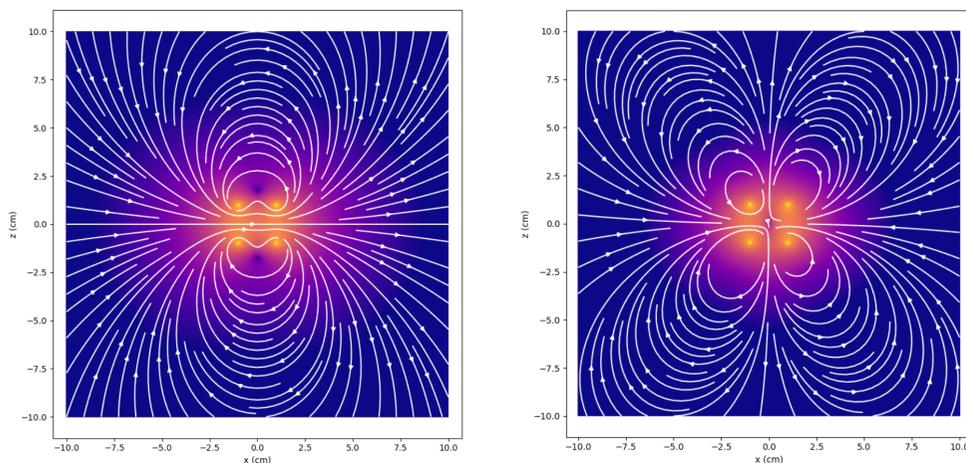


ELECTROMAG2 - Magnétostatique

Travaux dirigés

Exercice 1: Cartographie du champ magnétique *

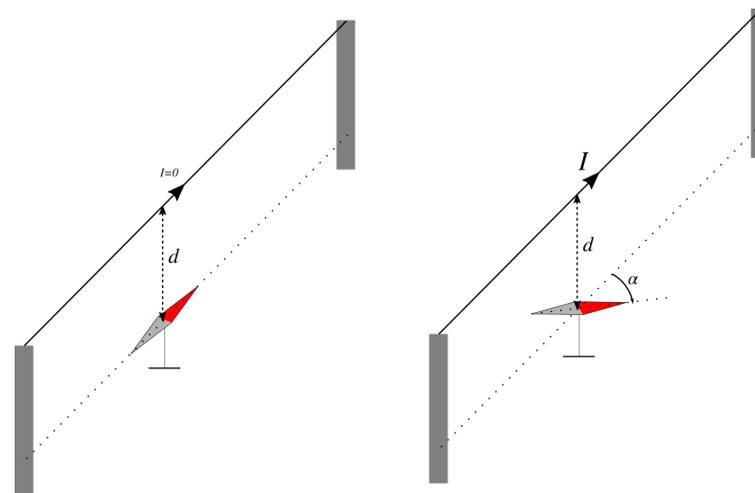
On représente ci-dessous le champ créé par 2 petites spires représentées en coupe selon leur axe de symétries.



1. Déterminer pour chaque situation le sens du courant dans chaque spire (indiquer s'il sort ou rentre dans le plan de la feuille), et représenter les deux dipôles magnétique pouvant modéliser chaque spire à grande distance, en précisant leur orientation ainsi que leurs pôles nord et sud.

Exercice 2: Expérience d'Ørsted **

Une boussole, constituée d'une petite aiguille aimantée, est placée à l'horizontale à une distance $d = 4$ cm sous un long fil. La boussole est d'abord au repos alignée avec le fil sans courant, puis on fait circuler un courant dans le fil. La boussole se stabilise alors en faisant un angle α avec l'axe du fil.

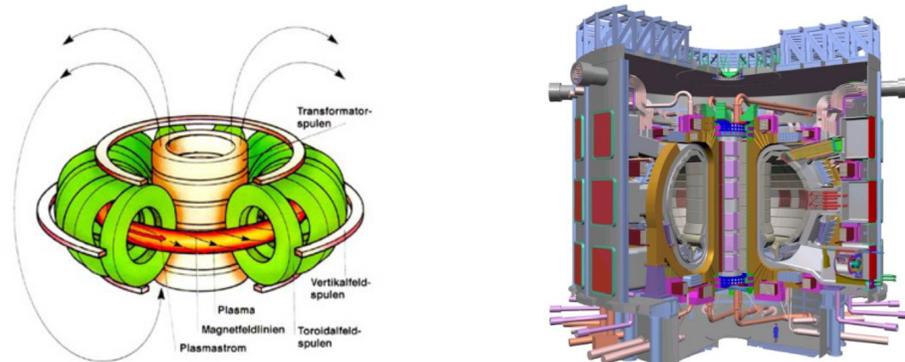


Déterminer la valeur de l'intensité I du courant parcourant le fil si $\alpha = 10^\circ$, puis $\alpha = 80^\circ$.

Donnée : l'expérience est réalisée à Paris, où la composante horizontale du champ \vec{B} terrestre a pour norme $2,0 \times 10^{-5}$ T.

Exercice 3: Tokamak **

Un tokamak (élément crucial pour les projets pour les applications civiles de la fusion nucléaire) peut prendre la géométrie d'un tore d'axe z dont les sections par des plans contenant l'axe des z sont des cercles de rayon a centrés sur un cercle de rayon R ($R > a$). N spires "géantes" (plusieurs mètres de diamètre) entourent le tore et sont traversées par la même intensité I .



Figures : à gauche, schéma de principe d'un tokamak (www.euronuclear.org). À droite, schéma du futur tokamak ITER (www.iter.org). Deutons, tritons et électrons vont être portés à des centaines de millions de kelvins pour fusionner. L'induction magnétique sert à confiner ces particules.

1. Modéliser la situation et déterminer la structure générale du champ \vec{B} .
2. Déterminer l'expression de champ \vec{B} partout dans l'espace.
3. Dans le Tokamak ITER, le rayon moyen du tore mesure 6,2m et le champ toroïdal (intérieur au tore) doit être porté à 5,3T. Quelle doit être l'intensité $I_T=NI$ dans les spires pour obtenir un tel champ toroïdal? Commenter la valeur obtenue.

Exercice 4: Capacité numérique : bobines de Helmholtz **

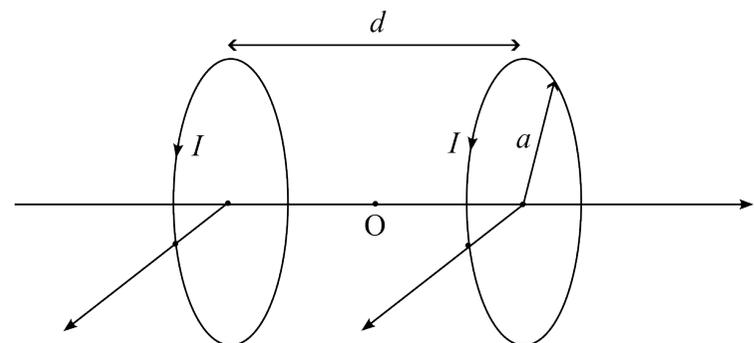


Exercice nécessitant l'utilisation d'un programme informatique

Le programme python bobine_helmholtz.py permet de définir un ensemble de bobines plates coaxiales (sur l'axe Oz). On peut paramétrer, pour chaque bobine, sa position sur l'axe, son rayon et l'intensité qui la parcourt (pour une bobine plate de N spires, il suffit de multiplier l'intensité par N).

On peut accéder au champ B créée par chaque bobine au point $M(z)$ via l'expression bobine.champB(z)

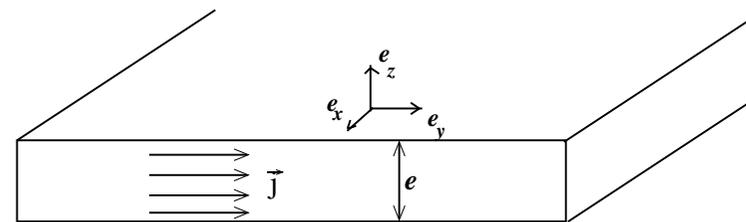
On souhaite tracer le champ B créée par la distribution suivante :



1. Déterminer la direction du champ magnétique sur l'axe (Oz).
2. Définir les deux bobines correspondantes.
3. En modifiant le programme, tracer, sur le même graphique, le champ B_z créée par l'ensemble de ces deux bobines avec $a = 0,1$ m et $I = 1$ A pour $d = 0,2$ m, $d = 0,1$ m et $d = 0,06$ m. Conclure qualitativement sur l'écart optimal entre les bobines pour obtenir un champ le plus uniforme possible autour de $z = 0$.

Exercice 5: Champ crée par une nappe de courant épaisse *

On considère un plan épais supposé infiniment étendu (épaisseur e) parcouru par une densité volumique de courant uniforme $\vec{j} = j\vec{e}_y$.



1. Calculer la structure générale du champ \vec{B} dans tout l'espace.
2. Déterminer le champ \vec{B} créée en tout point de l'espace. Représenter $\vec{B} \cdot \vec{e}_x$ qualitativement.

Exercice 6: Petit aimant sur l'axe d'une spire ***

Une spire circulaire de rayon R , de centre O et d'axe $x'Ox$, est parcourue par un courant d'intensité I constante. Sur son axe, à l'abscisse x , est placé un dipôle magnétique de moment \vec{M} de direction quelconque et libre de se déplacer en rotation comme en translation.

Le champ magnétique créée sur l'axe de la spire vaut :

$$\vec{B}(x) = \frac{\mu_0 I}{2R} \sin^3(\theta(x)) \vec{e}_x$$

où $\theta(x)$ est le demi-angle au sommet du cône d'observation de la spire depuis le point M d'abscisse x ; l'axe (Ox) est orienté en accord avec I .

Un dipôle magnétique \vec{M} placé dans un champ magnétostatique extérieur \vec{B}_{ext} et non uniforme subit une force de résultante :

$$\vec{F} = (\vec{M} \cdot \text{grad}) \vec{B}_{\text{ext}}$$

1. Trouver en justifiant la position d'équilibre stable du dipôle (en orientation et position).
2. Le dipôle garde son orientation stable précédente mais est légèrement écarté sur l'axe Ox de sa position d'équilibre. Sachant que sa masse est m et que, suivant cet axe, il n'est soumis qu'à la seule force magnétique, établir l'expression de la période T de ses petites oscillations.

Indication : On trouve $T = 2\pi \sqrt{\frac{2mR^3}{3\mu_0 \mathcal{M}I}}$