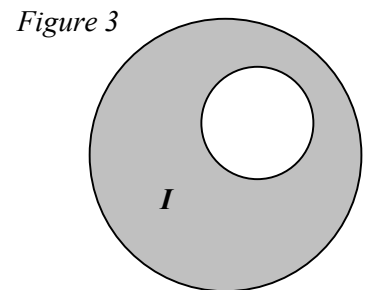
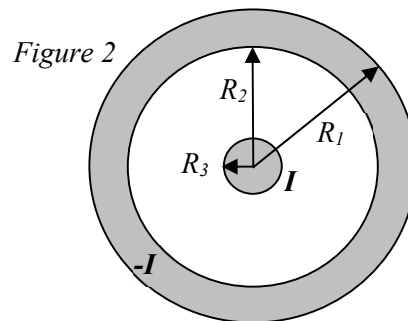
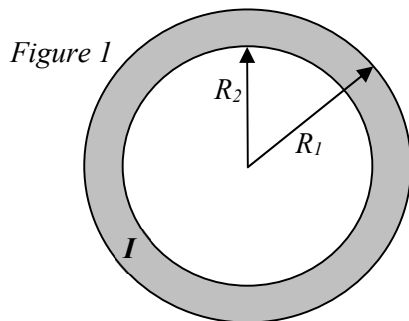


Magnétostatique (2)

Exercice 1 : Champs créés par divers câbles.

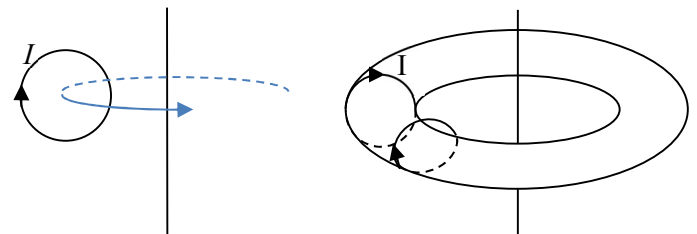
- 1- Déterminer le champ magnétique créé dans tout l'espace par un câble rectiligne et infini, parcouru par un courant I uniformément réparti, et dont une section est représentée sur la figure 1.
- 2- On considère un câble coaxial rectiligne et infini, dont une section est représentée sur la figure 2 ; les densités de courant sont uniformes dans chaque partie conductrice, toutes deux parcourues par une même intensité totale I , mais en sens inverse. En effectuant le minimum de calcul (si possible, aucun calcul explicite), tracer qualitativement le graphe donnant l'allure de la norme du champ magnétique créé par ce câble à toute distance r de son axe de symétrie de révolution. Commenter la valeur du champ au voisinage du câble.
- 3- On considère enfin un cylindre conducteur infiniment long, parcouru par un courant I uniformément réparti, et partiellement évidé selon une cavité cylindrique désaxée ; une section est représentée sur la figure 3. Déterminer le champ magnétique créé par le cylindre dans la cavité.

Note : cet exercice existe également dans une version électrostatique.



Exercice 2 : Champ créé par un solénoïde torique.

Un tore est la surface engendrée par la révolution d'un cercle (ou plus généralement d'une courbe plane fermée) autour d'un axe. On s'intéresse à un solénoïde torique constitué d'un enroulement de N spires jointives sur un tore, chaque spire étant parcourue par **un courant I (sens indiqué sur le schéma)**.



- 1- Déterminer le champ magnétique créé par ce solénoïde torique en tout point de l'espace.
- 2- Ce résultat est-il modifié si le tore est à section carrée ?
- 3- Dédurre des résultats précédents l'inductance propre d'un solénoïde torique à section carrée.

Exercice 3 : Définition légale de l'ampère avant 2018.

La définition légale de l'ampère avant 2018 était la suivante :

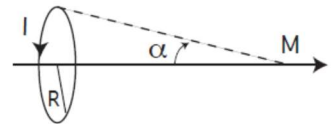
« L'ampère est l'intensité d'un courant constant qui, maintenu entre deux fils rectilignes parallèles, de longueur infinie, de section circulaire négligeable, et placés à une distance de 1 mètre l'un de l'autre dans le vide, produirait entre ces deux conducteurs une force égale à $2 \cdot 10^{-7}$ newton par mètre de longueur ».

Montrer que cette définition revient à donner à la perméabilité du vide μ_0 la valeur $4\pi \cdot 10^{-7}$ dans le système d'unité international.

Connaissez-vous la nouvelle définition de l'ampère, en vigueur depuis 2018 ?

Exercice 4 : Champ créé par un disque chargé en rotation.

On s'intéresse à une spire métallique circulaire, de centre O et de rayon R , parcourue par un courant stationnaire I . On donne l'expression du champ magnétique créé par cette spire en un point M quelconque de son axe de symétrie de révolution (Oz), en fonction de l'angle α sous lequel la spire est



vue depuis M :
$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3 \alpha \vec{e}_z$$

- 1- Discuter l'équivalence entre cette spire et un dipôle magnétique, lorsqu'on s'intéresse au champ créé sur l'axe (Oz).

On s'intéresse maintenant à un disque métallique plat de centre O et de rayon R , situé dans le plan $z = 0$, que l'on a uniformément chargé avec une densité surfacique de charge σ , puis mis en rotation à la vitesse angulaire ω constante autour de son axe de révolution (Oz). On suppose que la rotation du disque n'a aucune incidence sur la répartition de ses charges.

- 2- Montrer que l'on peut considérer ce système comme un ensemble de spires circulaires infinitésimales concentriques, chacune étant parcourue par un courant infinitésimal dI que l'on caractérisera.
- 3- En déduire l'expression du champ magnétique créé en O , puis à grande distance du disque.

Exercice 5 : Supraconducteur et effet Meissner.

On s'intéresse à une sphère supraconductrice de centre O et de rayon R que l'on plonge dans un champ magnétique extérieur uniforme $\vec{B}_0 = B_0 \vec{e}_z$. La théorie des supraconducteurs montre que dans cette situation, des courants surfaciques permanents apparaissent par induction à la surface de la sphère et créent un champ magnétique propre $\vec{B}_s$ qui compense totalement $\vec{B}_0$ à l'intérieur de la sphère (ces courants sont créés lors de l'installation du champ $\vec{B}_0$ et perdurent indéfiniment compte tenu de la résistivité nulle du matériau supraconducteur). Cet effet s'appelle l'effet Meissner.

- 1- Montrer que si le champ magnétique total est nul en tout point intérieur à la sphère, il en est de même du vecteur densité volumique de courant.
- 2- Montrer que la nullité du champ magnétique total à l'intérieur à la sphère impose au champ extérieur d'être tangent à la sphère à son voisinage.

On modélise le champ $\vec{B}_s$ créé par la sphère supraconductrice **en son extérieur**, par un champ dipolaire associé à un moment magnétique de la forme : $\vec{M} = M \vec{e}_z$.

- 3- Exprimer alors le champ magnétique total en tout point extérieur à la sphère.
- 4- Montrer que, dans le cadre de ce modèle, le moment magnétique acquis par la sphère vérifie nécessairement : $M = -\frac{2\pi}{\mu_0} R^3 B_0$.
- 5- En déduire l'expression de la densité surfacique de courant qui est apparue sur la sphère.
- 6- Proposer une allure de la carte de champ magnétique à l'extérieur de la sphère.
- 7- La supraconductivité cesse si le champ magnétique à la surface de la sphère dépasse, en intensité, une valeur critique que l'on suppose égale à 12,5 T dans les conditions de l'expérience. Pour quelle valeur du champ magnétique B_0 cela se produira-t-il et en quels points de la sphère cette rupture de l'état supraconducteur s'amorcera-t-elle ?

Données :

- Expression du champ créé en un point P de l'espace par un dipôle magnétique de moment $\vec{M}$ situé en O : $\vec{B}(P) = \frac{\mu_0}{4\pi} \left\{ \frac{3(\vec{M} \cdot \vec{r})\vec{r}}{r^5} - \frac{\vec{M}}{r^3} \right\}$ avec $\vec{r} = \vec{OP}$
- Relation de passage du champ magnétique à travers une interface séparant deux milieux (1) et (2) : $\vec{B}_2 - \vec{B}_1 = \mu_0 \vec{j}_s \wedge \vec{n}_{1 \rightarrow 2}$
- Perméabilité du vide : $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1}$