**NOM :** **Prénom :**

---

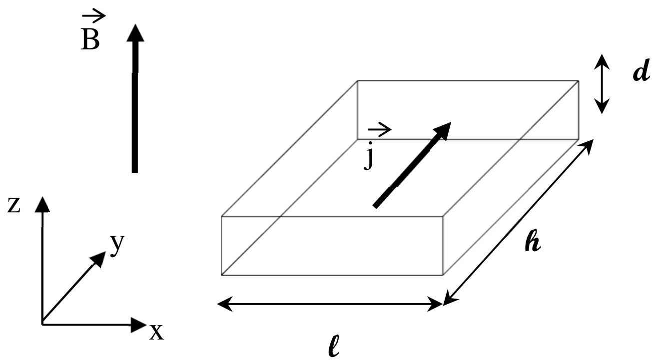
**FASNUM** **2021-2022**

# Electromagnétisme et ondes : examen de session 2

## durée : 2 heures

## A - Effet Hall : principe d'une pince ampèremétrique

Un semi-conducteur parallélépipédique (ayant $n$ électrons de conduction par $m^3$) est utilisé comme sonde à effet Hall à l'intérieur d'une pince ampèremétrique. Une source de courant, intégrée dans la pince, alimente la sonde avec une densité de courant $\boldsymbol{J}$. La pince entoure un fil parcourut par un courant $I$ qui crée dans la pince un champ homogène $\boldsymbol{B}$ perpendiculaire à $\boldsymbol{J}$.





.

1. Exprimez la vitesse de dérive moyenne $\boldsymbol{v}_d$ des électrons dans le semi-conducteur et représentez cette vitesse sur le schéma.
2. En déduire l'expression de la force magnétique moyenne qui s'applique sur les électrons du semi-conducteur et représentez cette force sur le schéma.
3. Montrez qu'un champ électrique $\boldsymbol{E}_H$ apparaît perpendiculaire à $\boldsymbol{J}$. Représentez ce champ et la force électrique qui en découle.
4. A l'état stationnaire, c'est à dire lorsque l'équilibre des forces est réalisé, exprimez $\boldsymbol{E}_H$ en fonction des données du problème. En déduire l'expression de la tension de Hall $V_H$.
5. Le matériau magnétique à l'intérieur de la pince concentre les lignes de champ magnétique engendrées par le courant $I$. Il en résulte que le champ $\boldsymbol{B}$ dans la pince peut être considéré homogène avec une valeur égale à celui créé par un fil infini à une distance moyenne égale au rayon $a$ de la pince (il faut cependant remplacer $\mu_0$, la perméabilité magnétique du vide, par $\mu = \mu_r\mu_0$ la perméabilité magnétique du matériau).

   Calculez le champ magnétique dans la pince lorsque $I = 1$ A, $a = 1$ cm et $\mu_r = 1000$.

   En déduire la tension de Hall $V_H$ mesurée à l'aide de la pince sachant que $n = 10^{15}$ cm$^{-3}$, $J = 50 \times 10^3$ Am$^{-2}$ et $l = 2$mm.

**NOM :** **Prénom :**

---

## B - Ondes électromagnétiques

Soit l'onde électromagnétiqu plane progressive e monochromatique (OPPM) d'expression :
$\vec{E} = E_0 \cos(+ky - \omega t) \cdot \vec{e_x}$ , $(O, \vec{e_x}, \vec{e_y}, \vec{e_z})$ étant un repère cartésien de l'espace.
On donne, exprimées en unités SI :

$$\mu_0 = 1{,}256 \cdot 10^{-6}\ T.m.A^{-1} \ ,\ \ \varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\ F.m^{-1} \ ,\ \ c = 3 \cdot 10^{8}\ m.s^{-1}$$

1. Caractériser cette onde *(direction et sens de propagation, amplitude, pulsation, vecteur d'onde, polarisation).*
2. Donner sans les démontrer, la relation qui lie les vecteurs $\vec{E}, \vec{B}$ et $\vec{k}$ de cette OPPM, la relation qui lie $\|\vec{E}\|$ et $\|\vec{B}\|$, puis écrire $\vec{B}$ en fonction de $E_0$, k, ω, c et des vecteurs $\vec{e_x}, \vec{e_y}, \vec{e_z}$.
3. Donner l'expression du vecteur de Poynting, puis calculer la puissance moyenne de cette onde à travers une surface carré d'aire $S = 10\ \text{cm}^2$ et d'orientation donnée par le vecteur unitaire $\vec{u} = \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{e_x} + \frac{1}{\sqrt{2}}\vec{e_y}$, tel que $\vec{S} = S\,\vec{u}$.
   Pour l'application numérique, on prendre $E_0 = 3 \cdot 10^4\ \text{V.m}^{-1}$

## C - Principe simplifié d'une plaque à induction

**(électromagnétisme dans l'approximation des régimes quasi-stationnaires)**

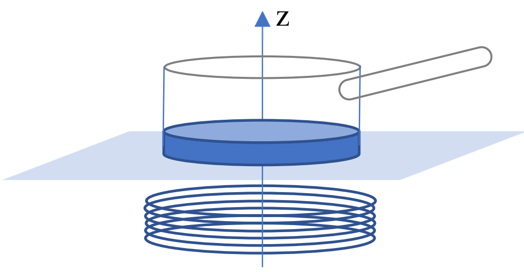
L'énergie thermique nécessaire pour élever un gramme d'eau liquide de 1°C est de $1\ cal = 4{,}185\ J$.
On veut faire bouillir 1 litre d'eau dans une casserole avec une plaque à induction. La température ambiante est de 20°C.
On suppose que 100% de l'énergie thermique fournie à la casserole est transmise à l'eau.
Casserole :
- fond d'épaisseur $h = 4\ mm$
- rayon $R = 10\ cm$
- conductivité électrique : $\sigma = 10^7 \Omega^{-1} m^{-1}$

Sous la plaque à induction une bobine d'axe Oz induit au niveau du fond de la casserole un champ magnétique quasi uniforme vertical tel que $\vec{B}(t) = B_o \cdot cos(\omega t) \cdot \vec{e_z}$ d'amplitude $B_o = 0{,}1\ mT$ et de fréquence $\nu = 100\ kHz$.
On négligera le champ magnétique créé par les courants induits dans la casserole.

1. Identifier, écrire les expressions et nommer les lois physiques successives qui permettent de faire le lien entre le champ magnétique $B(t)$ et l'énergie thermique $\mathcal{E}$ qu'il faut fournir au litre d'eau.
2. Conduire les calculs, et répondre à la question :
   Combien de temps faut-il pour porter l'eau à ébulition?

   On donne l'expression du rotationnel en coordonnées cylindriques :

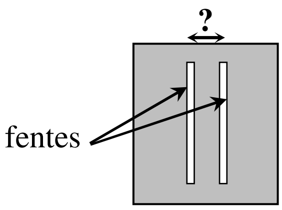
$$\overrightarrow{\text{rot}}\,\vec{E} = \left(\frac{1}{\rho}\frac{\partial E_z}{\partial \theta} - \frac{\partial E_\theta}{\partial z}\right)\vec{e_\rho} + \left(\frac{\partial E_\rho}{\partial z} - \frac{\partial E_z}{\partial \rho}\right)\vec{e_\theta} + \frac{1}{\rho}\left(\frac{\partial(\rho E_\theta)}{\partial \rho} - \frac{\partial E_\rho}{\partial \theta}\right)\vec{e_z}$$



NOM : Prénom :

## D - Questions de TP

**Répondre à 2 questions au choix parmi les 3 suivantes :**




**1.** Proposer un montage et une mesure permettant de déterminer la longueur notée " ? " sur le schéma ci-contre. On schématisera soigneusement le montage à réaliser et la grandeur mesurée.

**2.** Proposer un montage permettant de faire fondre de l'étain à l'aide d'un dispositif vu en TP. Expliquer en quelques lignes pourquoi l'étain fond.

**3.** Schématiser une balance de Cotton placée dans l'entrefer d'un électro-aimant. Placer les générateurs en indiquant les polarités de façon à ce que la force exercée sur la balance puisse être équilibrée par les masses marquées.