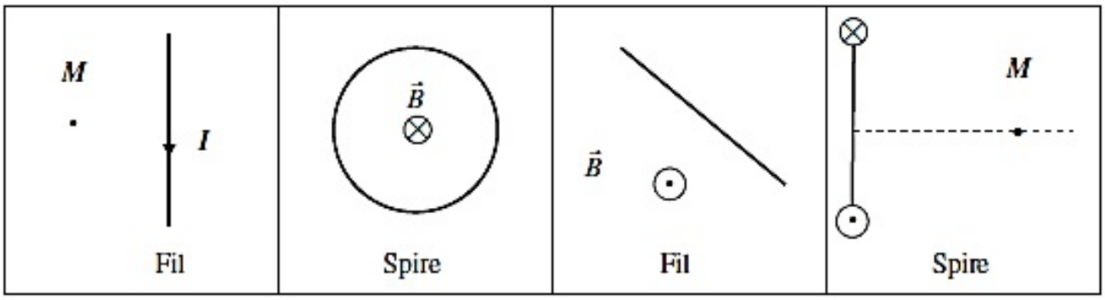
TD EM 4 - Magnétostatique

Donnée : perméabilité magnétique du vide $\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ H.m^{-1}.

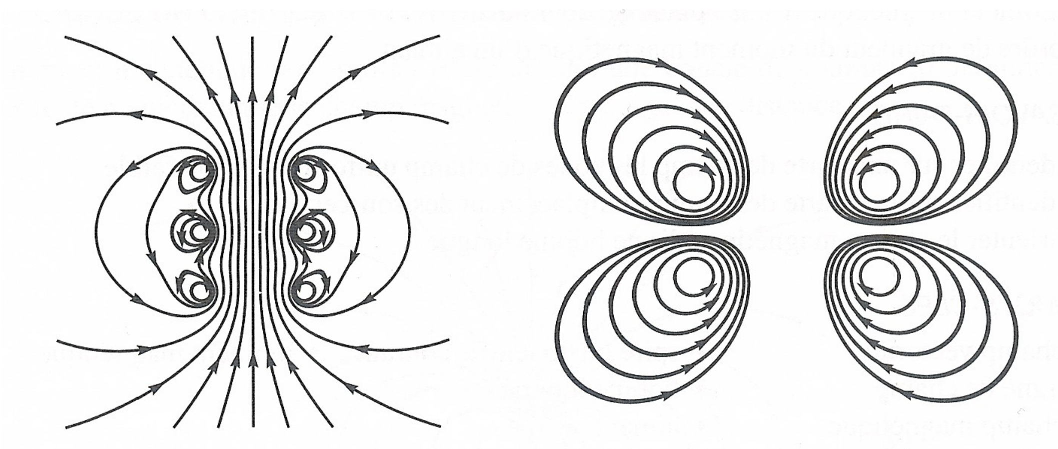
1 Une question d'orientation

Déterminer selon le cas l'orientation du champ magnétostatique au point M ou du courant $I > 0$ pour le conducteur.



2 Cartes de champ

On visualise les lignes de champ magnétique suivantes créées par des conducteurs filiformes. Où, sur une ligne de champ donnée, le champ est-il le plus intense ? Dans quelle zone le champ peut-il être considéré uniforme ? Où sont placées les sources ? Le courant sort-il ou rentre-t-il de la figure ?



3 Champ créé par une bobine longue

On considère une bobine de longueur $L = 60$ cm, de rayon $R = 4$ cm, parcourue par un courant d'intensité $I = 0,6$ A. On donne $\mu_0 = 4\pi.10^{-7}$ S.I.

1. La formule du champ d'un solénoïde est-elle valable ?
2. Déterminer le nombre de spires nécessaires pour obtenir un champ de 1 mT.
3. La bobine est réalisée en enroulant un fil de 1,5 mm de diamètre autour d'un cylindre en carton. Combien de couches faut-il pour obtenir le champ précédent.

Réponse : Il faudra réaliser 2 couches de spires.

4 Champ magnétique terrestre

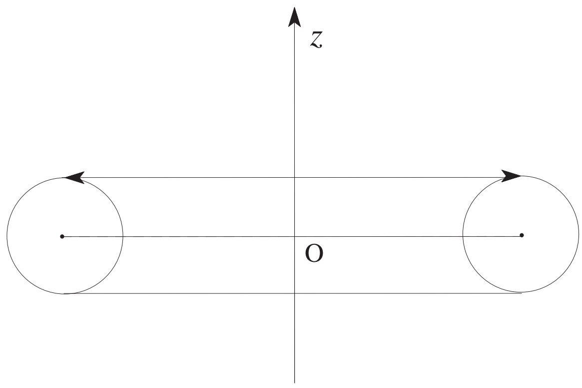
Pour mesurer approximativement la composante horizontale du champ magnétique terrestre, on utilise un solénoïde dans lequel on place une aiguille de boussole. Lorsqu'aucun courant n'est appliqué, sa direction est perpendiculaire à l'axe de la bobine.

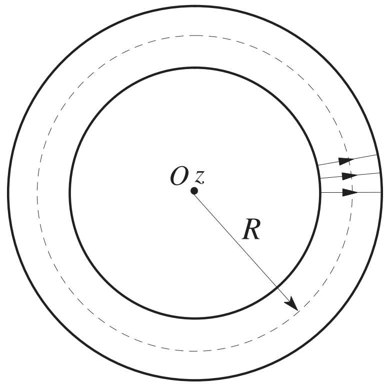
1. Indiquer qualitativement ce qui se produit lorsqu'un courant circule dans le solénoïde.
2. Avec un courant d'intensité $i = 96$mA, la boussole tourne d'un angle α tel que $\alpha = 53°$.
   (a) Faire un schéma représentant le solénoïde (en coupe), le sens du courant dans le solénoïde, la position de la boussole, l'angle α, la composante horizontale $\vec{B}_H$ du champ magnétique terrestre et le champ magnétique créé par le solénoïde.
   (b) Sachant que le solénoïde comporte 130 spires étalées sur une longueur $L = 60$ cm calculer la valeur de la composante horizontale du champ magnétique terrestre.

Réponse : $B_H = 2,0.10^{-5}$ T

5 Champ d'une bobine torique

1. Après avoir étudié soigneusement les symétries de la distribution de courant, calculer le champ magnétique créé par une bobine torique (pour visualiser sa forme, penser à une bouée ou à un donut) constituée de N spires circulaires de rayon R jointives parcourues par un courant d'intensité I.



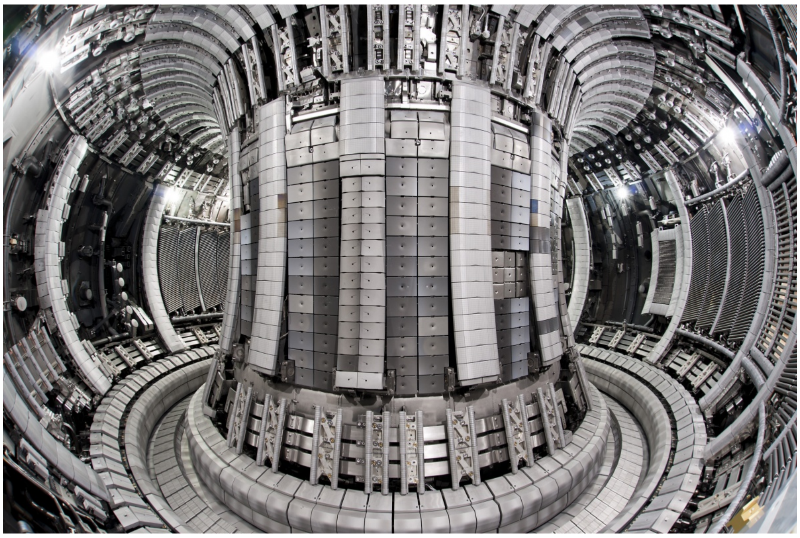


2. *"Un tokamak est une chambre torique de confinement magnétique destinée à contrôler un plasma pour étudier la possibilité de production d'énergie par fusion nucléaire"* (définition Wikipédia).

   Le champ magnétique principal est créé par une série de bobines supraconductrices constituant un solénoïde en forme de tore.

   Le tokamak jet peut produire au centre du tore, là où est confiné le plasma, un champ magnétique de 4 T. Le rayon intérieur du tokamak vaut $0,9$ m et le rayon extérieur 3 m. Calculer la valeur de NI.

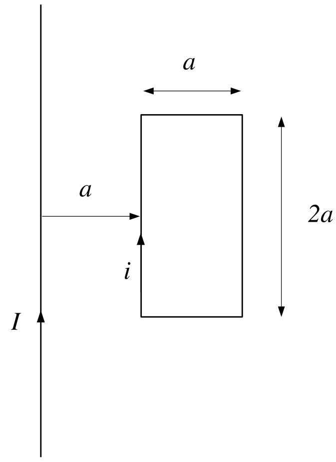
   La photo ci-dessous représente l'intérieur du tokamak européen JET, le plus grand tokamak du monde. il devrait être détrôné par le tokamak ITER de Cadarache (France) dont la date d'achèvement est prévue pour 2018. Le contrôle de la fusion thermonucléaire par confinement magnétique est une des pistes à long terme de production d'énergie de masse en prévision de la raréfaction des énergies fossiles ainsi que de celle de l'uranium.



Réponses :
1) $\vec{B} = \mu_0 \frac{NI}{2\pi r} \vec{u}_\theta$
2) $NI = 3,9.10^7$ A.

6 Force de Laplace

Calculer la résultante des forces de Laplace s'exerçant sur le circuit rectangulaire parcouru par un courant d'intensité i et placé dans le champ magnétique d'un fil supposé infini, parcouru par un courant d'intensité I, contenu dans le plan du cadre et parallèle aux grands côtés du rectangle.
On rappelle l'expression en coordonnées cylindriques du champ magnétique créé par un fil infini parcouru par un courant d'intensité I :

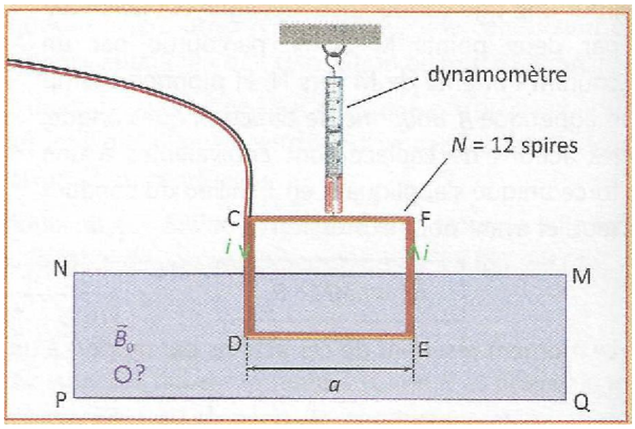


$$\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}\vec{u}_\theta$$

Réponse : $\vec{F} = -\frac{\mu_0 I i}{2\pi}\vec{u}_r$.

7 Système mécanique de mesure du champ magnétique

Supposons qu'il existe dans une zone de l'espace un champ magnétique $\vec{B}_0$ uniforme horizontal, de direction connue mais de sens et d'intensité inconnus.
Afin de déterminer complètement ce champ, on suspend à un dynamomètre étalonné un cadre rectangulaire indéformable $CDEF$, constitué de $N = 12$ enroulements de fil, dans lequel on fait circuler un courant i constant. On admet que les fils d'alimentation ne perturbent pas l'équilibre du cadre et que celui-ci qui se trouve constamment dans un même plan vertical, ses côtés DE et FC restant horizontaux.



On suppose également que, dans le plan du cadre, la zone de champ magnétique uniforme est approximativement délimitée par un rectangle $MNQP$ et que l'intensité du champ est négligeable à l'extérieur de cette zone. On observe alors qu'un courant de $0,83$ A circulant dans le sens $CDEF$ conduit à une situation d'équilibre du cadre où l'indication donnée par le dynamomètre augmente de $0,76$ N.

1. On se place dans la configuration de la figure où le côté FC du cadre se trouve à l'extérieur de la zone de champ magnétique. Montrer que, outre le poids et la force exercée par le dynamomètre, seules les actions sur le côté DE ont un effet sur son équilibre.
2. Sachant que la longueur de côté DE est $a = 6,0$ cm, déterminer le sens et l'intensité du champ magnétique. Quelle est, selon vous, la source d'un champ de cette intensité ?
3. Qu'observe-t-on si le cadre est entièrement plongé dans la zone $MNQP$?

Réponse : $B_0 = 1,3$ T

8 Plaque de cuivre en régime stationnaire ⋆

Soit un repère orthonormé direct $(O, \vec{u}_x, \vec{u}_y, \vec{u}_z)$ et deux plans (P) et (P') parallèles au plan xOy et de cotes respectives suivant zz' égales à $+\frac{a}{2}$ et $-\frac{a}{2}$. Ces plans délimitent une plaque de cuivre homogène, d'épaisseur a, de perméabilité magnétique μ_0, et de conductivité électrique γ.
Une densité volumique de courant uniforme et constante $\vec{j} = j\vec{u}_x$ parcourt ce conducteur de dimension infinie suivant $\vec{u}_x$ et $\vec{u}_y$.

1. Faire une étude soignée des symétries du problème. En déduire que le champ magnétique créé par cette distribution en tout point, intérieur ou extérieur à la plaque peut s'exprimer sous la forme :
$$\vec{B}(M) = B(z)\overrightarrow{e}_y$$
et préciser la parité de la fonction $B(z)$
2. En déduire $\vec{B}(M)$ par le théorème d'Ampère.
3. Retrouver directement $\vec{B}(M)$ par les équations de Maxwell (à partir des composantes du rotationnel).
4. Exprimer la puissance dissipée par unité de volume dans la plaque.

9 Nappe de courant hélicoïdale ⋆⋆⋆

Un cylindre supposé infini C d'axe Oz et de rayon a est parcouru par un courant dont, en tout point de C, la densité superficielle a même norme j_S et fait avec les génératrices de C un même angle $\alpha = (\overrightarrow{u_z}, \overrightarrow{j_S})$

1. Préciser la nature des lignes de courant sur C, des lignes de champ à l'extérieur de C, des lignes de champ à l'intérieur de C.
2. Calculer $\overrightarrow{B}$ dans tout l'espace. Vérifier que la discontinuité de $\overrightarrow{B}$ à la traversée de C est conforme à l'expression générale donnée en cours.