# TD physique 10 Champ magnétique

## Exercice 1

1. Le fer a une masse volumique de $7,9.10^3$ kg/m$^3$, une masse molaire de 56 g/mol et possède en moyenne 4 électrons libres par atome. Calculer la densité d'électrons libres et la charge libre par unité de volume.

2. Un courant électrique de 5 A circule dans un conducteur en fer de section 10 mm$^2$. Calculer la densité de courant (on admet qu'elle est uniforme dans le conducteur) ainsi que la vitesse de déplacement d'ensemble des électrons.

3. La conductivité du fer vaut $9,9.10^6 S.m^{-1}$. Calculer le temps de relaxation associé aux mouvements des électrons libres dans le fer.

4. Calculer la résistance d'un fil de fer de section 1 mm$^2$ et de longueur 15 m (dans l'approximation où le champ électrique est uniforme dans tout le conducteur).

## Exercice 2

L'inductance L d'une bobine est définie par la relation $\phi = LI$, où $\phi$ est le flux au travers de la bobine du champ magnétique créé par elle-même et I le courant qui circule dans la bobine.

On considère un solénoide comportant N spires, de rayon R et de longueur L. On se place dans l'approximation du solénoide infini.

1. Etablir l'expression du champ magnétique à l'intérieur d'un solénoide infini.

1. Calculer le flux de ce champ au travers d'une spire du solénoide.

2. En déduire le flux au travers des N spires et conclure.

## Exercice 3

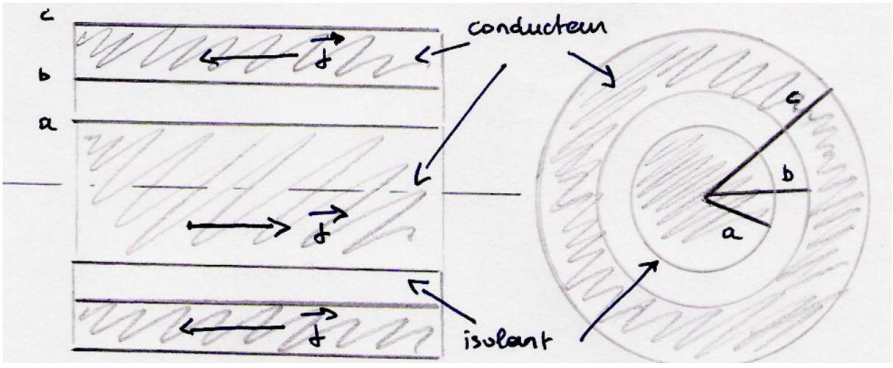
On considère un câble coaxial : Un fil conducteur rectiligne de rayon a est entouré par un matériau isolant (qui se comporte, du point de vue des propriétés magnétiques, comme du vide) entre $r = a$ et $r = b$ ; puis par un deuxième conducteur entre $r = b$ et r = c

L'ensemble est à géométrie cylindrique ( symétrie de révolution autour de l'axe du fil ).

Le conducteur central est le siège d'une densité de courant uniforme $\vec{j}$ et l'intensité qui le traverse est notée I. Le conducteur périphérique est traversé par la même intensité, mais dans l'autre sens. La densité de courant y est également considérée comme uniforme.

1. Donner le lien entre la densité de courant et l'intensité. En déduire la densité de courant $\vec{j'}$ dans le conducteur périphérique.

2. On considère le câble comme « infini » en longueur. Déterminer le champ magnétique créé ( distinguer différents cas selon la distance par rapport à l'axe ).



## Exercice 4

On considère une nappe plane infinie de courants uniforme d'épaisseur $a$, en régime stationnaire :

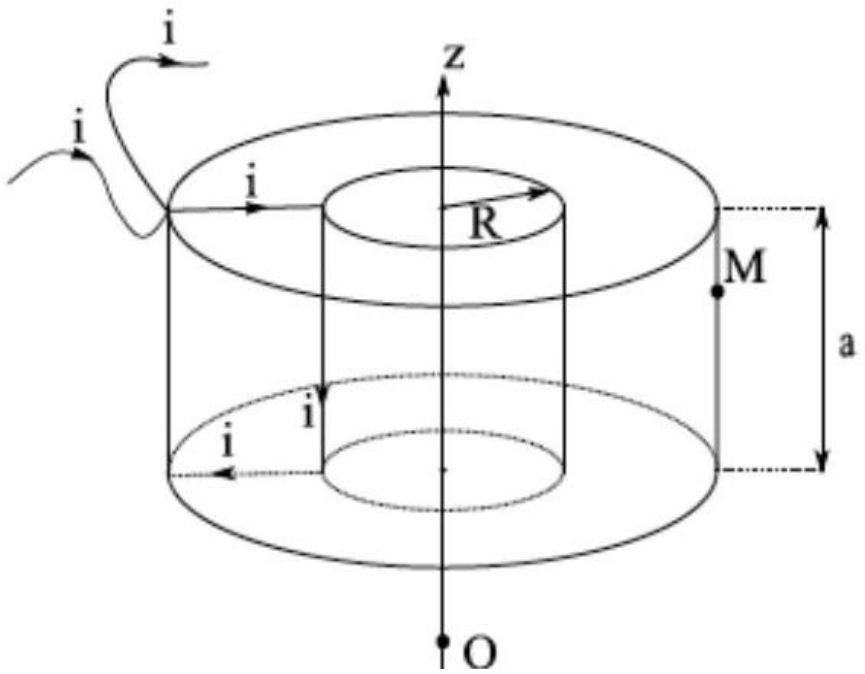
$$\begin{cases} \vec{j} = j_0 \vec{e_x} & \text{si } -a/2 \leq z \leq a/2 \\ \vec{j} = \vec{0} & \text{sinon} \end{cases}$$

1. A partir des symétries et invariances, vérifier que $\vec{B} = B_y(z)\vec{e_y}$.
2. Calculer $\vec{B}$ (en tout point de l'espace) en utilisant le théorème d'Ampère.
3. On considère maintenant deux nappes (planes et infinies) avec des courants opposés. En s'appuyant sur ce qui précède, mais sans calculs supplémentaires, déterminer le champ magnétique en dehors des nappes.

## Exercice 5

La bobine torique représentée ci-contre comporte N spires régulièrement bobinées sur un support torique à section carrée de coté a.

1. La bobine est parcourue par un courant i. Déterminer le champ magnétique.
2. Calculer l'inductance propre de cette bobine.




## Exercice 6

On rappelle l'expression du champ magnétique créé par une spire circulaire de rayon $R$ et parcourue par un courant $I$ sur son axe et à une distance $x$ de son centre :

$$B(x) = \frac{\mu_0 I}{2R}\left(1 + \frac{x^2}{R^2}\right)^{-3/2}$$

On s'intéresse à une bobine circulaire et plate, que l'on considère comme un ensemble de N spires concentriques dont les rayons sont régulièrement répartis entre deux valeurs extrêmes $R_1$ et $R_2$. Cette bobine est parcourue par un courant $I$.

1. Calculer le champ créé au centre de la bobine.
2. Faire l'application numérique avec $N = 10$ ; $I = 1A$ ; $R_1 = 19cm$ et $R_2 = 21cm$.
3. Estimer l'erreur relative commise en considérant cette bobine comme $N$ spires de rayon égal à la moyenne de $R_1$ et $R_2$.

## Exercice 7

On rappelle l'expression du champ magnétique créé par une spire circulaire de rayon $R$ et parcourue par un courant $I$ sur son axe et à une distance $x$ de son centre :

$$B(x) = \frac{\mu_0 I}{2R}\left(1 + \frac{x^2}{R^2}\right)^{-3/2}$$

On utilise un dispositif comportant deux bobines plates (assimilables à plusieurs spires confondues) de $N + 20$ spires et de rayon $R = 10cm$, de même axe $(Ox)$ horizontal et dont les centres sont en $x = -R/2$ et $x = +R/2$.

1. Représenter les bobines ainsi que le sens du courant dans chaque bobine pour que le champ magnétique au centre du dispositif (point $O$, en $z = 0$) soit non nul et dirigé vers les $x$ croissants.
2. Donner l'expression du champ $\overrightarrow{B_0}$ au centre. AN pour $I = 150mA$. Comparer avec l'ordre de grandeur du champ magnétique terrestre.

On place au centre une petite aiguille aimantée qui peut tourner sans frottements autour d'un axe vertical passant par $O$. On note $m$ le moment magnétique de cette aiguille est notée et $J$ son moment d'inertie.
L'axe $(Ox)$ des bobines est aligné avec la composante horizontale du champ magnétique terrestre $\overrightarrow{B_T}$ (et dans le même sens).

3. Quel est l'effet du champ magnétique sur l'aiguille aimantée ? Identifier la position d'équilibre stable.

4. Donner la période $T_1$ des petites oscillations de l'aiguille en fonction de $J$, $m$, $B_0$ et $B_T$.

5. En inversant le sens du courant dans les bobines, la période est modifiée et est notée $T_2$. Montrer que, connaissant $B_0$, on peut déduire $B_T$ de la mesure de $T_1$ et $T_2$ (On admettra que $B_T > B_0$) :

$$B_T = B_0\,\frac{T_2^2 + T_1^2}{T_2^2 - T_1^2}$$

## Exercice 8

On s'intéresse au champ magnétique créé par une spire de centre O et de rayon R parcourue par un courant I en un point M situé en dehors de l'axe de la spire, mais proche de cet axe. L'axe de la spire est l'axe (Oz) et on repère la position du point M en coordonnées cylindriques $(\mathrm{r}, \theta, \mathrm{z})$.

On rappelle l'expression du champ sur l'axe :

$$B(z) = \frac{\mu_0 I}{2R}\left(1 + \frac{z^2}{R^2}\right)^{-3/2}$$

1. Montrer, en utilisant les symétries et invariances, que le champ magnétique en dehors de l'axe n'a pas de composante orthoradiale et que sa norme ne dépend pas de $\theta$.
2. On considère que, pour $M$ proche de l'axe, la composante parallèle à (Oz) du champ magnétique est la même que sur l'axe. Montrer, en utilisant la propriété relative au flux du champ magnétique au travers d'une surface fermée, que $\mathrm{B_r} = -\mathrm{r}/2\ \mathrm{dB_z}/\mathrm{dz}$ et en déduire l'expression complète du champ au voisinage de l'axe.