

DS de Physique 25 Mars 2026 – 4H

PSI - Lycée du Parc des Loges

Calculatrices autorisées

Partie 1 - Réflexion des ondes ultrasonores

On prendra pour valeur de la célérité des ondes ultrasonores $c = 343 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ pour une température de l'air de 20°C .

C / Réflexion sur une interface

On désire, dans cette partie, vérifier que l'onde ultrasonore est bien réfléchiée par les matériaux usuels rencontrés dans une maison.

Pour cela, on étudie la réflexion et la transmission d'une onde ultrasonore sur une interface plane séparant l'air (milieu 1) d'un milieu solide (milieu 2), les deux milieux sont supposés s'étendre à l'infini.

On considère que l'interface plane est de masse négligeable, imperméable, perpendiculaire à la direction de propagation et au repos dans le référentiel d'étude en l'absence d'onde acoustique. On place désormais l'origine du repère à l'interface.

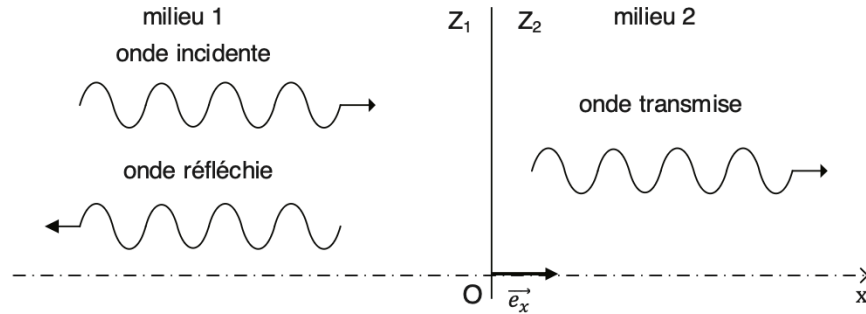


Figure 4 – Réflexion et transmission sur une interface plane

On considère le cas d'ondes planes progressives, harmoniques se propageant suivant l'axe $(0, \vec{e}_x)$ à la célérité c .

On adopte la notation complexe pour les surpressions instantanées et pour les vitesses instantanées.

De plus, on introduit l'impédance acoustique Z_i d'un milieu i , coefficient supposé réel positif.

On a donc pour l'onde incidente :

- $\vec{v}_i(x, t) = v_i(x, t) \vec{e}_x = v_{i0} \exp[j(\omega_0 t - k_i x)] \vec{e}_x$
- $\underline{p}_i(x, t) = p_{i0} \exp[j(\omega_0 t - k_i x)] = Z_1 \cdot v_{i0} \exp[j(\omega_0 t - k_i x)]$;

pour l'onde réfléchiée :

- $\vec{v}_r(x, t) = v_r(x, t) \vec{e}_x = v_{r0} \exp[j(\omega_0 t + k_r x)] \vec{e}_x$
- $\underline{p}_r(x, t) = p_{r0} \exp[j(\omega_0 t + k_r x)] = -Z_1 \cdot v_{r0} \exp[j(\omega_0 t + k_r x)]$;

et pour l'onde transmise :

- $\vec{v}_t(x, t) = v_t(x, t) \vec{e}_x = v_{t0} \exp[j(\omega_0 t - k_t x)] \vec{e}_x$
- $\underline{p}_t(x, t) = p_{t0} \exp[j(\omega_0 t - k_t x)] = Z_2 \cdot v_{t0} \exp[j(\omega_0 t - k_t x)]$;

où toutes les amplitudes v_{i0} , v_{r0} et v_{t0} sont des coefficients supposés réels.

C1. Expliciter la condition aux limites à l'interface pour la pression et montrer qu'elle conduit à la relation :

$$p_{i0} + p_{r0} = p_{t0} \quad \text{(R4)}$$

C2. Expliciter la condition aux limites à l'interface pour la vitesse et montrer qu'elle conduit à la relation :

$$v_{i0} + v_{r0} = v_{t0} \quad \text{(R5)}$$

C3. Dédire des relations (R4) et (R5) les expressions des coefficients de réflexion $r = \frac{v_{r0}}{v_{i0}}$ et de transmission $t = \frac{v_{t0}}{v_{i0}}$ en amplitude, en fonction de Z_1 et de Z_2 .

On introduit le vecteur de Poynting acoustique réel $\vec{\pi}$ associé au vecteur de Poynting acoustique complexe $\underline{\pi}$ défini par $\underline{\pi} = \underline{p}^* \cdot \underline{v}$ où \underline{p}^* est le nombre complexe conjugué de \underline{p} . Le module de la valeur moyenne temporelle de $\vec{\pi}$ est donnée par la relation :

$$\|\langle \vec{\pi} \rangle\| = \left\| \frac{1}{2} \text{Re}(\underline{\pi}) \right\|$$

où Re est la partie réelle d'un nombre complexe.

Au niveau de l'interface, en $x = 0$, on définit les coefficients de réflexion et de transmission en puissance par :

$$R = \frac{\|\langle \vec{\pi}_r \rangle\|}{\|\langle \vec{\pi}_i \rangle\|} \quad T = \frac{\|\langle \vec{\pi}_t \rangle\|}{\|\langle \vec{\pi}_i \rangle\|}$$

C4. Quelle est la signification physique du vecteur de Poynting $\vec{\pi}$? Quelle est son unité usuelle ?

C5. Exprimer R et T en fonction de Z_1 et de Z_2 .

C6. En déduire que $R + T = 1$. Que traduit cette relation ?

Le tracé du coefficient de transmission en puissance entre deux milieux en fonction du rapport de leur impédance acoustique donne la courbe suivante :

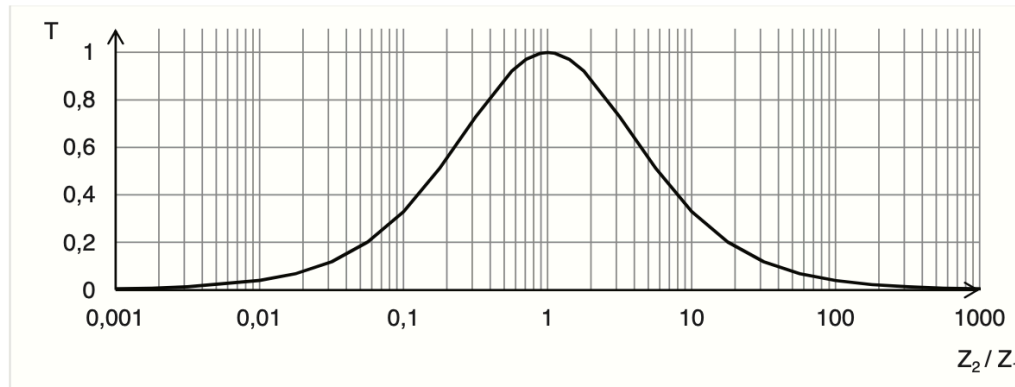


Figure 5 – Coefficient de transmission en puissance en fonction du rapport des impédances

Le tableau ci-dessous donne les valeurs de l'impédance acoustique de quelques milieux présents dans une maison.

Milieu	Impédance acoustique Z ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
air	$4,2 \cdot 10^2$
béton	$8,8 \cdot 10^6$
bois dur	$2,8 \cdot 10^6$
verre	$1,4 \cdot 10^7$
polystyrène expansé	$6,0 \cdot 10^3$
milieu biologique	$1,5 \cdot 10^6$

Figure 6 – Impédance acoustique de quelques milieux

C7. En utilisant les figures 5 et 6, et en expliquant votre raisonnement, déterminer le milieu que le robot autonome détectera le moins. Pour ce milieu, déterminer les valeurs des coefficients de réflexion et de transmission. L'onde est-elle bien réfléchiée par les matériaux usuels rencontrés dans une maison ?

D / DÉTECTION D'UN OBSTACLE MOBILE

Effet Doppler

Le robot doit aussi être capable de détecter des obstacles mobiles : enfant ou animal domestique se déplaçant.

On étudie donc, dans cette partie, la réflexion d'une onde ultrasonore sur un obstacle (ou paroi) assimilé à une interface plane, imperméable, perpendiculaire à la direction de propagation.

L'obstacle se déplace en direction de l'émetteur à vitesse constante $\vec{V} = -V \vec{e}_x$.

On place l'origine du repère à la position initiale de l'obstacle, la position de ce dernier est donc : $x_P(t) = -Vt$

On admet, dans cette partie, qu'il n'y a pas d'onde transmise.

On néglige l'effet de l'écoulement de l'air engendré par le déplacement de la paroi, c'est-à-dire que l'on considère que les ondes incidentes et réfléchies se propagent comme si l'air était au repos.

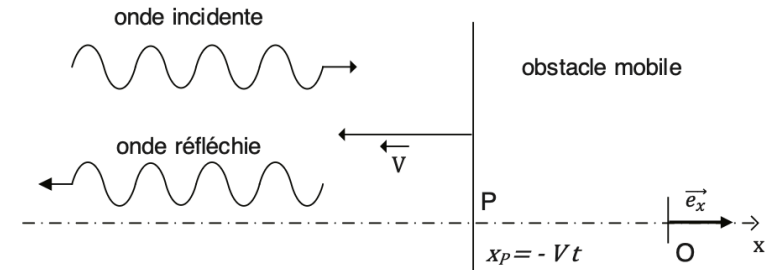


Figure 7 – Réflexion sur une interface plane mobile

On considère le cas d'ondes planes progressives, harmoniques se propageant suivant l'axe (O, \vec{e}_x) à la célérité c .

On adopte la notation complexe pour les surspressions instantanées et pour les vitesses instantanées.

On a donc pour l'onde incidente :

- $\underline{p}_i(x, t) = p_{i0} \exp[j(\omega_0 t - k_i x)]$
- $\underline{v}_i(x, t) = \underline{v}_i(x, t) \vec{e}_x = v_{i0} \exp[j(\omega_0 t - k_i x)] \vec{e}_x$;

pour l'onde réfléchiée :

- $\underline{p}_r(x, t) = p_{r0} \exp[j(\omega_r t + k_r x)]$
- $\underline{v}_r(x, t) = \underline{v}_r(x, t) \vec{e}_x = v_{r0} \exp[j(\omega_r t + k_r x)] \vec{e}_x$.

D1. Sachant que les vitesses instantanées incidentes $\underline{v}_i(x, t)$ et réfléchies $\underline{v}_r(x, t)$ vérifient l'équation de d'Alembert à une dimension : $\frac{\partial^2 \underline{v}}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 \underline{v}}{\partial t^2} = \vec{0}$, déterminer la relation reliant ω_0 et k_i ainsi que celle reliant ω_r et k_r .

D2. En considérant qu'au voisinage de l'interface la vitesse de la particule de fluide suivant l'axe (O, \vec{e}_x) est nulle dans le référentiel du laboratoire, déterminer la relation entre ω_0 , ω_r , k_i , k_r et V .

D3. En déduire que la pulsation ω_r de l'onde reçue par le récepteur à ultrasons, après réflexion de l'onde sonore émise à la pulsation ω_0 sur un obstacle mobile à la vitesse V est :

$$\omega_r = \omega_0 \frac{1 + \frac{V}{c}}{1 - \frac{V}{c}}$$

D4. Dans le cas où l'obstacle mobile est un chien voulant jouer avec le robot et se déplaçant à une vitesse de $V = 3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ vers ce dernier, justifier la relation : $\omega_r \approx \omega_0 \left(1 + 2 \frac{V}{c}\right)$.

Pour la suite du problème, on considère que $\omega_r = \omega_0 \left(1 + 2 \frac{V}{c}\right)$.

Détection hétérodyne

Pour prendre la décision adéquate : rebrousser immédiatement son chemin ou continuer encore son trajet, le robot doit déterminer la vitesse V de l'obstacle mobile. Pour cela on va effectuer une détection hétérodyne, c'est-à-dire qui exploite un décalage de fréquence. Dans un premier temps on multiplie la tension u_0 à laquelle a été soumise la lame de quartz par la tension u_r délivrée par le récepteur à ultrasons. Puis on filtre le signal u_e ainsi obtenu.

Formulaire mathématique : $\cos a \cos b = \frac{1}{2} [\cos(a + b) + \cos(a - b)]$

D5. Représenter sur un schéma-bloc les opérations effectuées sur les signaux $u_0(t)$ et $u_r(t)$ par la détection hétérodyne pour obtenir un signal dont l'amplitude est proportionnelle à la vitesse V recherchée.

On a : $u_0(t) = U_0 \cos(\omega_0 t)$, $u_r(t) = U_r \cos(\omega_r t + \varphi)$ et $u_e(t) = k \cdot u_0(t) \cdot u_r(t)$.

D6. Exprimer $u_e(t)$ comme une somme de composantes harmoniques puis représenter l'allure de son spectre en pulsation.

D7. Dans le cas où l'obstacle mobile est un chien voulant jouer avec le robot et se déplaçant à une vitesse de $V = 3,6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, avec $c = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $f_0 = 40 \text{ kHz}$, on désire ne conserver que la composante $\omega_r - \omega_0$ pour accéder à la valeur de V . Justifier ce choix. En déduire la nature du filtre nécessaire. Dans quel domaine de valeurs numériques doit se situer la pulsation de coupure ?

On cherche une réalisation simple de ce filtre, pour cela on étudie les 3 quadripôles suivants, pour lesquels on considère que l'intensité i_s du courant de sortie est nulle :

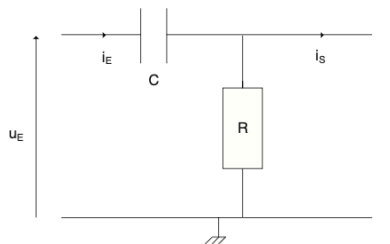


Figure 8-1 – Filtre n°1

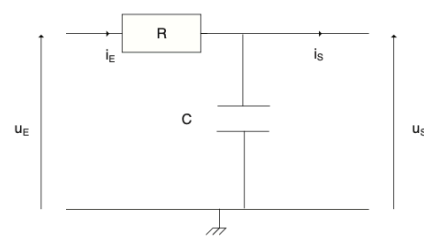


Figure 8-2 – Filtre n°2

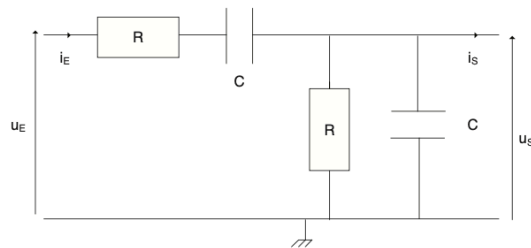


Figure 8-3 – Filtre n°3

D8. Analyser le comportement à basses et hautes fréquences des 3 quadripôles. Lequel de ces quadripôles réalise la fonction de filtrage désirée ?

D9. Déterminer l'expression de la fonction de transfert harmonique du filtre choisi. Exprimer la pulsation de coupure ω_c du filtre en fonction de R et C .

D10. On désire atténuer d'un facteur 100 l'amplitude de la composante haute fréquence du signal $u_e(t)$, déterminer la valeur de la pulsation de coupure ω_c du filtre. Quel est alors la valeur du facteur d'atténuation de la composante basse fréquence du signal ? Commenter.

Partie 2 - Transmission à l'entrée d'une fibre optique

Dans toute cette partie, on notera $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ la célérité de la lumière dans le vide.

L'indice de l'air est égal à 1.

Une fibre optique à saut d'indice, représentée en **figure 5**, est constituée d'un cœur cylindrique transparent d'indice $n_c = 1,500$ et de rayon r_c , entouré d'une gaine transparente d'indice $n_g = 1,485$. L'axe Ox de la fibre est normal au dioptre air-cœur. En raison de la symétrie de révolution de la fibre autour de l'axe Ox , on se restreint à une étude dans le plan (xOy) .

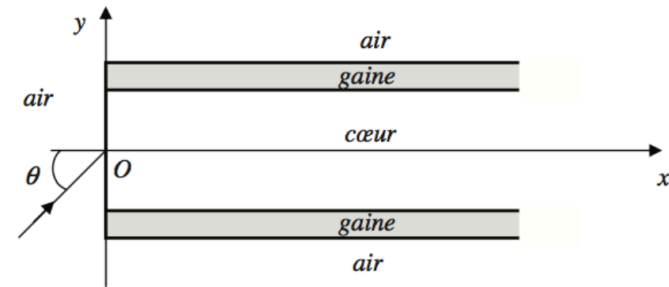


Figure 5 – Fibre optique à saut d'indice

Les lois de l'électromagnétisme montrent que seulement une fraction T de la puissance de la lumière injectée dans la fibre optique passe effectivement dans le cœur de celle-ci. Pour trouver, en considérant une incidence normale du faisceau lumineux vis-à-vis de la fibre, l'expression du coefficient T en fonction de n_a et n_c , nous allons considérer le cas d'une onde plane monochromatique. On s'intéresse au cas de deux milieux diélectriques transparents, 1 et 2, d'indices réels n_1 et n_2 , séparés par le plan d'équation $x = 0$ comme indiqué en **figure 13** de la page 12. On considère une onde électromagnétique incidente, de pulsation ω , polarisée rectilignement, qui se propage dans le milieu 1 en direction du milieu 2 normalement au dioptre. Le champ électrique de l'onde incidente, dans le milieu 1, a pour expression : $\vec{E}_1 = E_{01} \cdot e^{j(\omega t - k_1 \cdot x)} \cdot \vec{e}_y$. L'étude s'effectue dans le référentiel galiléen (\mathcal{R}) muni d'un repère cartésien $(O, \vec{e}_x, \vec{e}_y, \vec{e}_z)$.

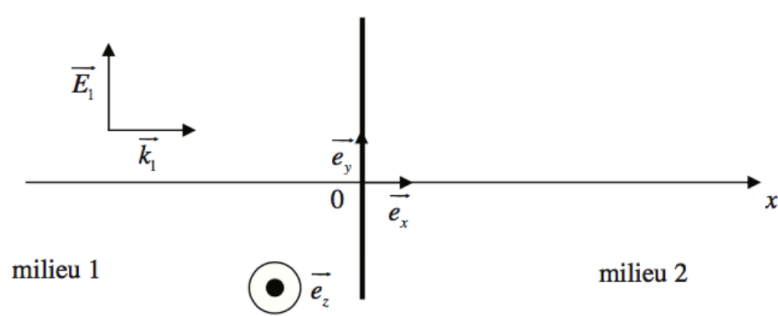


Figure 13 – Coefficient de transmission

Q43. Donner l'expression du vecteur champ magnétique \vec{B}_1 de l'onde incidente, dans le milieu 1. (en notation complexe) . On rappelle ici la relation $k = n \omega/c$ pour un milieu transparent

Q44. Le champ électrique de l'onde réfléchie, dans le milieu 1, a pour expression : $\vec{E}_r = E_{0r} \cdot e^{j(\omega t - \vec{k}_r \cdot \vec{x})} \cdot \vec{e}_y$. Quel lien existe-t-il entre le vecteur d'onde de l'onde réfléchie \vec{k}_r et le vecteur d'onde de l'onde incidente \vec{k}_1 ? Donner l'expression du vecteur champ magnétique \vec{B}_r de l'onde réfléchie, dans le milieu 1. et de \vec{B}_r

Q45. Les champs électromagnétiques de l'onde transmise dans le milieu 2 ont pour expression : $\vec{E}_2 = E_{02} \cdot e^{j(\omega t - k_2 \cdot x)} \cdot \vec{e}_y$ et $\vec{B}_2 = \frac{n_2}{c} \cdot E_{02} \cdot e^{j(\omega t - k_2 \cdot x)} \cdot \vec{e}_z$. On admet la continuité du champ électromagnétique. Après avoir représenté sur une même figure les vecteurs \vec{k}_1 , \vec{E}_1 , \vec{B}_1 , \vec{k}_r , \vec{E}_r , \vec{B}_r , \vec{k}_2 , \vec{E}_2 et \vec{B}_2 , indiquer les deux relations qui lient E_{01} , E_{0r} et E_{02} . En déduire, en fonction de n_1 et n_2 , l'expression du coefficient en amplitude τ défini par : $E_{02} = \tau \cdot E_{01}$. Y-a-t-il un changement de phase lors de la transmission ?

Q46. Pour un milieu transparent, d'indice n réel, la valeur moyenne du vecteur de Poynting associé à une onde électromagnétique a pour expression : $\langle \vec{R} \rangle = \frac{1}{2} \text{Re} \left(\frac{\vec{E} \wedge \vec{B}^*}{\mu_0} \right)$. Donner les expressions :
de la valeur moyenne du vecteur de Poynting $\langle \vec{R}_1 \rangle$ associé à l'onde électromagnétique incidente du milieu 1 en fonction de E_{01} , E_{01}^* , n_1 , μ_0 , c et d'un vecteur unitaire,
et de la valeur moyenne du vecteur de Poynting $\langle \vec{R}_2 \rangle$ associé à l'onde électromagnétique transmise dans le milieu 2 en fonction de E_{02} , E_{02}^* , n_2 , μ_0 , c et d'un vecteur unitaire.
En déduire l'expression du facteur de transmission en puissance T entre les milieux 1 et 2 (en incidence normale et pour des milieux transparents) en fonction de n_1 , n_2 et τ , puis en fonction uniquement de n_1 et n_2 .

Q47. En considérant une incidence normale en entrée et en sortie de fibre du faisceau lumineux, le coefficient de transmission entre l'air et le cœur de la fibre a pour expression $T = \frac{4 \cdot n_a \cdot n_c}{(n_a + n_c)^2}$. Sans tenir compte des pertes à l'intérieur de la fibre, calculer la perte de puissance totale, en décibels, entre l'entrée et la sortie de la fibre. Commenter ce résultat.

Partie 3 - Suspension magnétorhéologique

I Mise en situation



Figure 1 – Mise en œuvre de la suspension sur un véhicule

La suspension sur un véhicule est le terme donné au système composé des ressorts, des amortisseurs et des liaisons mécaniques qui connectent le châssis du véhicule aux roues.

Dans une suspension, l'amortisseur joue un rôle central en répondant à un double objectif : il contraint l'élasticité du ressort de suspension et limite ainsi les mouvements oscillatoires du véhicule ; il freine le rebond des roues sur les obstacles et maintient celles-ci en contact avec le sol.

La modification continue de l'état de la route et des exigences sur la tenue en virage oblige à modifier les caractéristiques de réponses des suspensions. C'est le cas de cette suspension qui est capable de faire varier la raideur de l'asservissement roue par roue. Pour contenir les mouvements de caisse et préserver le confort sur chaussée dégradée, la vitesse de déplacement de la suspension devra être très précise.

Ce sujet concerne donc la caractérisation d'un nouveau type de suspension utilisant un fluide magnéto-rhéologique et son asservissement.

Les exigences désirées par les constructeurs l'utilisant (Audi, Ferrari,...) sont fournies et représentées dans le **tableau 1**.

Exigences	Critères	Valeur
1.1 La suspension doit être rapide pour s'adapter à la route	Temps de réponse à un échelon ($Tr_{5\%}$)	< 35 ms
1.2 Le système doit résister au poids de la voiture	Charge maximale sur l'amortisseur	< 800 kg
1.3 L'asservissement du système doit être stable	Marge de phase	> 45°

Tableau 1

La suspension magnéto-rhéologique (MR), ou MagneRide (dénomination commerciale), fait appel à des amortisseurs à orifices fixes et fluide magnéto-rhéologique. En cas de besoin de raidissement, les bobines électriques à la périphérie de l'orifice sont alimentées en courant, ce qui provoque l'attraction des particules souples magnétisées en suspension dans le fluide et augmente la résistance à l'écoulement.

L'amortisseur est constitué d'un fluide enfermé dans un cylindre de révolution d'axe (Oz). À l'intérieur de ce cylindre se trouve un piston, de même diamètre que le cylindre, percé d'une valve. On suppose que le piston coulisse sans frottements à l'intérieur du cylindre.

Le corps du piston est constitué d'un matériau ferromagnétique doux (acier) et d'une bobine parcourue par un courant électrique d'intensité i . Le tout forme un circuit magnétique dont la valve est l'entrefer.

Lorsque le véhicule roule sur une infractuosité de la route, le piston se déplace dans le cylindre et le fluide passe d'un côté à l'autre du piston en s'écoulant par la valve.

La modélisation hydrodynamique de cette écoulement conduit à une force d'amortissement de la suspension proportionnelle à la vitesse verticale de la suspension par l'intermédiaire d'un coefficient d'amortissement qui dépend de la viscosité du fluide magnéto-rhéologique et qui peut-être piloté par action magnétique.

$$\vec{F} = -\alpha \vec{V}$$

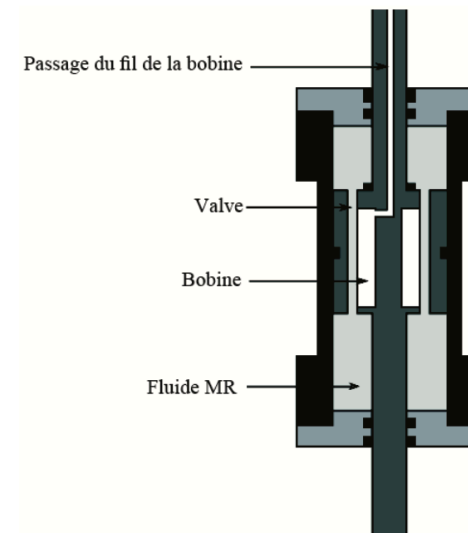


Figure 4 – Amortisseur à fluide magnéto-rhéologique

Sur les **figure 5.(b)** et **figure 5.(c)** et dans toutes les suivantes, le fluide circule dans la partie annulaire en gris foncé.

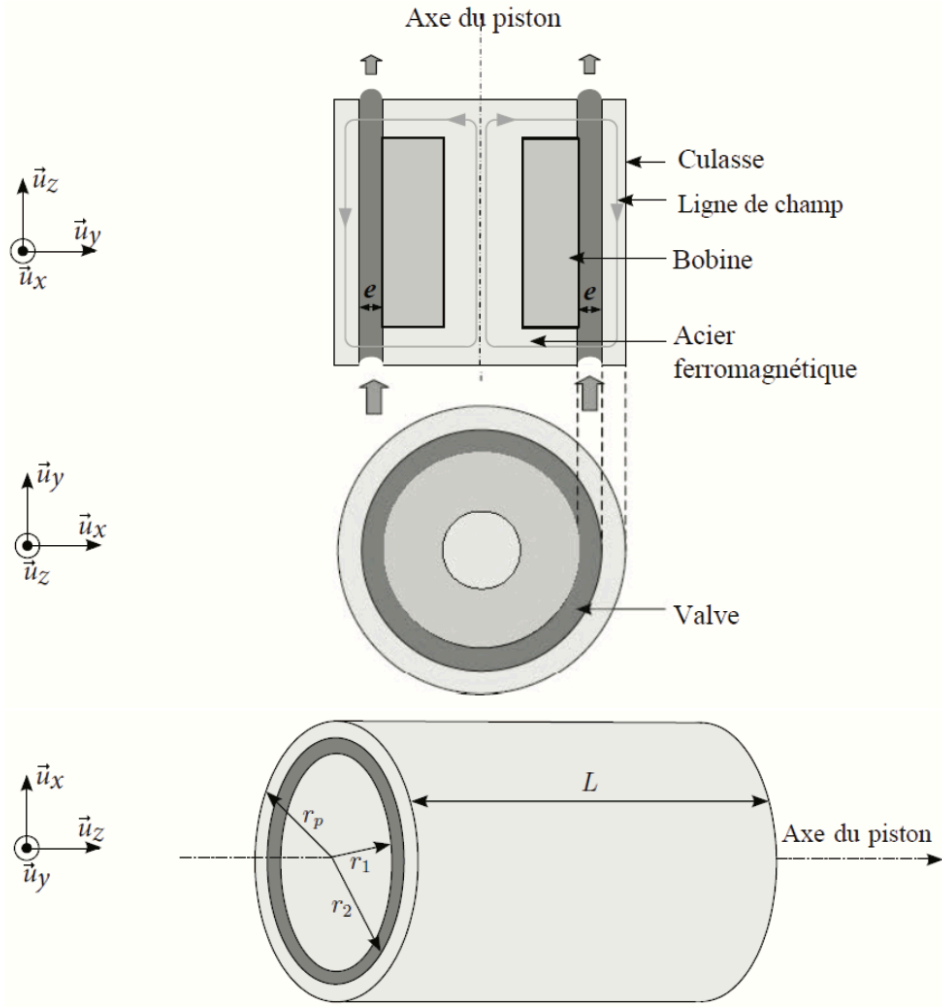


Figure 5 – Schématisation de l’amortisseur à fluide magnétorhéologique

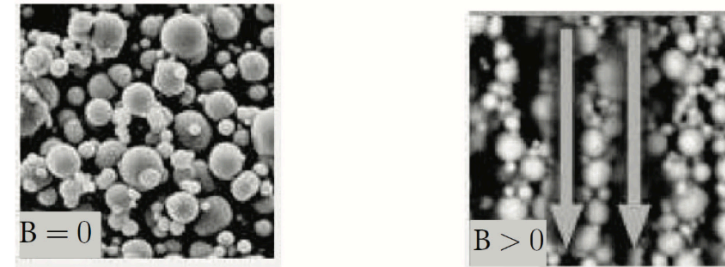
III.2 Influence du caractère ferromagnétique du fluide

Objectif

Caractériser le facteur d’amortissement α de l’amortisseur.

Le fluide magnétorhéologique est une suspension colloïdale de particules ferromagnétiques (typiquement du fer) d’un diamètre compris entre $0,1 \mu\text{m}$ et $10 \mu\text{m}$. Les particules ferromagnétiques s’organisent sous forme d’agrégats sous l’action d’un champ magnétique et altèrent les propriétés du fluide qui semble changer de viscosité d’un point de vue macroscopique. Sous l’action d’un champ magnétique, les particules ferromagnétiques s’organisent sous forme de chaînes selon la direction du champ magnétique \vec{B} (figure 7). Le mécanisme de formation des agrégats lors de l’application d’un champ magnétique est représenté figure 8.

(a)



(b)

Figure 7 – Image au microscope électronique des particules ferromagnétiques du fluide MR sans champ magnétique (à gauche) et en présence d’un champ magnétique (à droite)

(c)

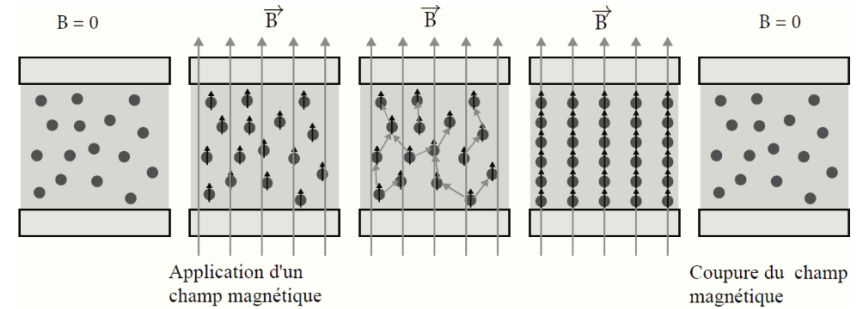


Figure 8 – Schématisation de la formation des agrégats de particules de fer lors de l’application d’un champ magnétique

Q16. En présence d’un champ magnétique, expliquer qualitativement la formation des agrégats de particules ferromagnétiques (figure 8).

Q17. En considérant la figure 9, sur quelle plage de vitesse peut-on considérer que l’amortisseur exerce sur la roue une force d’amortissement de la forme $\vec{F} = -\alpha(H)\vec{V}$? Est-ce acceptable?

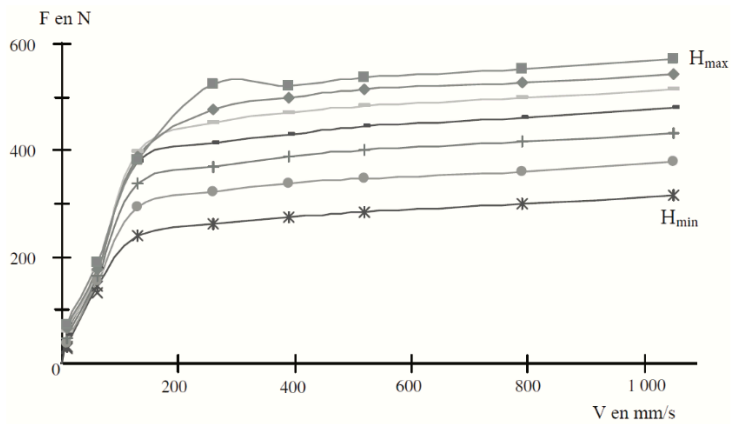


Figure 9 – Évolution de la norme de la force d’amortissement F en fonction de celle de la vitesse du piston V pour différentes valeurs de l’excitation magnétique H dans la valve

Q18. Le temps de formation caractéristique des agrégats est de 3 ms. Ce temps de réponse est-il acceptable ?

III.3 Modélisation du circuit magnétique et du circuit électrique de la bobine

Objectif

Modéliser le circuit magnétique et le circuit électrique permettant de contrôler α . Vérifier que le temps de réponse du système est en accord avec le cahier des charges.

Le circuit magnétique du piston est représenté **figure 10**. On supposera que l’acier et le fluide MR sont des milieux ferromagnétiques doux. Le vecteur excitation magnétique est noté \vec{H} et on suppose que le circuit magnétique canalise la totalité des lignes de champ magnétique. On négligera les pertes fer dans l’acier.

Q19. Rappeler les équations de Maxwell-Ampère et de Maxwell-Thomson.

Q20. Définir ce qu’est l’approximation des régimes quasi-stationnaires (ARQS) et simplifier l’équation de Maxwell-Ampère dans ce cadre.

On se place maintenant et pour toute la suite dans le cadre de l’ARQS.

Q21. Retrouver le théorème d’Ampère à partir de l’équation de Maxwell-Ampère.

On considère un solénoïde infiniment long de section circulaire de rayon δ , comportant n spires jointives par unité de longueur régulièrement réparties et parcourues par un courant d’intensité i .

Q22. Établir l’expression du champ magnétique créé par ce solénoïde infini en admettant que le champ extérieur est nul.

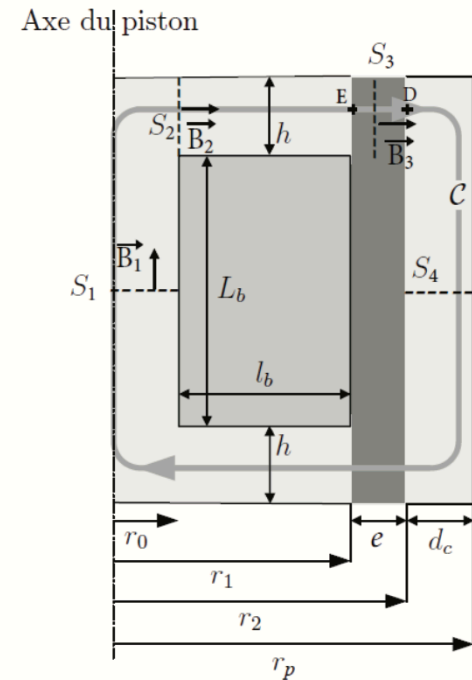
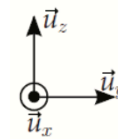


Figure 10 – Schématisation du circuit magnétique du piston

Q23. Que pouvez-vous dire des lignes de champ magnétique dans le cas d’un solénoïde infini ?

Q24. Dessiner l’allure des lignes de champ magnétique dans le cas d’un solénoïde de longueur finie. Rappeler le lien entre l’équation de Maxwell-Thomson et l’allure des lignes de champ que vous venez de tracer.

Q25. Dans le cas du solénoïde infini, exprimer le flux magnétique φ à travers une spire.

Q26. On note N_l le nombre total de spires et l la longueur du solénoïde. Exprimer, toujours en considérant le solénoïde comme infini, le flux propre Φ_p à travers les N_l spires. En déduire l’expression de l’inductance propre L_p de ce solénoïde.

On considère que le vecteur excitation magnétique et le champ magnétique sont uniformes au niveau de la bobine et dans l’entrefer.

On note :

$$\vec{H}_1 = H_1 \vec{u}_z \text{ et } \vec{B}_1 = B_1 \vec{u}_z \text{ au niveau de la bobine ;}$$

$$\vec{H}_3 = H_3 \vec{u}_r \text{ et } \vec{B}_3 = B_3 \vec{u}_r \text{ entre E et D (entrefer).}$$

Q27. Au vu de ce qui précède, justifier cette modélisation.

Q28. Rappeler la relation entre \vec{B} et \vec{H} pour un milieu ferromagnétique doux.

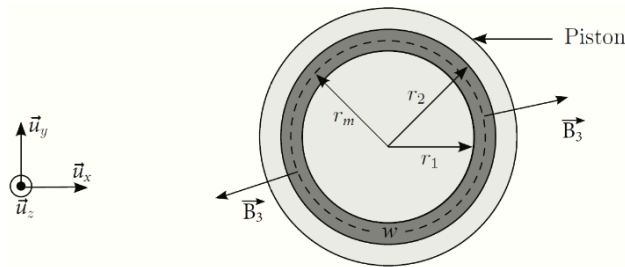


Figure 11 – Vue en coupe transversale du piston

Q29. Donner la relation liant B_3 , B_1 , la section $S_1 = \pi r_0^2$ de la partie interne du piston, le rayon moyen r_m de l'entrefer et la hauteur h de l'entrefer. Une vue en coupe transversale du piston est représentée **figure 11**.

Q30. Évaluer la norme du champ magnétique le long du contour C , représenté sur la **figure 10**. En déduire que la circulation de \vec{H} sur le contour C , vérifie :

$$\oint_C \vec{H} \cdot d\vec{l} \approx 2eH_3. \quad (8)$$

Q31. Appliquer le théorème d'Ampère au contour C . En déduire qu'une modification de l'intensité du courant circulant dans la bobine permet de modifier le facteur d'amortissement α de l'amortisseur.

Q32. Montrer que l'inductance propre L' de la bobine vérifie, en présence du fluide, $L' = \mu_2 L_0$ où L_0 est l'inductance propre de la bobine en absence de fluide ($\mu_2 = 1$).

Q33. Proposer une modélisation pour la bobine réelle en justifiant l'origine physique des composants idéaux qui la composent, à savoir une inductance L' et une résistance R_b . Faire un schéma électrique équivalent de la bobine réelle.

Q34. On soumet la bobine à un échelon de tension : $U_e(t) = E$ pour $t > 0$. Établir l'équation différentielle vérifiée par l'intensité $i(t)$ du courant électrique circulant dans la bobine. Donner l'expression du temps caractéristique d'évolution de l'intensité du courant circulant dans la bobine.

Q35. Sachant que $R_b = 1,7 \Omega$, vérifier la cohérence des résultats expérimentaux (**figure 12**) avec l'expression de L' trouvée question **Q32**.

Q36. Conclure sur la possibilité d'adapter en "temps réel" le facteur d'amortissement d'un amortisseur à fluide magnétorhéologique.

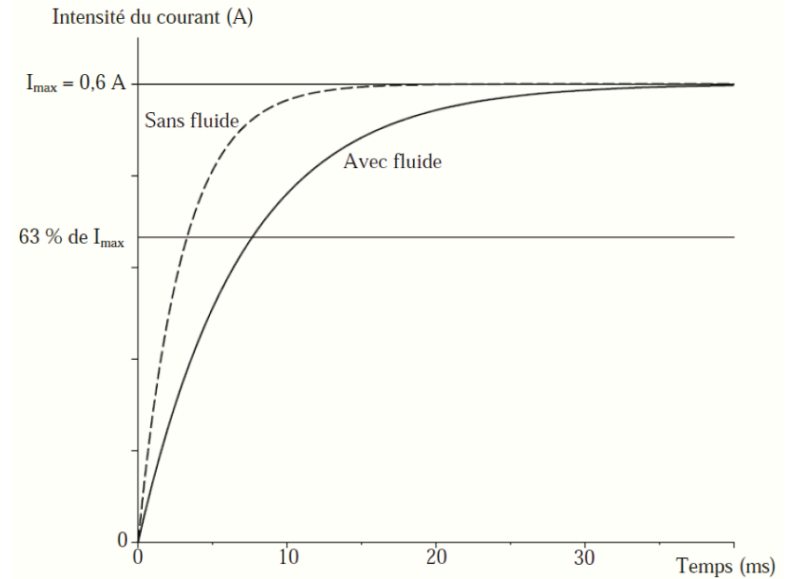


Figure 12 – Réponse à un échelon de tension de la bobine en présence ou non du fluide MR dans le piston

