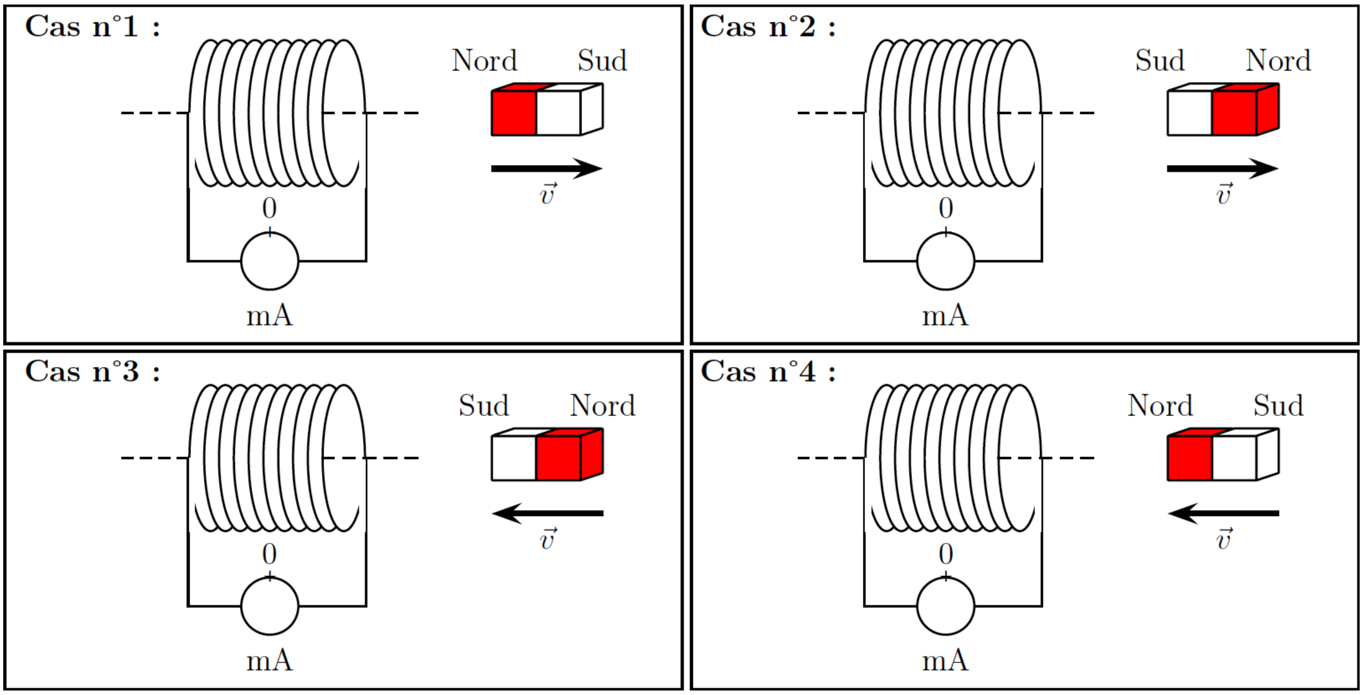
I3 Induction

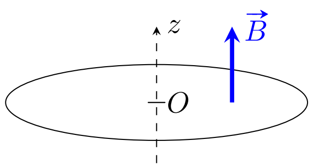
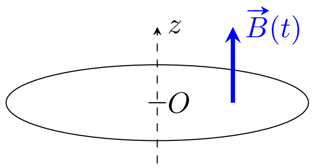
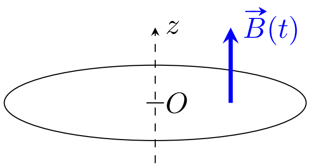
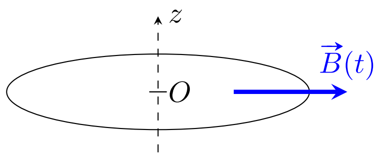
Exercice 1 - Loi de Lenz

Pour les différentes situations ci-dessous, prévoir le sens du courant induit par application de la loi de Lenz



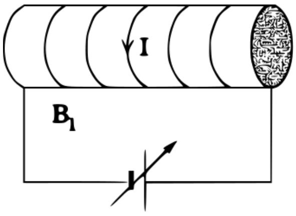
Exercice 2 - Calcul de flux

Dans chacun des cas suivants, prévoir le sens du courant induit par application de la loi de Lenz, calculer le flux, la force électromotrice induite dans la spire d'axe (Oz), de surface $S = 10\,\text{cm}^2$.

Cas 1 : La spire est immobile dans un champ magnétique uniforme et permanent : $\vec{B} = B_0\vec{e}_z$ avec $B_0 = 0{,}1\,\text{T}$. 	**Cas 2** : La spire est immobile dans un champ magnétique uniforme et variable : $\vec{B} = At\vec{e}_z$ avec $A = 0{,}1\,\text{T/s}$. 
Cas 3 : La spire est immobile dans un champ magnétique uniforme et variable : $\vec{B} = B_0\cos\omega t\,\vec{e}_z$ avec $B_0 = 0{,}1\,\text{T}$ et de fréquence $f = 50\,\text{Hz}$ 	**Cas 4** : La spire est immobile dans un champ magnétique uniforme et variable : $\vec{B} = B_0\cos\omega t\,\vec{e}_x$ avec $B_0 = 0{,}1\,\text{T}$ et de fréquence $f = 50\,\text{Hz}$. 

Exercice 3 - Vrai/Faux

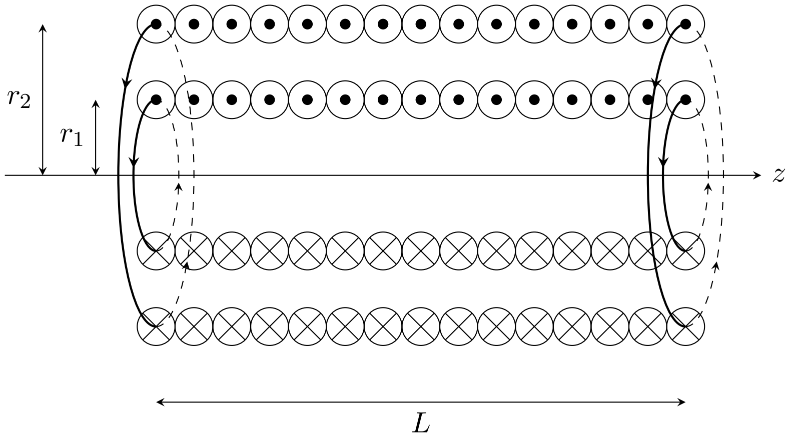
Répondre aux questions suivantes par vrai/faux **en justifiant**. Les questions 1 à 4 se rapportent à la figure ci-dessous où B_1 et B_2 sont deux solénoïdes. B_1 est relié à un générateur de courant et B_2 à un ampèremètre.



1. Le courant I dans B_1 étant constant, un courant circule dans B_2 dans le sens indiqué sur la figure.
2. Un courant circule dans B_2 dans le sens indiqué lorsque I augmente.
3. Un courant circule dans B_2 dans le sens indiqué lorsqu'on éloigne B_2 de B_1.
4. L'inductance de la bobine augmente quand le courant qui la traverse augmente.

Exercice 4 - Solénoïdes imbriqués

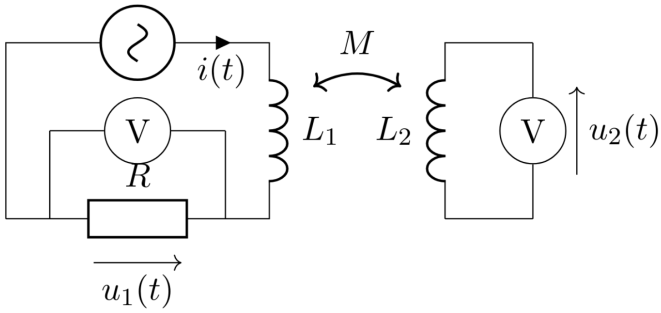
Deux solénoïdes $\mathcal{S}_1$ et $\mathcal{S}_2$ de même axe (Oz), de même longueur L et de rayon r_1 et $r_2 > r_1$ sont emboîtés l'un dans l'autre (voir figure ci-dessous). Ils présentent tous deux le même nombre de spires N. On suppose que la longueur L et très supérieure aux rayons.
La bobine intérieure est parcourue par un courant $i_1(t) = I\cos(\omega t)$ avec $I = 1\,\text{A}$. La bobine extérieure est en court-circuit.



1. Déterminer les coefficients d'induction propre L_1 et L_2, ainsi que le coefficient d'induction mutuelle M.
2. En négligeant les résistances internes des fils, déterminer le courant $i_2(t)$ parcourant la bobine extérieure. Quelle est son amplitude ?
3. Quel vaut le champ magnétique à l'intérieur du solénoïde central ?

Exercice 5 - Mesure d'une inductance mutuelle

Afin de mesurer le coefficient d'inductance mutuelle entre deux bobines, on réalise le montage ci-dessous où la première bobine est reliée en série avec un générateur de tension sinusoïdale de pulsation ω et avec une résistance. Deux voltmètres permettent de mesurer les tensions aux bornes de la résistance et de la deuxième bobine. Les deux bobines sont face à face et en interaction totale.



1. Les voltmètres étant supposés idéaux, déterminer l'intensité du courant circulant dans la deuxième bobine.

2. Exprimer la tension $u_2(t)$ aux bornes de la deuxième bobine en fonction de M et de $i(t)$, intensité du courant circulant dans la première bobine.
3. Soit $u_1(t) = Ri(t)$ la tension aux bornes de la résistance. Exprimer $u_2(t)$ en fonction de M, R et $u_1(t)$ et en déduire l'expression de M en fonction de R, ω, U_1 et U_2 où U_1 et U_2 sont les valeurs mesurées par les voltmètres.
4. Application numérique : calculer M avec $U_1 = 3\,\text{V}$, $\omega = 4\pi \times 10^4$ rad/s, $R = 100\,\Omega$ et $U_2 = 5\,\text{V}$.

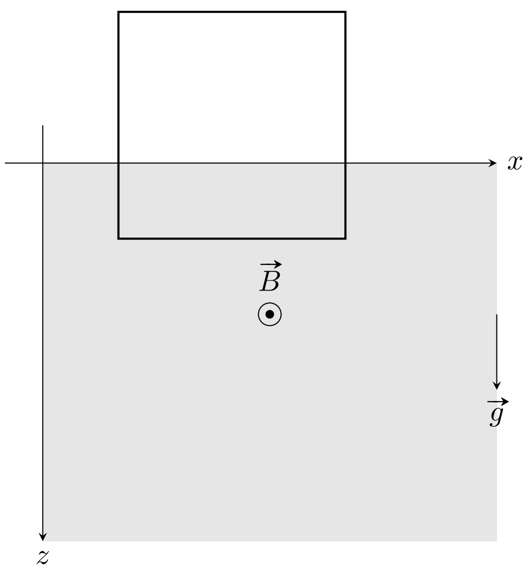
Exercice 6 - Chauffage par induction

Le chauffage du fond métallique des casseroles et autres poêles de cuisson peut être réalisé par effet Joule des courants induits directement dans le fond de la casserole par un champ magnétique variable, les courants de Foucault.

Logé dans une table support en céramique, un bobinage alimenté en courant sinusoïdal, appelé inducteur, génère ce champ. L'inducteur a un rayon de 5 cm et compte vingt spires de cuivre de résistance électrique $R_1 = 18\,\text{m}\Omega$ et d'auto-inductance $L_1 = 30\,\mu\text{H}$. Il est alimenté par une tension harmonique v_1 de pulsation ω. Du point de vue électromagnétique, on modélise le fond de casserole par une spire circulaire unique, fermée sur elle-même, appelée induit. L'induit a une résistance $R_2 = 8{,}3\,\text{m}\Omega$ et une auto-inductance $L_2 = 0{,}24\,\mu\text{H}$. Le transfert d'énergie électrique s'effectue par couplage inductif entre l'inducteur et l'induit d'inductance mutuelle $M = 2\,\mu\text{H}$.

1. En s'appuyant sur un schéma électrique équivalent, établir les équations électriques relatives aux deux circuits.
2. En déduire l'expression littérale de la fonction de transfert $\underline{H} = \underline{I}_2/\underline{I}_1$
3. En déduire l'impédance d'entrée $Z_e = \underline{V}_1/\underline{I}_1$ du système.
4. La pulsation ω est choisie bien plus grande que R_1/L_1 et R_2/L_2. Simplifier les deux expressions précédentes et calculer numériquement leur module.
5. On soulève la casserole. Indiquer qualitativement comment varie l'amplitude du courant appelé par l'inducteur.

Exercice 7 - Chute d'un cadre

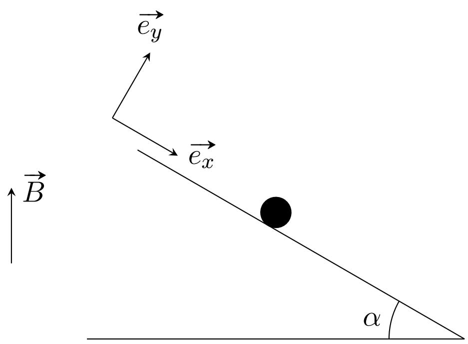


Soit un cadre carré conducteur (de côté a, masse m, résistance R, inductance propre L) situé dans le plan xOz. A $t = 0$, le côté inférieur du cadre se trouve en $z = 0$ au bord d'une zone où existe un champ magnétique $\vec{B} = B\vec{u}_y$. Ce champ existe uniquement dans la zone $z > 0$. A l'instant initial, la vitesse du cadre est $v_0\vec{u}_z$ dirigée vers le bas.

1. En utilisant la loi de Lenz, que peut-on prévoir quant au sens du courant pour t légèrement supérieur à 0 ?
2. Écrire les équations électrique et mécanique du problème (on distinguera deux phases).
3. Résoudre pour $L = 0$. On donnera (sans résoudre) les relations permettant d'obtenir t_1, v_1 et i_1 à la fin de la première phase.
4. Résoudre de même pour $R = 0$ (cadre supraconducteur). Donner l'allure des graphes $v(t)$ et $i(t)$. A quelle condition le cadre reste-t-il toujours à cheval sur la frontière de la zone de champ ?
5. Écrire les bilans énergétiques dans le cas général, c'est-à-dire L et R non nuls (on distinguera 2 phases).
6. Réaliser et interpréter le bilan de puissance.
7. A l'instant $t = 0$ on écarte la barre de sa position initiale d'une distance b. Déterminer $z(t)$ et $i(t)$.

Exercice 8 - Rails de Laplace inclinés

Un barreau métallique de masse m glisse sans frottement mécanique sur deux rails conducteurs, séparés d'une distance a et inclinés d'un angle α par rapport à l'horizontale. Les rails sont fermés sur une résistance R et un champ magnétique uniforme $\vec{B}$, dirigés selon la verticale ascendante, règne entre eux. On repère par $x(t)$ la position du barreau le long les rails.



1. En appliquant la loi de Lenz, donner le sens du courant i qui circule dans le circuit. La force de Laplace accélère-t-elle ou freine-t-elle la chute du barreau ? Le barreau peut-il s'immobiliser ?
2. Exprimer la force de Laplace $\vec{F}_L$ qui s'exerce sur le barreau mobile en fonction de i, a, B et α.
3. En exploitant la conservation de la puissance, obtenir une relation entre i, R, a, B, α et la vitesse du barreau.
4. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par v et la résoudre, sachant que le barreau est lâché en $x = 0$ et sans vitesse initiale. Justifier que le mouvement présente un régime transitoire de durée caractéristique τ à déterminer.
5. En déduire $x(t)$.
6. Les rails ont une longueur totale L. Déterminer l'énergie électrique totale transmise à la résistance R lors du mouvement sur les rails, en supposant que le temps de chute est très grand devant τ. Interpréter.