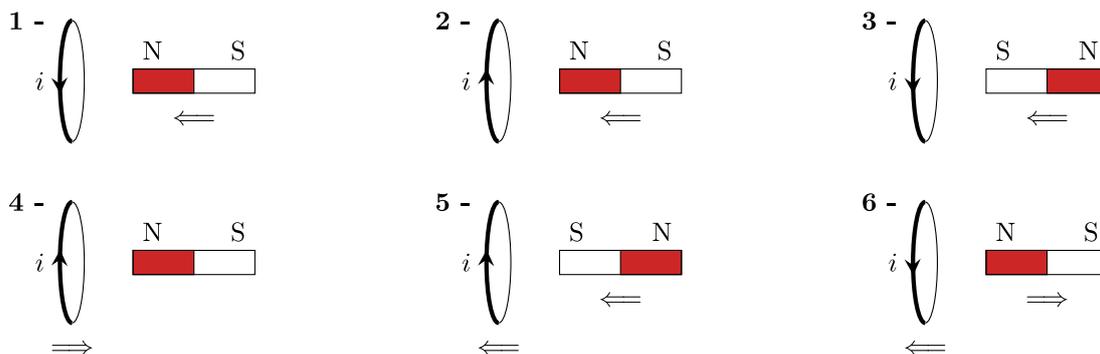


TD d'application : Lois de l'induction, induction de NEUMANN

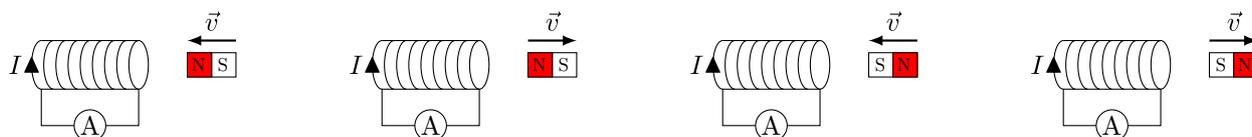
☆☆ I Signe du courant induit

1 Dans chacun des circuits ci-dessous, la spire circulaire et/ou l'aimant droit sont déplacés dans le sens indiqué par la double flèche. Indiquer le signe du courant i apparaissant dans la spire pendant le déplacement.

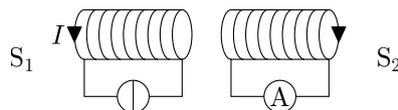


☆☆ II Étude qualitative de l'induction

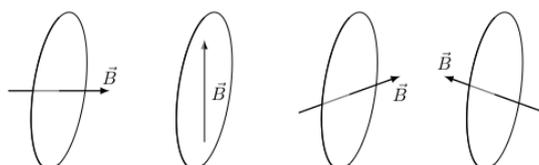
1 Pour les quatre schémas ci-dessous, indiquer le signe de l'intensité dans le circuit.



2 En partant de la figure ci-dessous avec S_1 et S_2 deux solénoïdes dont S_1 est relié à un générateur et S_2 à un ampèremètre, répondre aux questions suivantes par « vrai » ou « faux » en justifiant.



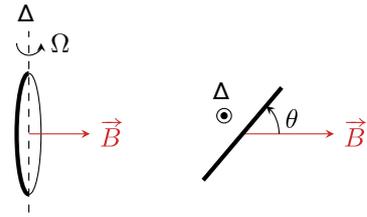
- 1) Le courant I dans S_1 étant constant, un courant circule dans S_2 dans le sens indiqué sur la figure.
 - 2) Un courant circule dans S_2 dans le sens indiqué lorsque I augmente.
 - 3) Un courant circule dans S_2 dans le sens indiqué lorsqu'on éloigne S_2 de S_1 .
 - 4) Un courant circule dans S_2 dans le sens indiqué lorsque S_2 tourne autour de son axe.
- 3 L'auto-inductance d'une bobine augmente quand le courant qui la traverse augmente : vrai ou faux ?
- 4 Déterminer dans les circuits suivants le sens du courant induit lorsque le champ magnétique augmente au cours du temps, et lorsqu'il diminue au cours du temps.





III Spire en rotation

On considère une spire conductrice circulaire de surface S et de résistance électrique r . Cette spire est mise en rotation à la vitesse angulaire $\Omega = \dot{\theta}$ constante autour d'un de ses diamètres, qui définit l'axe Δ (cf. figures en perspectives ci-contre). Elle est placée dans un champ magnétique uniforme et stationnaire \vec{B} orthogonal à Δ .



- 1 Établir l'expression de la f.é.m. induite dans la spire. En déduire celle du courant induit dans la spire.
- 2 Déterminer le moment magnétique instantané (dépendant de t) de la spire.
- 3 En déduire le couple de LAPLACE instantané puis moyen qui s'exerce sur la spire. Quel est qualitativement son effet sur le mouvement de la spire? Aurait-on pu le prévoir sans calcul?



IV Solénoïdes imbriqués

Deux solénoïdes S_1 et 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, comme représenté Figure I3.1. Ils possèdent 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

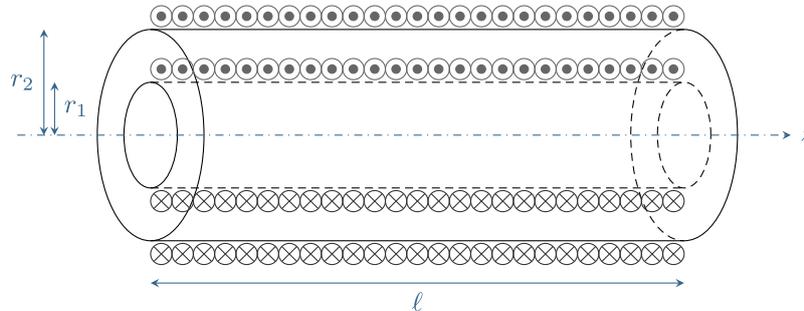


FIGURE I3.1 – Solénoïdes imbriqués.

$I = 1$ A. La bobine extérieure est en court-circuit.

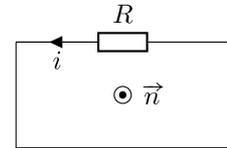
- 1 Déterminer les coefficients d'induction propre L_1 et L_2 , ainsi que le coefficient d'induction mutuelle M .
- 2 En négligeant les résistances internes des fils, déterminer le courant $i_2(t)$ parcourant la bobine extérieure. Quelle est son amplitude?
- 3 Que vaut le champ magnétique à l'intérieur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

TD d'entraînement : Lois de l'induction, induction de NEUMANN



I Peut-on négliger l'auto-induction ?

On fait très souvent l'approximation de négliger l'auto-induction dans les circuits ne comportant aucun bobinage. On s'intéresse dans cet exercice à la validité de cette approximation pour un circuit *a priori* quelconque, schématisé ci-contre, d'auto-inductance L . Le circuit, de surface totale S et de résistance R , est plongé dans un champ magnétique extérieur $\vec{B}_{\text{ext}} = B_0 \cos(\omega t) \vec{n}$.



- 1] Commençons par ne prendre en compte que la f.é.m. induite par le champ \vec{B}_{ext} . Calculer son flux au travers du circuit, et en déduire la schéma électrique équivalent. Que vaut l'intensité i ?
- 2] Considérons en plus le phénomène d'auto-induction. Exprimer le flux magnétique au travers du circuit et représenter le schéma électrique équivalent. Établir l'équation différentielle vérifiée par i .
- 3] Passons maintenant en notation complexe. Exprimer le rapport $|H| = |\underline{E}_L|/|\underline{E}_{\text{ext}}|$ des amplitudes de la f.é.m. auto-induite et de la f.é.m. induite par le champ extérieur. En déduire à quelle condition sur la pulsation la f.é.m. auto-induite est négligeable devant la f.é.m. induite.
- 4] Pour fixer les idées, calculer numériquement la pulsation et la fréquence caractéristiques avec des valeurs de R et L utilisées habituellement en TP d'électrocinétique. Quel résultat connu retrouve-t-on ?
- 5] En proposant des ordres de grandeur raisonnables, refaire le même calcul pour un circuit de même résistance mais à une seule « spire » composée d'un fil de cuivre de TP. L'inductance d'un circuit circulaire de diamètre D et donnée par

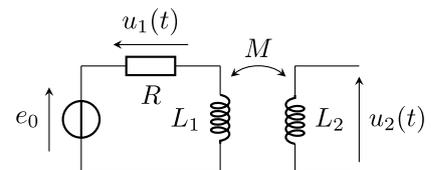
$$L = \mu_0 \frac{D}{2} \left(\ln \frac{8D}{d} - 2 \right)$$

où d est le diamètre du fil de cuivre. Est-il légitime de négliger l'inductance du circuit ?



II Mesure d'une inductance mutuelle

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 ci-contre. La première bobine est montées 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 n'est-elle pas applicable telle quelle ici ?
- 2] Exprimer la tension u_2 en fonction de M et u_1 .
- 3] Calculer M en sachant que les tensions lues à l'oscilloscope ont des amplitudes $U_1 = 3,00 \text{ V}$ et $U_2 = 0,5 \text{ V}$.
- 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° , et 90° . Même question si on aligne les axes des deux bobines.



III Plaque de cuisson à 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, appelés *courants de FOUCAULT*.

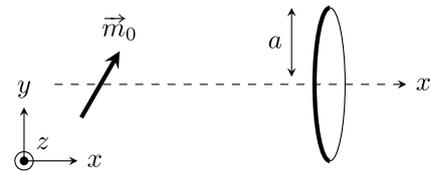
- ◇ Logé dans une table support en céramique, un bobinage alimenté en courant sinusoïdal (appelé inducteur) génère ce champ. L'inducteur a un rayon de 5 cm et compte 20 spires de cuivre de résistance électrique $R_1 = 18 \text{ m}\Omega$ et d'auto-inductance $L_1 = 30 \mu\text{H}$. Il est alimenté par une tension harmonique v_1 de pulsation ω .
 - ◇ Du point de vue électromagnétique, on modélise le fond de la 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 un 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 $\underline{H} = \frac{I_2}{I_1}$.
 - 3 En déduire l'impédance d'entrée $\underline{Z}_e = \frac{V_1}{I_1}$ du système.
 - 4 La pulsation ω est choisie bien plus grande que R_1/L_1 et R_2/L_2 , avec $\omega = 7,0 \times 10^4 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$. 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.



IV Principe de fonctionnement d'un générateur synchrone

oral CCP

Un aimant de moment magnétique \vec{m}_0 est placé dans le plan (Oxy) . Un système mécanique le met en rotation à vitesse angulaire ω constante autour de l'axe (Oz) . Une spire circulaire de rayon a et de résistance R est placée sur l'axe (Ox) à distance $x \gg a$.



Donnée

En coordonnées polaires d'axe colinéaire à \vec{m} , un moment magnétique \vec{m} placé à l'origine crée en un point M quelconque un champ magnétique

$$\vec{B}(M) = \frac{\mu_0 m}{4\pi r^3} (2 \cos(\theta) \vec{u}_r + \sin(\theta) \vec{u}_\theta)$$

- 1 Déterminer l'intensité i du courant induit dans la spire. En déduire la puissance électrique qu'elle reçoit. Une attention particulière sera donnée à l'orientation de l'angle θ , et on vérifiera qualitativement les signes de la f.é.m. et du courant induits.
- 2 Exprimer le couple magnétique subi par l'aimant **de la part de la spire**. On fera attention au point d'origine du champ magnétique que subit l'aimant, et on vérifiera encore les signes obtenus.
- 3 Quelle puissance le système mécanique doit-il fournir à l'aimant pour le maintenir à vitesse constante? Conclure : en quoi a-t-on modélisé un générateur électrique rudimentaire?