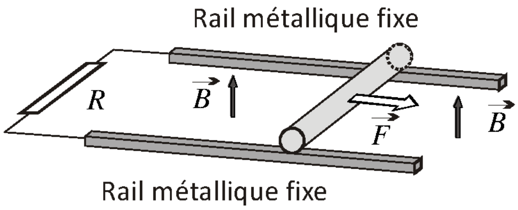
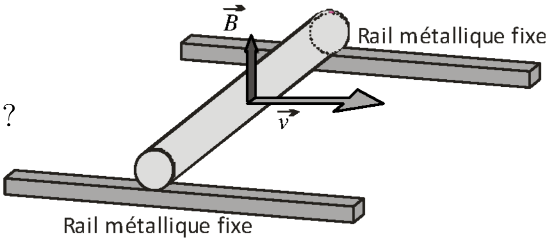
Circuit mobile dans un champ stationnaire

1. Barre de Laplace* Une tige conductrice de longueur L est déplacée à la vitesse v le long de 2 rails conducteurs. Une résistance R relie les 2 rails et la résistance du reste du dispositif est négligeable. Le tout est placé dans un champ magnétique uniforme B, perpendiculaire au plan de figure.

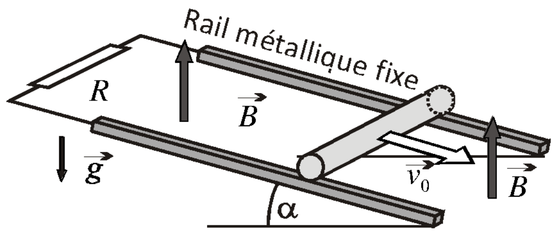
1. Déterminer le courant induit et la puissance électrique dissipée dans R.
2. Déterminer la force qu'il faut exercer sur la barre pour maintenir constante la vitesse de la barre.
3. Calculer la puissance de cette force et faire un commentaire.



2. Barre de Laplace sur des rails horizontaux* Une barre est placée sur deux rails parallèles horizontaux très bons conducteurs dans une zone où règne un champ magnétique vertical uniforme. On néglige les frottements du barreau sur les rails. La distance qui sépare les deux rails est notée d. Le circuit est fermé par une résistance R. Un opérateur exerce une force constante sur la barre. Quelle est le sens du courant induit ? La vitesse augmente pour tendre vers une vitesse limite v_{lim} Quelle est la valeur de v_{lim} ?



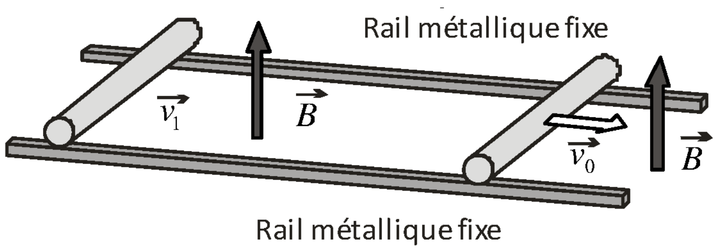
3. Barre de Laplace pour un circuit (presque) ouvert* Quelle est la différence de potentiel $\mathrm{U_{MN}} = \mathrm{V_M} - \mathrm{V_N}$? On pourra relier les deux rails par une résistance très grande devant celle de la barre.

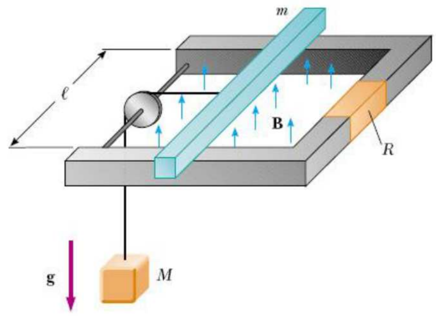


4. Barre de Laplace sur rails inclinés* Une tige conductrice de longueur L est déplacée à la vitesse v le long de deux rails conducteurs parallèles et inclinés d'un angle par rapport à l'horizontale. Une résistance R relie les deux rails, et la résistance du reste du dispositif est négligeable. Le tout est placé dans un champ magnétique uniforme $\overrightarrow{\mathrm{B}}$, de direction verticale ascendante.

1. Déterminer le courant induit et la puissance électrique dissipée dans R.
2. Déterminer la force qu'il faut exercer sur la barre pour maintenir constante la vitesse de la barre.
3. Calculer la puissance de cette force, et faire un commentaire.

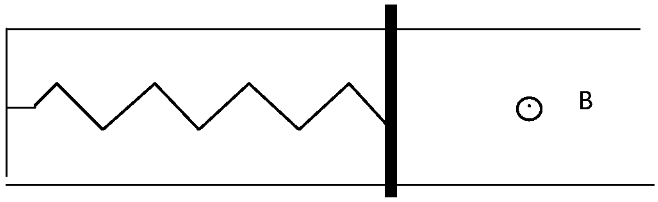
5. Deux barres en mouvements sur des rails de Laplace* Les vitesses des barres valent v_0 et v_1. Quel est le schéma électrocinétique équivalent sachant que la résistance de chaque barreau vaut r ? Quelle est l'intensité du courant induit ?





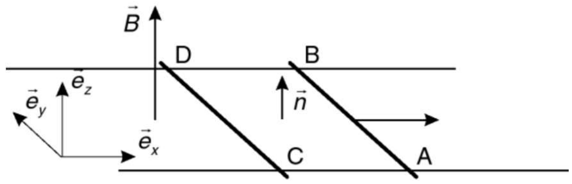
6. Barre tractée* Une tige conductrice de longueur L est déplacée à la vitesse v le long de deux rails conducteurs. Une résistance R relie les deux rails et la résistance du reste du dispositif est négligeable. Le tout est placé dans un champ magnétique uniforme $\overrightarrow{\mathrm{B}}$, perpendiculaire au plan de figure.

1. Déterminer l'expression du courant induit et la puissance électrique dissipée dans R.
2. Déterminer la force qu'il faut exercer sur la barre pour maintenir constante la vitesse de la barre.
3. Calculer la puissance de cette force et faire un commentaire.



7. Barre accrochée à un ressort* Un circuit électrique horizontal est constitué de deux rails sur lesquels peut glisser sans frottement une tige en métal conducteur, le tout baigne dans un champ magnétique permanent vertical. La tige conductrice mobile est reliée à un élastique de raideur k qui se comporte comme un ressort. On étire l'élastique et on lâche la tige sans vitesse initiale. Lorsque la résistance R de la tige diminue :

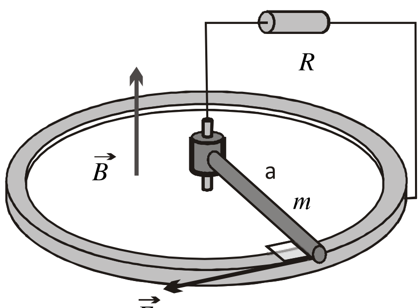
(A) L'amplitude du mouvement diminue.
(B) La tension de l'élastique diminue.
(C) L'amplitude du mouvement augmente.
(D) La vitesse augmente.
(E) Rien n'est modifié.
(F) Autre réponse.



8. Deux tiges sur des rails parallèles* Un circuit est constitué d'un double rail conducteur, de largeur ℓ, et de deux conducteurs parallèles AB et CD pouvant se déplacer sans frottement sur le rail, tout en restant perpendiculaires au rail.

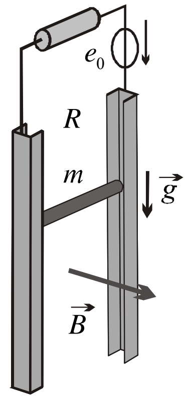
Ce circuit, contenu dans un plan horizontal, est soumis à un champ magnétique extérieur $\overrightarrow{\mathrm{B}} = \mathrm{B}_0\,\overrightarrow{e_z}$, uniforme et vertical. La résistance du rail est négligeable, la résistance totale des conducteurs mobiles est R. On néglige, dans tout le problème les effets d'auto-induction devant les effets d'induction dus à B_0.

1. Un opérateur déplace le conducteur AB à la vitesse constante $\overrightarrow{v_1} = v_1\,\overrightarrow{e_x}$, le conducteur CD étant maintenu immobile. Calculer l'intensité du courant qui circule dans le circuit ABCD et la force $\overrightarrow{\mathrm{F}}$ que l'opérateur exerce sur AB.
2. Le conducteur AB se déplace toujours à la vitesse constante $\overrightarrow{v_1}$. On lâche CD au temps $t = 0$ à vitesse nulle. CD se met alors en mouvement, et l'on note $\vec{v} = v\,\overrightarrow{e_x}$ sa vitesse à la date t. Calculer cette vitesse.
3. Quelle est l'énergie cinétique finale acquise par CD, le transfert thermique dissipé par effet Joule entre $t = 0$ et t ainsi que le travail effectué par l'opérateur durant ce même temps ? Conclure.



9. Rotation d'une barre dans un champ uniforme* Une barre de longueur a de masse m peut pivoter sans frottements autour d'une liaison pivot d'axe vertical. Le cerceau sur lequel repose cette barre est formé d'un très bon conducteur électrique. On néglige la résistance de la barre et du cerceau devant une résistance additionnelle placée dans le circuit.

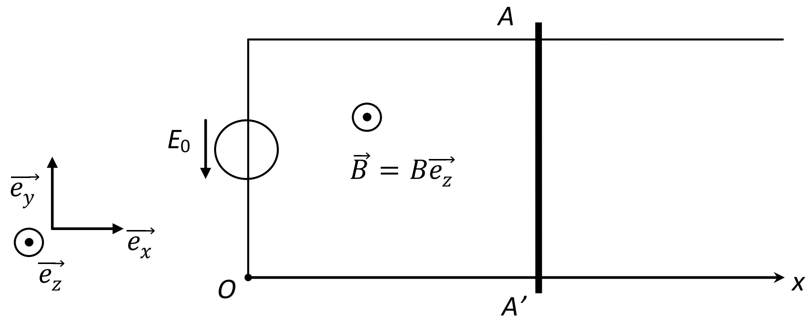
Un opérateur exerce une force d'intensité constante $\overrightarrow{\mathrm{F}}$ de direction perpendiculaire à la barre. On se place en régime stationnaire. La barre a donc atteint sa vitesse angulaire limite ω_∞. Déterminez cette vitesse angulaire ainsi que l'intensité circulant dans le circuit en régime stationnaire.



10. Barre de Laplace sur rails verticaux* Une barre peut se déplacer sans frottements le long d'une glissière verticale placée dans une zone où règne un champ magnétique horizontal uniforme. Un générateur de force électromotrice e_0 en série avec une résistance R est relié à la date $t = 0$ aux rails. La vitesse de la barre à cette date est nulle.

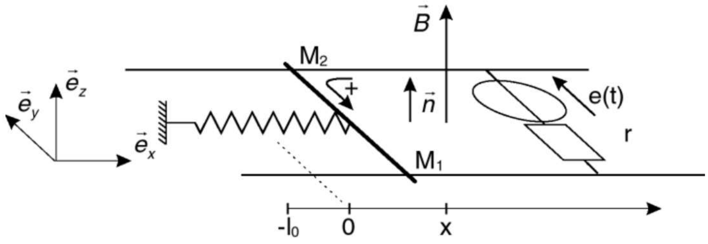
1. Dans quel sens se déplace la barre lors de la fermeture du circuit ?
2. Quelle est la vitesse limite atteinte par la barre ?
3. Etablir l'équation vérifiée par $v_z(t)$.

11. Rail avec générateur* On considère un circuit constitué de deux rails parallèles horizontaux distants de a, sur lesquels peut glisser sans frottement une barre conductrice de masse m. Les deux rails sont reliées à une f.é.m. E_0. On note R la résistance de l'ensemble du circuit ainsi constitué. L'ensemble est plongé dans un champ magnétique vertical $\overrightarrow{B} = B\,\overrightarrow{e_z}$. À $t = 0$, la barre est « lâchée » sans vitesse initiale. On notera $\overrightarrow{v}(t) = v(t)\,\overrightarrow{e_x}$ sa vitesse avec $v(t)$ composante (algébrique) de sa vitesse sur l'axe Ox.

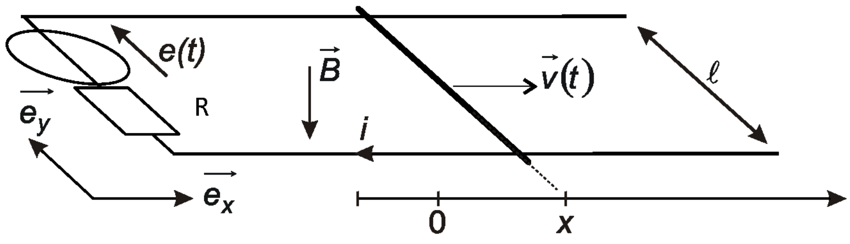


1. Faire une analyse qualitative de ce qui va se passer. Déterminer le sens de la force de Laplace qui apparaît ainsi que celui de la fém induite. S'agit-il d'un fonctionnement moteur ou générateur ?
2. Déterminer la f.é.m. induite $e(t)$ ainsi que l'équation électrique du système.
3. Établir l'équation mécanique du système.
4. En déduire les lois horaires de la vitesse $v(t)$ et de l'intensité $i(t)$.
5. Calculer l'énergie totale E_J dissipée par effet Joule dans la résistance, la variation d'énergie mécanique de la barre et l'énergie totale fournie par le générateur. Conclure.
6. Vérifier que le couplage électromécanique est parfait.

12. Excitation sinusoïdale avec force de rappel* Soient deux rails parallèles et horizontaux placés dans un champ magnétique constant de direction perpendiculaire au plan formé par les deux rails. Une barre M_1M_2 de longueur d peut se déplacer sur ces rails selon l'axe (Ox) en restant en contact électrique. Elle est soumise à l'action d'un ressort horizontal de raideur k et de longueur à vide ℓ_0 ainsi qu'à une force de frottement fluide $\overrightarrow{f} = -h\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\,\overrightarrow{e_x}$. Un générateur de force électromotrice $e(t) = e_0 \cos\omega t$ et de résistance interne r est branché entre les deux rails. Déterminer l'équation du mouvement de la barre.



13. Filtrage électromécanique* On négligera tout phénomène d'auto-induction. Une barre de masse m de longueur ℓ glisse sans frottement sur deux rails horizontaux en restant perpendiculaire aux rails. Elle est placée dans un champ magnétique uniforme vertical $\overrightarrow{\mathrm{B}}$ (voir figure). La résistance et l'inductance de l'ensemble barre et rails est négligeable. Le circuit électrique est fermé sur un générateur de force électromotrice $e(t)$ et résistance R. On appelle $i(t)$ l'intensité dans le circuit et $v(t)$ la vitesse de la barre.

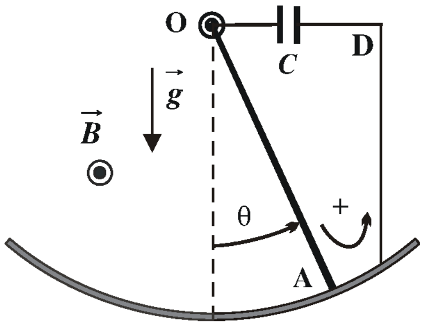


1. Déterminer les expressions des équations électrique et mécanique du circuit.
2. En déduire les fonctions de transfert

$$\underline{\mathrm{H}}_1(\mathrm{j}\omega) = \frac{\underline{v}}{\underline{e}} \qquad \text{et} \qquad \underline{\mathrm{H}}_2(\mathrm{j}\omega) = \frac{\underline{i}}{\underline{e}}$$

3. Justifier le terme « filtrage électromécanique ». Quels sont les types de filtres mis en jeu ? Étudier les comportements limites du système en $\omega \to 0$ et $\omega \to \infty$.
4. Déduire des fonctions de transfert, la réponse en vitesse et en courant à un échelon de tension

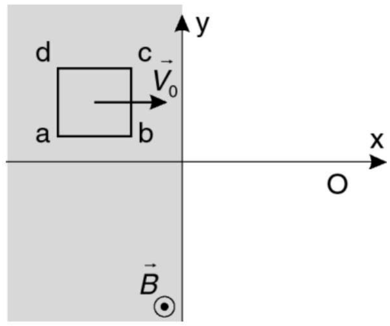
$$e(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < 0 \\ \mathrm{E}_0 & \text{si } t \geqslant 0 \end{cases}$$



14. Freinage d'un pendule dans un champ magnétique* Une tige métallique homogène OA de masse m et de longueur ℓ peut tourner autour d'un axe horizontal (Oz). La liaison au niveau de son extrémité fixe O peut être considérée comme parfaite. L'extrémité mobile A glisse sans frottement sur un profil circulaire, de sorte qu'à chaque instant l'ensemble tige-profil assure la fermeture d'un circuit électrique constitué d'un condensateur de capacité C.

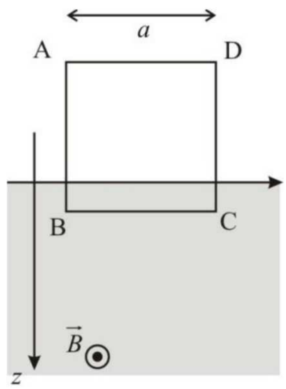
L'ensemble est placé dans un champ magnétique uniforme et constant $\overrightarrow{\mathrm{B}} = \mathrm{B}\,\overrightarrow{e_z}$ dirigé suivant l'axe de rotation Oz (cf. figure ci-contre). On désigne par $i(t)$ la valeur instantanée du courant qui circule dans le circuit, par θ l'angle formé par la tige et la verticale et par g l'accélération due à la pesanteur. On négligera les chutes de tension dans les parties résistives du circuit ainsi que l'auto-induction.

1. Donner l'expression de la force électromotrice d'induction $e(t)$ qui apparaît dans le circuit.
2. Exprimer le courant $i(t)$ dans le circuit.
3. Calculer le moment résultant $\mathscr{M}$ par rapport à l'axe Oz de la force magnétique de Laplace.
4. Calculer la pulsation ω_1 des petites oscillations du pendule sachant que le moment d'inertie de la tige par rapport à l'axe de rotation Oz vaut $\mathrm{I}_{\mathrm{O}z} = \dfrac{m\ell^2}{3}$.
5. Le condensateur est remplacé par une bobine d'inductance propre L et de résistance négligeable. Calculer la nouvelle pulsation ω_2 des petites oscillations du pendule.



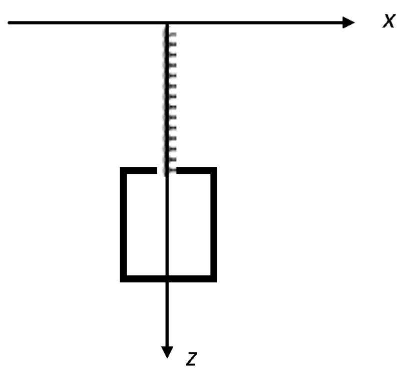
15. Sortie d'un cadre d'une zone de champ magnétique* Un cadre rigide abcd, carré de coté r, de masse m, de résistance électrique R peut glisser sans frottements mécaniques sur un plan horizontal (Oxy). Dans le domaine $x < 0$, il règne un champ magnétique vertical $\overrightarrow{\mathrm{B}} = \mathrm{B}\,\overrightarrow{e_z}$. Pour $x > 0$, $\overrightarrow{\mathrm{B}}$ est nul. On note $t = 0$, l'instant où le segment bc atteint la position $x = 0$. La vitesse du cadre à cette date est $\mathrm{V}_0\,\overrightarrow{e_x}$.

1. Montrer rapidement que pour $t < 0$, le mouvement est uniforme.
2. On se place pour $t \geqslant 0$, mais le cadre reste partiellement immergé dans la zone de champ magnétique : le segment ad n'a pas atteint la cote $x = 0$. Calculer l'intensité du courant induit. Préciser le sens sur un schéma.
3. En déduire la force de Laplace qui s'exerce sur le cadre.
4. Exprimer la vitesse du cadre tant que le cadre n'est pas totalement sorti de la zone de champ magnétique.
5. Montrer que si le champ magnétique est suffisamment intense, le cadre ne parviendra pas totalement dans la zone $x > 0$.
6. Faire un bilan énergétique du processus dans ce cas.



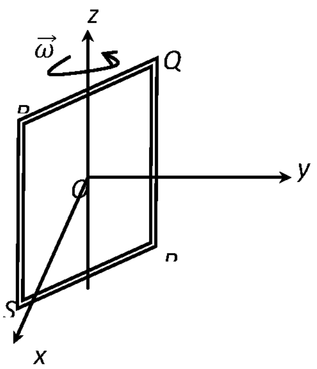
16. Chute d'un cadre dans un champ magnétique* Un cadre rigide ABCD, carré de coté a, de masse m , de résistance électrique R peut glisser sans frottements mécaniques selon l'axe Oz. Dans le domaine $z > 0$, il règne un champ magnétique horizontal $\overrightarrow{\mathrm{B}} = \mathrm{B}\,\overrightarrow{e_y}$. L'accélération de la pesanteur sera noté $\overrightarrow{g}$. Pour $z < 0$, $\overrightarrow{\mathrm{B}}$ est nul. On note $t = 0$ l'instant où le segment BC atteint la position $z = 0$. La vitesse du cadre à cette date est noté $v_0\,\overrightarrow{e_z}$.

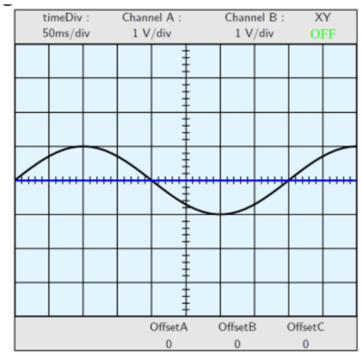
1. Est-on dans le cas de Lorentz ou de Neumann ?
2. On se place pour $t > 0$, mais le cadre reste partiellement immergé dans la zone de champ magnétique : le segment AD n'a pas atteint la cote $z = 0$. Déterminer la f.é.m. d'induction puis l'intensité du courant induit dans le cadre. Préciser le sens sur un schéma. Commentez.
3. En déduire la force de Laplace qui s'exerce sur le cadre. Commentez.
4. Exprimer la vitesse du cadre tant que le cadre n'est pas totalement entré dans la zone de champ magnétique.
5. Faire un bilan énergétique.
6. Que se passe-t-il si les spires sont supraconductrices, c'est-à-dire $\mathrm{R} = 0$?



17. Cadre en mouvement dans un champ inhomogène*** Le cadre carré de masse m, de résistance R et de côté a se déplace verticalement dans un champ magnétique $\overrightarrow{\mathrm{B}} = (\mathrm{B}_0 - bz)\,\overrightarrow{e_y} + (\mathrm{B}_1 - by)\,\overrightarrow{e_z}$. Il est en outre soumis à la force de rappel d'un ressort de raideur k et de longueur à vide ℓ_0. À l'équilibre, le centre du cadre est à la cote z_0. On le lâche de la position $z_0 + \mathrm{Z}_0$ sans vitesse initiale. Établir l'équation du mouvement et la résoudre. Effectuer un bilan énergétique entre t et $t + \mathrm{d}t$.

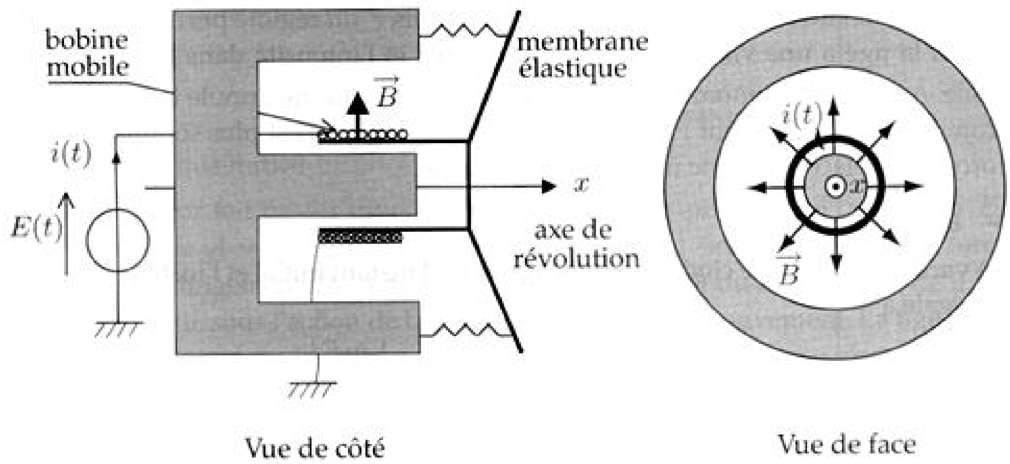
18. Alternateur* Un cadre en rotation dans un champ magnétique uniforme est un modèle simple d'alternateur. Considérons un cadre carré de $N = 400$ spires, de coté $a = 5$ cm placé dans une zone où règne un champ magnétique uniforme et constant $\overrightarrow{B} = B\,\overrightarrow{e_z}$. Ce cadre tourne avec une vitesse angulaire ω constante autour de l'axe Oz. Les deux extrémités du fil sont reliés à un oscilloscope. La tension aux bornes de l'alternateur est représentée sur l'oscillogramme ci-dessous.





1. Établir l'expression du flux du champ magnétique à travers ce cadre en précisant l'orientation choisie
2. En déduire la fém induite.
3. Que peut-on déduire de l'oscillogramme ?

19. Haut-parleur*** On considère le haut-parleur électrodynamique schématisé ci-dessous.



1. Montrer que le graphe représentant dans le plan complexe l'impédance motionnelle $\underline{Z}_m$ quand ω varie est un cercle centré sur l'axe des réels dont on déterminera le centre et le rayon.
2. Calculer en fonction de $\underline{Z}_m$ le rendement du haut-parleur, défini comme le rapport entre la puissance moyenne cédée à l'onde acoustique et la puissance moyenne fournie par le générateur[1]. Pour quelle valeur de ω ce rendement est-il maximum ? Pourquoi utilise-t-on plusieurs haut-parleurs dans un baffle de bonne qualité ?
3. On utilise le même dispositif en microphone électrodynamique. L'énergie est fournie par la force de frottement visqueuse, et recueillie sous forme électrique dans une charge équivalente à une résistance placée aux bornes de la bobine. Écrire le bilan énergétique.

[1]Pour une tension qui s'écrit $e(t) = e_0 \cos(\omega t + \varphi_e)$ et une intensité qui s'écrit $i(t) = i_0 \cos(\omega t + \varphi_i)$, on peut montrer que la puissance moyenne est donnée par $\mathscr{P} = \langle e(t) \times i(t) \rangle = \frac{1}{2} e_0\, i_0 \cos(\varphi_e - \varphi_i)$. En notations complexes, cela revient à calculer $\mathscr{P} = \frac{1}{2}\,\mathrm{Re}\,(\underline{e} \times \underline{i}^*)$ où l'étoile correspond à la prise du complexe conjugué.