé par la structure au pt O est $\vec{B}_{tot} = \vec{B}_{AD} + \vec{B}_{BC} + \vec{B}_{BA} + \vec{B}_{DC}$

$$\boxed{\vec{B}_{tot} = \frac{\mu_0 I}{8}\left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b}\right)\vec{k}} = \frac{\mu_0 I\,l}{8ab}\cdot\vec{k}$$

$a < b \Rightarrow \frac{1}{a} > \frac{1}{b}$ $\qquad > 0 \Rightarrow$ le chρ est orienté selon la direction +Oz.

3 -



$\vec{B} = B.\vec{k}$

$B > 0$

③ -

D'après la loi de Laplace, la force mag exercée par le chp mag $\vec{B}$ sur chaque partie de la structure

Sr : $d\vec{F} = I\,d\vec{l} \wedge \vec{B}$

→ Soit $d\vec{F_1}$ la force mag exercée sur un élt $I\,d\vec{l_1}$ du fil ① :

$$d\vec{F_1} = I\,d\vec{l_1} \wedge \vec{B}$$

$$= I\,dl_1\,\vec{j} \wedge B_0\,\vec{k}$$

$$= I\,dl_1\,B_0(\vec{j} \wedge \vec{k})$$

$$d\vec{F_1} = I\,dl_1\,B_0\,\vec{i}$$

$$\Longrightarrow \vec{F_1} = \int d\vec{F_1} = I\,B_0\,\vec{i}\int_a^b dl_3$$

$$\boxed{\vec{F_1} = I\,B_0\,l\,\vec{i}}$$

→ Soit $d\vec{F_2}$ la force mag exercée sur un élt $I\,dl_2$ du fil ② : $d\vec{F_2} = I\,d\vec{l_2} \wedge \vec{B}$

$$= -I\,dl_2\,\vec{i} \wedge B\vec{k}$$

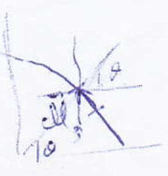
$$= -I\,dl_2\,B_0(\vec{i} \wedge \vec{k})$$

$$d\vec{F_2} = +I\,dl_2\,B_0\,\vec{j}$$

$$\vec{F_2} = \int d\vec{F_2} = I\,B_0\,\vec{j}\int_a^b dl_2$$

$$\boxed{\vec{F_2} = I\,B_0\,l\,\vec{j}}$$

→ Soit $d\vec{F_3}$ la force mag exercée sur un élt $I\,d\vec{l_3}$ de l'arc circulaire ①.



$$d\vec{F_3} = I\,d\vec{l_3} \wedge \vec{B} \text{ avec } \begin{cases} \vec{B} = B_0\vec{k} \\ d\vec{l_3} = -dl_3\sin\theta\,\vec{i} + dl_3\cos\theta\,\vec{j} \\ dl_3 = a\,d\theta \end{cases}$$

$$d\vec{F_3} = I\left(-dl_3 \sin\theta\, \vec{i} + dl_3 \cos\theta\, \vec{j}\right) \wedge B_0 \vec{k}$$

$$= I\, dl_3\, B_0 \left[\sin\theta\, (\vec{i} \wedge \vec{k}) + \cos\theta\, (\vec{j} \wedge \vec{k})\right]$$

$$= I\, a\, d\theta\, B_0 \left(\sin\theta\, \vec{j} + \cos\theta\, \vec{i}\right)$$

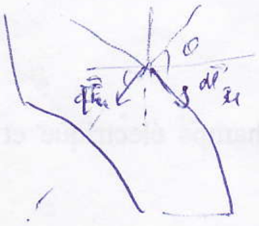
$$\vec{F_3} = \int_{\theta=0}^{\pi/2} d\vec{F_3} = I a B_0 \left[\int_0^{\pi/2} \sin\theta\, d\theta\, \vec{j} + \int_0^{\pi/2} \cos\theta\, d\theta\, \vec{i}\right]$$

$$= I a B_0 \vec{j} \left[-\cos\theta\right]_0^{\pi/2} + I a B_0 \left[\sin\theta\right]_0^{\pi/2} \vec{i}$$

$$\boxed{\vec{F_3} = I a B_0 (\vec{i} + \vec{j})}$$

→ soit $d\vec{F_4}$ la force mag exercée sur un élément $I d\vec{l_4}$ de l'arc circulaire (4).

$$d\vec{F_4} = I\, d\vec{l_4} \wedge \vec{B}$$



$$\begin{cases} \vec{B} = B_0 \vec{k} \\ d\vec{l} = dl_4 \sin\theta\, \vec{i} + dl_4 \cos\theta\, \vec{j} \\ dl_4 = b\, d\theta \end{cases}$$

$$d\vec{F_4} = I\, dl_4\, B_0 \left(\sin\theta\, (\vec{i} \wedge \vec{k}) - \cos\theta\, (\vec{j} \wedge \vec{k})\right)$$

$$= I b B_0 \left(-\sin\theta\, \vec{j} - \cos\theta\, \vec{i}\right) d\theta$$

$$\vec{F_4} = \int d\vec{F_4} = -I b B_0 \int_0^{\pi/2} \sin\theta\, d\theta\, \vec{j} - I b B_0 \int_0^{\pi/2} \cos\theta\, d\theta\, \vec{i}$$

$$= I b B_0 \left(\left[\cos\theta\right]_0^{\pi/2} \vec{j} - \left[\sin\theta\right]_0^{\pi/2} \vec{i}\right)$$

$$\boxed{\vec{F_4} = -I b B_0 (\vec{i} + \vec{j})}$$

Donc la force totale exercée par $\vec{B}$ sur la structure est $\vec{F}_{tot} = \vec{F_1} + \vec{F_2} + \vec{F_3} + \vec{F_4}$

$$\vec{F}_{tot} = I B l\, \vec{i} + I B_0 l\, \vec{j} + I a B_0 (\vec{i} + \vec{j}) - I b B_0 (\vec{i} + \vec{j})$$

$$= \left[I B_0 l + I a B_0 - I b B_0\right] (\vec{i} + \vec{j})$$

$$\vec{F}_{tot} = I B_0 (l + a - b)(\vec{i} + \vec{j})$$
$$= I B_0 (l - l)(\vec{i} + \vec{j}) = \vec{0}$$

EX 2

1)

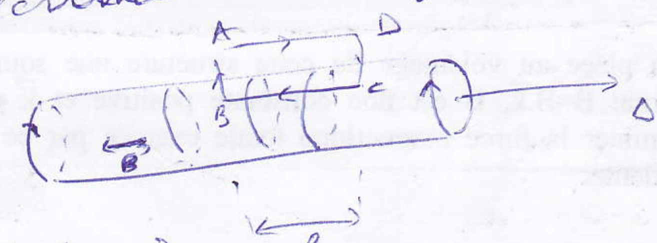
Par raison de symétrie les lignes de chp mag à l'intérieur du solénoïde sont des droites parallèles à l'axe Δ et de sens celui de la figure.

À l'extérieur du solénoïde, les chp mag sont relativement petits et tendent vers 0 (hypothèse solénoïde de longueur importante)

* calcul du chp mag $\vec{B}$ à l'intérieur du solénoïde par le théo d'Ampère :

$$\oint_{(C)} \vec{B}\, d\vec{l} = \mu_0 \sum I_i$$

soit le contour fermé (C) sous forme d'un rectangle



le contour (C) : $\begin{cases} 2 \text{ côtés } \parallel \text{ à } \vec{B} \text{ de longueur } l \\ \text{et} \\ 2 \text{ côtés } \perp \text{ à } \vec{B} \end{cases}$

$$\oint_{(C)} \vec{B}\, d\vec{l} = \underbrace{\int_{BA} \vec{B}\, d\vec{l}}_{=0} + \int_{CB} \vec{B}\, d\vec{l} + \underbrace{\int_{DC} \vec{B}\, d\vec{l}}_{=0} + \underbrace{\int_{AD} \vec{B}\, d\vec{l}}_{=0}$$

$$\oint_{(C)} \vec{B}\, d\vec{l} = \int_{BC} \vec{B}\, d\vec{l} = +B l_1 = \mu_0 \sum I_i$$

soit n le nbre de spires / unité de longueur $\quad n = \frac{N_0}{l} = \frac{N_1}{l_1}$

dans l_1 il y a le courant

$$\sum I_i = N_1 I$$
$$n = \frac{N_0}{l} = \frac{N_1}{l_1}$$
$$\Rightarrow \sum I_i = n l_1 I$$

ainsi $B l_1 = \mu_0 \sum I_i = \mu_0 n l_1 I$

$$\boxed{B = +\mu_0 n I}$$

$$\boxed{\vec{B} = -\mu_0 n I \vec{k}}$$

$\vec{k}$ vect unitaire de l'axe Δ.

2) Flux de $\vec{B}$ à travers une spire circulaire à un instant t:

$$\phi_m = \iint_{spire} \vec{B}\,\vec{dS} = \iint_{spire} \vec{B}\,\vec{N}\,dS = -\iint B\cos\theta\,dS$$

B est uniforme et est dirigé selon le sens contraire du vecteur unitaire de l'axe Δ $\Rightarrow$

$$\phi_m = -B\cos\theta \iint_{spire} dS = -B\cos\theta \cdot \pi b^2$$

$$\boxed{\phi_m = -\mu_0 n I \pi b^2 \cos\theta}$$

$$\phi_m = M I \Rightarrow \boxed{M = -\mu_0 n \pi b^2 \cos\theta}$$

3) Lorsque la spire tourne avec une vitesse angulaire ω tq $\theta = \omega t$, le flux de B à travers la spire va changer, donc d'après la loi de Faraday, il y a apparition d'un courant induit dans la spire, qui est créé par une force e.m d'induction

$$e = -\frac{d\phi_m}{dt} = \frac{d(\mu_0 n I \pi b^2 \cos\theta)}{dt} = (\mu_0 n I \pi b^2)\frac{d(\cos(\omega t))}{dt}$$

$$\boxed{e = -\mu_0 n I \pi b^2 \omega \sin(\omega t)}$$

$e = ri \Rightarrow i = \frac{e}{r}$

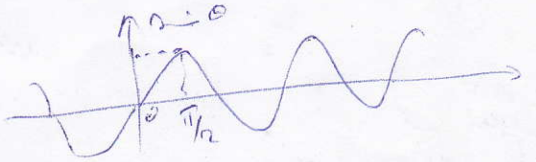
* le module de i est : $\boxed{|i| = \mu_0 n I \pi b^2 \omega \sin (\omega t)}$

5) * le sens de i est donné par la loi de Lenz : son sens sera tel qu'il va créer un champ magnétique $\vec{B}_i$ dont le flux à travers la spire tend à faire revenir la spire à sa position initiale

$0 < \theta < \pi/2$

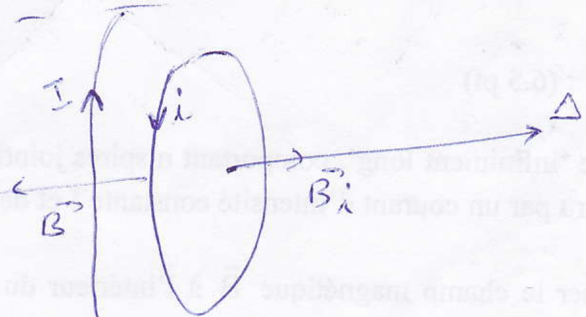
* t : $\phi_m = \mu_0 n I \pi b^2 \cos\theta$

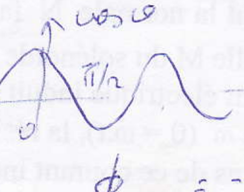
à $t+dt$: $d\phi_m = \mu_0 n I \pi b^2 \sin\theta \, d\theta$



$\sin\theta > 0 \Rightarrow d\phi_m > 0$

$0 < \theta < \pi/2$





ou bien

$\phi_m = -\mu_0 n I \pi b^2 \cos\theta$

pour $0 < \theta < \pi/2$

à t : $\phi_m = -10$ wb
$t+dt$: $\phi_m = -7$ wb
$\Rightarrow \phi_{B_i} = 3$ wb

B_i et B de sens contraire

Ex ③

EX③ OEM $\begin{cases} \vec{E} = E_0\, e^{j(\omega t-\beta z)}\, \vec{e}_x \text{ avec } E_0 = 1\,\mathrm{mV/m} \\ \vec{H} = H_0\, e^{j(\omega t-\beta z)}\, \vec{e}_y \end{cases}$

1) on sait que pour une OEM plane: $\frac{E}{H} = Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = c\mu_0$

$$\Rightarrow \frac{E_0}{H_0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}}$$

$$\Rightarrow \boxed{H_0 = E_0 \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}} = \frac{E_0}{Z_0}}$$

A.N: $H_0 = \frac{E_0}{Z_0} = \frac{10^{-3}}{377} \frac{V}{m\,\Omega} = \frac{E_0}{c\mu_0}$ ou bien $H_0 = \frac{E_0}{c\mu_0}$

$= 2{,}65 \cdot 10^{-6} \frac{V}{m} \frac{A}{V}$ $\quad = \frac{10^{-3}}{3\cdot 10^8 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}$

$\boxed{H_0 = 2{,}65 \cdot 10^{-6}\ \frac{A}{m}}$ $\quad = \frac{10^{-4}}{12\pi}$

$\boxed{H_0 = 2{,}6 \cdot 10^{-6}\ A/m}$

on peut trouver ce résultat à travers l'équation de Maxwell:

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \Rightarrow \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ E_x & 0 & 0 \end{vmatrix} = \frac{\partial E_x}{\partial z}\, \vec{e}_y$$

$$\Rightarrow \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} = -\frac{1}{\mu_0} \frac{\partial E_x}{\partial z}\, \vec{e}_y$$

$$= j \frac{E_0 \beta}{\mu_0} e^{j(\omega t-\beta z)}\, \vec{e}_y$$

$$\vec{H} = \frac{j E_0 \beta}{j\omega \mu_0} e^{j(\omega t-\beta z)}\, \vec{e}_y$$

or par hypothèse $\vec{H} = H_0\, e^{j(\omega t-\beta z)} \cdot \vec{e}_y$

$\frac{\omega \varepsilon_0 E_0}{\beta} = \varepsilon_0 E_0 c = E_0 \sqrt{\frac{\varepsilon_0}{\mu_0}}$

donc $H_0 = \frac{E_0 \beta}{\omega \mu_0}$ $\Rightarrow \boxed{H_0 = \frac{E_0}{c\mu_0}}$

or $\beta = \frac{\omega}{c}$

2) condition d'existence de $\vec{E}$ et $\vec{H}$: $\vec{E}$ et $\vec{H}$ existent s'ils satisfont les 4 équations de Maxwell.

$\vec{E} = E_0\, e^{j(\omega t-\beta z)}\, \vec{e}_x$ $\Rightarrow \vec{\nabla}\cdot\vec{E} = \frac{\partial E_x}{\partial x} + \frac{\partial E_y}{\partial y} + \frac{\partial E_z}{\partial z} = 0$

$\vec{H} = H_0\, e^{j(\omega t-\beta z)}\, \vec{e}_y$ $\Rightarrow \vec{\nabla}\cdot\vec{H} = 0$ est bien satisfait

$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t}$ $\Rightarrow$ champ magnétique $\vec{H} = \frac{E_0 \beta}{\omega \mu_0} e^{j(\omega t - \beta z)} \vec{e_y}$

$= H_0 e^{j(\omega t - \beta z)} \vec{e_y}$

$$\Rightarrow H_0 = \frac{E_0 \beta}{\omega \mu_0}$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \Rightarrow \begin{vmatrix} \vec{e_x} & \vec{e_y} & \vec{e_z} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ 0 & H_y & 0 \end{vmatrix} = -\frac{\partial H_y}{\partial z} \vec{e_x}$$

$$= \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = +\frac{j}{\varepsilon_0} H_0 \beta e^{j(\omega t - \beta z)} \cdot \vec{e_x}$$

$$\vec{E} = \frac{j H_0}{j \omega \varepsilon_0} \beta \cdot e^{j(\omega t - \beta z)}$$

$$= E_0 e^{j(\omega t - \beta z)}$$

$$\Rightarrow E_0 = \frac{H_0 \beta}{\omega \varepsilon_0} = \left(\frac{\beta}{\omega \varepsilon_0}\right) \underbrace{\left(\frac{E_0 \beta}{\omega \mu_0}\right)}_{H_0}$$

$$\Rightarrow \beta^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0$$

$$\boxed{\beta = \pm \omega \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}} = \pm \frac{\omega}{c}$$

les champs $\vec{E}$ et $\vec{H}$ ne peuvent exister que

cette condition est satisfaite.

3) • $\vec{E} = E_0 e^{j(\omega t - \beta z)} . \vec{e_x}$

$= E_x . \vec{e_x}$

$\Rightarrow$ l'onde est polarisée selon la direction de l'axe Ox, et se propage selon l'axe +Oz si $\beta > 0$ et selon -Oz si $\beta < 0$

En effet $\vec{P} = \vec{E} \wedge \vec{H}$

$$= \begin{vmatrix} \vec{e_x} & \vec{e_y} & \vec{e_z} \\ E_x & 0 & 0 \\ 0 & H_y & 0 \end{vmatrix} = E_x H_y \vec{e_z} = P . \vec{e_z}$$

$$= E_0 H_0 e^{2j(\omega t - \beta z)} . \vec{e_z}$$

$$\vec{P} = \varepsilon_0 H_0 e^{2j(\omega t - \beta z)} \vec{e_z} = \underbrace{\frac{E_0^2 \beta}{\omega \mu_0}}_{} e^{2j(\omega t-\beta z)} \vec{e_z}$$

> 0 si $\beta > 0$

< 0 si $\beta < 0$

4) Equations d'onde :

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \quad \text{et} \quad \vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}$$

$$\Rightarrow \vec{\nabla} \wedge (\nabla \wedge \vec{E}) = \underbrace{\vec{\nabla}(\nabla \vec{E})}_{=0} - \nabla^2 \vec{E} = -\mu_0 \frac{\partial (\vec{\nabla} \wedge \vec{H})}{\partial t}$$

$$= -\mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \vec{E} - \mu_0 \varepsilon_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0$$

$$\boxed{\nabla^2 \vec{E} + \mu_0 \varepsilon_0 \omega^2 \vec{E} = 0}$$

qui peut s'écrire sous la forme $\boxed{\frac{\partial^2 E_x}{\partial z^2} + \beta^2 E_x = 0}$

$$(-\beta^2 + \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0) E_x = 0 \Rightarrow \beta^2 = \omega^2 \mu_0 \varepsilon_0 \Rightarrow \boxed{\beta = \pm \omega \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\beta}{\omega} = \pm \sqrt{\varepsilon_0 \mu_0} \\ \frac{\beta}{\omega} = \pm \frac{1}{c} \end{array} \right.$$

de même pour $\vec{H}$:

on trouve $\nabla^2 \vec{H} + \mu_0 \varepsilon_0 \omega^2 \vec{H} = 0$

$$\frac{\partial^2 H_y}{\partial z^2} + \mu_0 \varepsilon_0 \omega^2 H_y = 0$$

$$\Rightarrow (-\beta^2 + \mu_0 \varepsilon_0 \omega^2) H_y = 0.$$

$$\Rightarrow \boxed{\beta = \pm \omega \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = \pm \frac{\omega}{c}$$

$$\text{et} \left| \frac{E}{H} \right| = \left| \frac{E_0}{H_0} \right| = \left| \frac{E_0}{\left(\frac{E_0 \beta}{\omega \mu_0}\right)} \right| = \frac{\omega \mu_0}{\beta} \left\{ = \frac{\mu_0}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} = Z_0 \right.$$

$= 377\ \Omega.$

$= 120\pi\ \Omega.$

5) $\vec{E} \cdot \vec{H} = E_x \vec{e_x} \cdot H_y \vec{e_y}$

$= 0 \Rightarrow \vec{E} \perp \vec{H}$ $\quad$ $\vec{E}$ et $\vec{H}$ sont perpendiculaires en plus $\vec{E} = E_x \vec{e}_x$, $\vec{H}_y = H_y e_y$ $\Rightarrow (\vec{E}, \vec{H}) \in$ plan

qui est $\perp$ Oz c.à.d

à la direction de propag

$\Rightarrow$ $\vec{E}$ et $\vec{H}$ sont transverses

6) $\langle \vec{P} \rangle = \frac{1}{2} \mathcal{R}_e (\vec{E} \wedge \vec{H}^*)$

or $\vec{E} \wedge \vec{H}^* = \begin{vmatrix} \vec{e}_x & \vec{e}_y & \vec{e}_z \\ E_0 e^{j(\omega t - \beta z)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & H_0 e^{-j(\omega t - \beta z)} \end{vmatrix}$

$= E_0 H_0 \vec{e}_z$

$\Rightarrow \langle \vec{P} \rangle = \frac{1}{2} E_0 H_0$

$= \frac{1}{2} E_0 \frac{E_0 \beta}{\omega \mu_0}$

$= \frac{1}{2} \frac{E_0^2 \beta}{\omega \mu_0}$ (W/m^2)

$\boxed{\langle \vec{P} \rangle = \frac{E_0^2}{2c\mu_0}} = \frac{E_0^2}{2Z_0}$ (W/m^2)

A.N. : $\langle \vec{P} \rangle = \frac{10^{-6}}{2 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} = \frac{10}{24\pi}$

$= 1{,}3263 \cdot 10^{-9}$ $\left(\frac{W}{m^2}\right)$?