Partie V : électromagnétisme
Chapitre 2

TD – Magnétostatique

Remarque : exercice avec $\star$: exercice particulièrement important, à maîtriser en priorité (de même que les exemples de questions de cours des “ce qu’il faut savoir faire”) | [$\bullet \circ \circ$] : difficulté des exercices

I Vrai-faux / questions courtes [$\bullet \circ \circ$]

1 - (V/F) Il est possible de produire un champ magnétique du type $\vec{B} = B(r)\,\vec{e}_r$ (coordonnées sphériques).

2 - (V/F) Il est possible de produire un champ électrique du type $\vec{E} = E(r)\,\vec{e}_\theta$ (coordonnées sphériques).

3 - Dessiner l’allure des lignes de champ magnétique autour d’un fil parcouru par un courant. Attention au sens.

II Électrostatique VS Magnétostatique $\star$ | [$\bullet \circ \circ$]

	Champ électrostatique $\vec{E}$	Champ magnétostatique $\vec{B}$
circulation sur un contour fermé		
flux à travers une surface fermée		
en un point M appartenant à un plan de symétrie Π		
en un point M appartenant à un plan d’antisymétrie Π^*		

III Courant et ordres de grandeur [$\bullet \circ \circ$]

On considère un fil de cuivre de section $2.0\,\mathrm{mm}^2$ parcouru par un courant de $1.0\,\mathrm{A}$. Ce sont les électrons qui sont responsables du courant. Leur charge est $-e = -1.602 \times 10^{-19}\,\mathrm{C}$, et leur densité est $n = 10^{29}\,\mathrm{m}^{-3}$.

1 - Donner l’expression puis la valeur du débit d’électrons $\dfrac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t}$ (nombre d’électrons passant par unité de temps) pour une section droite du fil en fonction de I et de e.

2 - Donner l’expression de l’intensité I en fonction du vecteur courant volumique $\vec{j}$.
On suppose ce dernier uniforme dans le câble, en déduire son expression puis sa valeur.

3 - Donner enfin l’expression puis la valeur de la vitesse moyenne des électrons dans le câble.

IV Calcul d'une intensité par intégration de $\vec{j}$ [● ○ ○]

On considère un fil cylindrique, de rayon R et d'axe z. On suppose que le profil de courant volumique est donné par

$$\vec{j} = j(r)\vec{e}_z = j_0\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)\vec{e}_z.$$

Les coordonnées adaptées sont ici les coordonnées polaires. On rappelle que l'élément de surface infinitésimal dans ces coordonnées est $\mathrm{d}S = r\mathrm{d}r\mathrm{d}\theta$.

1 - Donner l'expression du courant I qui parcourt ce fil, d'abord sous la forme d'une intégrale, puis en fonction de j_0 et de R.

V Champ produit par une nappe de courants, théorème d'Ampère ★ | [● ● ○]

On considère une distribution volumique de courants délimitée par les deux plans d'équations $z = +a/2$ et $z = -a/2$. Le vecteur densité volumique de courant est uniforme, et porté par $\vec{e}_x$.

1 - Déterminer la direction puis les dépendances du champ magnétique.
Montrer que $B_y(-z) = -B_y(z)$, puis que $\vec{B}$ est nul dans le plan $z = 0$.

2 - Déterminer l'expression du champ $\vec{B}$ en tout point de l'espace.

3 - Tracer des lignes de champ. Pouvait-on s'attendre à ce sens pour les lignes de champ ?

VI Champ produit par un cable coaxial ★ | [● ○ ○]

La ligne coaxiale étudiée dans le DM est parcourue par un courant $+I$ dans l'âme, et $-I$ dans la gaine. On effectue les mêmes hypothèses que dans le DM (en particulier on néglige tout effet de bords).

1 - Suivre point par point la méthode générale pour déterminer l'expression du champ $\vec{B}$ en tout point de l'espace.

VII Câble parcouru par un courant non uniforme [● ● ○]

On considère un câble cylindrique (rayon R, axe z) parcouru par une densité volumique de courant $\vec{j}$ dirigé selon $\vec{e}_z$.
On néglige tout effet de bord.

1 - Donner l'expression de l'intensité totale I_{tot} passant dans la câble en fonction de R et de j :
- dans le cas où $\vec{j} = j_0\vec{e}_z$ avec j_0 constant,
- dans le cas où $\vec{j} = j_0\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)\vec{e}_z$.

2 - On se place dans le second cas ci-dessus.

a - Déterminer la direction et les dépendances du champ magnétique.

b - Déterminer l'expression du champ magnétique en dehors du câble.

c - Déterminer ensuite l'expression du champ à l'intérieur du câble.

3 - Vérifier que l'équation de Maxwell-Ampère (chap. 3) est bien vérifiée à l'intérieur du câble. On prendra les formules nécessaires dans le formulaire.