Applications de cours :

1) *Déterminer le champ magnétostatique créé par un fil rectiligne infini.*

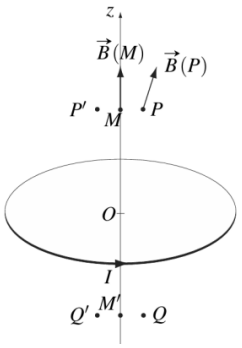
2) *Déterminer le champ magnétostatique créé par un solénoïde infini.*

3) *(MP2I) Établir l'expression de l'inductance d'une bobine de grande longueur assimilée à un solénoïde infini en résonnant sur le flux propre. Le champ à l'intérieur de la bobine sera rappelé sans démonstration.*

Symétrie, Invariance et Théorème d'Ampère :

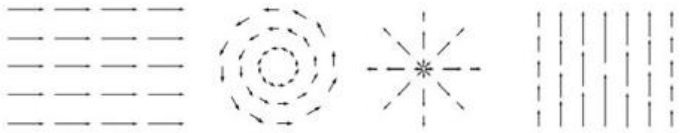
Exercice 5.1. Symétries du champ magnétostatique ★ (Symétries)

On considère une spire circulaire d'axe (Oz) parcourue par un courant d'intensité I. On donne le champ magnétique en M et en P. Représenter le champ magnétique en M' symétrique de M par rapport au plan de la spire, en P' symétrique de P par rapport à l'axe, en Q symétrique de P par rapport au plan de la spire et en Q' symétrique de Q par rapport à l'axe.



Exercice 5.2. Lignes de champ ★ (Propriétés du champ magnétostatique)

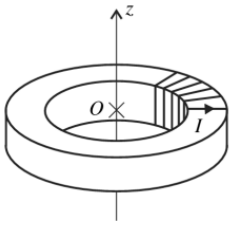
Les figures ci-dessous représentent, dans un plan $z = \text{CSte}$, quelques cartes de champs bidimensionnels de la forme : $\vec{a}(x,y) = a_x(x,y)\vec{u}_x + a_y(x,y)\vec{u}_y$.



Préciser dans chaque cas s'il peut s'agir d'un champ magnétostatique, quand c'est possible, dire si des courants sont présents dans la région représentée.

Exercice 5.3. Bobine torique ★ (Th d'Ampère)

On considère un tore d'axe (Oz) dont la section par un plan méridien est un carré. On réalise une bobine en enroulant un fil sur le tore en N spires très serrées et régulièrement réparties. Calculer le champ magnétique créé en tout point de l'espace lorsqu'on fait passer un courant d'intensité I dans cette bobine.



Exercice 5.4. Cylindre parcouru par un courant inhomogène ★★ (Th d'Ampère, Calculatoire)

On considère un câble cylindrique de rayon R et d'axe z parcouru par un courant d'intensité I réparti de façon non uniforme au sein du câble,

$$\vec{j}(r) = J_0\left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)\vec{e}_z\,.$$

1 - Exprimer J_0 en fonction de I.

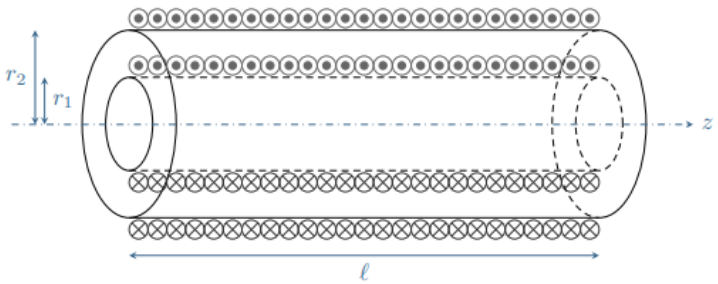
2 - Calculer le champ magnétostatique créé par ce câble en tout point de l'espace.

Induction (MP2I) :

Exercice 5.5. Solénoïdes imbriqués ★★ (Inductance propre et mutuelle, loi tension-courant)

Deux solénoïdes $\mathcal{S}_1$ et $\mathcal{S}_2$ de même axe (Oz), de même longueur ℓ et de rayons r_1 et $r_2 > r_1$ sont emboîtés l'un dans l'autre, voir figure 3. Ils présentent tous deux le même nombre de spires N. On suppose que la longueur ℓ est très supérieure aux rayons.

La bobine intérieure est parcourue par un courant $i_1(t) = I\cos(\omega t)$, avec $I = 1\,\text{A}$, avec ω une pulsation suffisamment basse pour que l'ARQS magnétique s'applique. La bobine extérieure est en court-circuit.



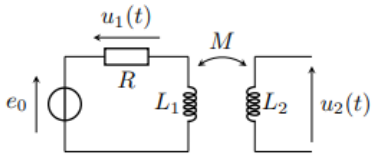
1 - Sachant que le champ est nul à l'extérieur, déterminer le champ à l'intérieur d'un solénoïde infini.

2 - Déterminer les coefficients d'induction propre L_1, L_2, et le coefficient d'induction mutuelle M.

3 - En négligeant les résistances internes des fils, déterminer le courant $i_2(t)$ parcourant la bobine extérieure. Quelle est son amplitude ?

4 - Que vaut le champ magnétique à l'intérieur du solénoïde central ?

□ Exercice 5.6. Mesure d'une inductance mutuelle ★ (Relation tension-courant, régime forcé)



Le montage ci-contre permet de mesurer le coefficient d'inductance mutuelle entre deux bobines. Les deux bobines se font face comme sur la figure. La première bobine est montée en série avec une résistance $R = 100\,\Omega$ et un générateur de tension e_0 harmonique de fréquence $f = 2{,}0\,\text{kHz}$. Les tensions u_1 et u_2 sont mesurées grâce à un oscilloscope supposé idéal, c'est-à-dire de résistance d'entrée infinie.

1 - Quelle est l'intensité circulant dans la bobine 2 ? D'après la loi de comportement habituelle de la bobine, que vaudrait alors la tension u_2 ? Pourquoi cette loi n'est elle pas applicable telle quelle ici ?

2 - Exprimer la tension u_2 en fonction de M et u_1.

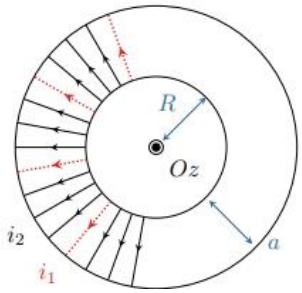
3 - Calculer M sachant que les tensions lues à l'oscilloscope ont des amplitudes $U_1 = 3{,}00\,\text{V}$ et $U_2 = 0{,}50\,\text{V}$.

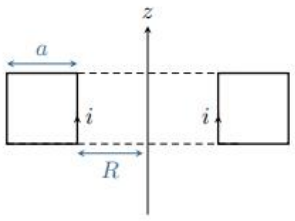
4 - On fait tourner la bobine sur elle-même dans le plan de la paillasse. Indiquer sans calcul comment est modifiée la valeur de M lorsque l'angle de rotation vaut 180° ? 90° ? Même question si l'on aligne les axes des deux bobines.

□ Exercice 5.7. Transformateur torique ★★ (Th d'Ampère, inductance propre et mutuelle)

On s'intéresse dans cet exercice au transformateur représenté ci-dessous, dans lequel les spires du primaire et du secondaire sont bobinées en alternance autour d'un tore de section carrée. Le primaire compte $N_1 \gg 1$ spires, parcourues en série par le courant i_1, et le secondaire $N_2 \neq N_1$ spires parcourues par le courant i_2.







1 - Calculer le champ $\vec{B}_1$ créé en tout point de l'espace par le primaire pris seul, puis son inductance propre L_1.

2 - En déduire sans calcul l'inductance propre L_2 du secondaire.

3 - Calculer l'inductance mutuelle M. Montrer qu'elle s'exprime simplement en fonction de L_1 et L_2 uniquement.

4 - On impose au primaire une tension sinusoïdale $u_1(t) = U_1\cos(\omega t)$, alors que le secondaire est ouvert. Quelle est la tension $u_2(t)$ mesurée aux bornes du secondaire ? Que se passerait-il si u_1 était constante ?

5 - Le transformateur annonce une conversion $230\,\text{V} \to 12\,\text{V}$. En déduire la valeur numérique du rapport N_1/N_2.

Dipôle magnétostatique :

□ Exercice 5.8. Interaction entre deux dipôles électrostatiques ★★ (Energie potentielle)

On donne le champ magnétique créé en un point M par un dipôle de moment $\vec{\mathfrak{M}}$ placé en O :

$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0}{4\pi}\frac{3\left(\vec{\mathfrak{M}}\cdot\vec{e_r}\right)\vec{e_r} - \vec{\mathfrak{M}}}{r^3} \quad \text{où} \quad \vec{e_r} = \frac{\overrightarrow{OM}}{OM}.$$

Deux dipôles magnétiques de moments $\vec{\mathfrak{M}}_1$ et $\vec{\mathfrak{M}}_2$ sont respectivement en O et M. On admet que l'énergie mutuelle d'interaction des dipôles $\vec{\mathfrak{M}}_1$ et $\vec{\mathfrak{M}}_2$ est

$$\mathcal{E}_p = -\frac{1}{2}\left(\vec{\mathfrak{M}}_1\cdot\vec{B}_2(O) + \vec{\mathfrak{M}}_2\cdot\vec{B}_1(M)\right),$$

$\vec{B}_2(O)$ étant le champ magnétostatique créé par $\vec{\mathfrak{M}}_2$ en O, et $\vec{B}_1(M)$ le champ magnétostatique créé par $\vec{\mathfrak{M}}_1$ en M.

1. Exprimer l'énergie potentielle d'interaction des deux dipôles en fonction de $\vec{\mathfrak{M}}_1$ et $\vec{\mathfrak{M}}_2$, $\vec{e_r}$.

2. On suppose que $\vec{\mathfrak{M}}_1$ et $\vec{\mathfrak{M}}_2$ sont colinéaires à $\overrightarrow{OM}$. Exprimer la force exercée par $\vec{\mathfrak{M}}_1$ sur $\vec{\mathfrak{M}}_2$. À quelle condition est-elle attractive ?

3. Même question si $\vec{\mathfrak{M}}_1$ et $\vec{\mathfrak{M}}_2$ sont colinéaires entre eux et perpendiculaires $\overrightarrow{OM}$.