

Interrogation de Physique n° 1 – semestre 4

Lundi 14 mars 2022

Durée : 1h30

Barème indicatif : exercice 1 sur 8 points, exercice 2 sur 12 points.

Sans document, calculatrice autorisée.

Seront évalués non seulement vos résultats, mais surtout votre capacité à les justifier clairement et à les analyser ensuite de manière critique. Le barème est donné à titre indicatif.

**Exercice 1 : Onde électromagnétique entre 2 plaques conductrices (~8 pts)**

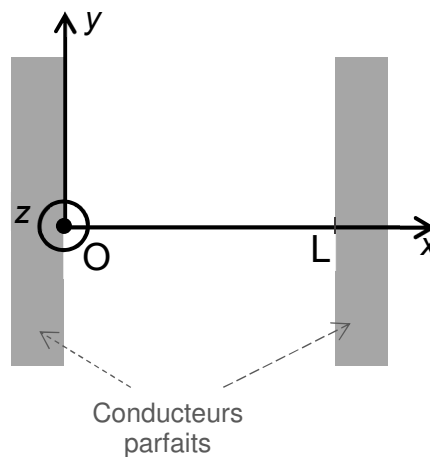


Figure 1 – Schéma de la disposition des deux plaques conductrices.

Dans le vide, on dispose 2 plaques **parfaitement conductrices** (de conductivité électrique  $\gamma \rightarrow +\infty$ ) en  $x = 0$  et en  $x = L$  (voir Figure 1). Les plaques sont considérées infinies selon  $y$  et  $z$ . On injecte entre ces 2 plaques une onde électromagnétique dont le champ électrique  $\vec{E}$  a une pulsation  $\omega$ , est polarisé rectilignement selon  $\vec{u}_y$ , et se propage selon  $\vec{u}_x$  dans le sens des  $x$  croissants.

On considère que les lois de Snell-Descartes sont vérifiées et **que tous les champs électriques existant entre les deux plaques ont la même direction de polarisation**.

1. Que se passe-t-il ?
2. Par une démonstration rigoureuse, en n'omettant aucune étape de votre raisonnement, déterminez une expression de  $\vec{E}_{\text{tot}}(x, t)$ , le champ électrique total qui s'installe entre les 2 plaques.

On injecte maintenant une superposition d'une infinité d'ondes de pulsations comprises entre  $2 \times 10^9 \text{ rad.s}^{-1}$  et  $3 \times 10^9 \text{ rad.s}^{-1}$ . On donne  $L = 1 \text{ m}$ .

3. Pourquoi peut-on dire que ce dispositif fonctionne comme un filtre ? Justifiez la valeur de  $\omega$  conservée par ce filtre et tracez l'allure de l'amplitude du champ électrique total entre les deux plaques, en fonction de  $x$  compris entre 0 et  $L$ .

## Exercice 2 : Contrôle non destructif aux ultrasons (~12 pts)

On s'intéresse au principe physique du contrôle non destructif de pièces mécaniques par l'utilisation d'ondes ultrasonores. Un émetteur piézoélectrique génère, en  $x = -e$ , une impulsion dans une fine couche de gel (épaisseur  $e = 50 \mu\text{m}$ ) déposée à la surface d'un bloc en aluminium (épaisseur  $L \gg e$ ), tel que schématisé en Figure 2. Les masses volumiques et les vitesses du son dans ces différents éléments sont données dans le Tableau 1.

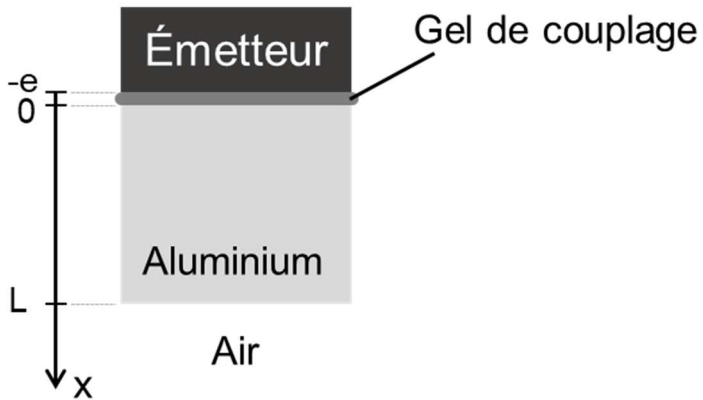


Tableau 1 - Vitesse du son ( $V$ ) et masse volumique ( $\rho$ ) dans les différents milieux.

	$V \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$	$\rho \text{ (kg.m}^{-3}\text{)}$
Gel couplage	1500	1000
Aluminium	6400	2700
Air	330	1,2

Figure 2 – Schéma du dispositif étudié.

Par simplicité, on considère que l'émetteur produit **une impulsion de surpression dans le gel** (en  $x = -e$ ), en incidence normale, de forme Gaussienne (voir Figure 3) et d'expression :

$$p_0(-2a < t < +2a) = P_0 e^{-\left(\frac{t^2}{2a^2}\right)}$$

$$p_0(t) = 0 \text{ pour } t > 2a \text{ et } t < -2a$$

où  $a = 5 \times 10^{-9} \text{ s}$ , et  $4a$  peut être considéré comme la largeur temporelle de l'impulsion.

On rappelle que l'impédance acoustique vaut  $Z = \rho V$ .

Dans l'intégralité de l'exercice, on considèrera qu'il n'y a **pas de réflexions à l'interface entre l'émetteur et le gel de couplage.**

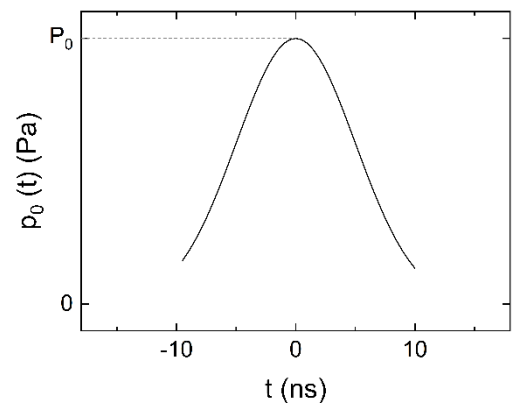


Figure 3 – Impulsion de surpression dans le gel de couplage (en  $x = -e$ ).

### A. Propagation de l'impulsion acoustique

**Question Bonus :** Donnez l'expression de  $p_1(x, t)$ , l'impulsion acoustique se propageant dans le gel de couplage, vers les  $x$  croissants.

1. Quelle est l'étendue spatiale de l'impulsion, qu'on appellera  $D$ , dans le gel ? Au bout de combien de temps le maximum de l'impulsion arrive à l'interface gel/aluminium ? Faites les applications numériques.
2. On considère dans cette question que le gel de couplage et l'aluminium sont des milieux semi-infinis. Grâce à des relations de continuité à l'interface gel/aluminium, exprimez les coefficients de réflexion et de transmission (en amplitude de la surpression),  $r$  et  $t$ , en fonction des impédances acoustiques. Faites les applications numériques.
3. Étant donnée la perturbation étudiée ici, justifiez, sans calculs compliqués, que l'hypothèse de milieux semi-infinis s'applique bien à l'interface gel/aluminium et aussi à l'interface aluminium/air.
4. À quel instant  $t_1$  l'impulsion a-t-elle complètement quitté l'interface gel/aluminium ? Tracez l'allure de la surpression observée dans chacun des milieux en fonction de  $x$ , à  $t = t_1$ . Indiquez clairement les valeurs remarquables de la surpression et de  $x$ .

5. Tracez l'allure de la surpression observée à  $t = t_1 - 2a$ . Indiquez clairement les valeurs remarquables de la surpression et de  $x$ .
6. Que valent les coefficients  $r'$  et  $t'$  (en amplitude de la surpression) pour l'interface aluminium/air, en  $x = L$  ? Commentez ce résultat. Tracez l'allure des surpressions incidente ( $p_i'$ ), réfléchie ( $p_r'$ ) et transmise ( $p_t'$ ) en fonction de  $x$ , à  $t_2 = \frac{e}{V_{\text{gel}}} + \frac{L}{V_{\text{Al}}}$ , où  $V_{\text{Al}}$  est la vitesse du son dans l'aluminium,  $V_{\text{gel}}$  dans le gel.

## B. Application à la détection de défauts

L'émetteur piézoélectrique joue aussi le rôle de capteur de pression. Au moment de l'émission du maximum de l'impulsion, un chronomètre est déclenché et l'émetteur devient un capteur d'intensité acoustique instantanée  $I = \frac{p^2}{z}$ .

On suspecte la **présence d'une fissure** dans la plaque et on utilise le dispositif pour confirmer cette hypothèse. En Figure 4 est reporté le diagramme de l'intensité acoustique captée en fonction du temps à partir de l'émission de l'impulsion acoustique (l'impulsion incidente n'y est donc pas représentée). On a limité l'échelle du temps aux 3 premiers événements. Pour simplifier le problème, on considère **qu'il n'y a pas de réflexions au niveau du récepteur** et que la **Figure 4 donne directement les intensités acoustiques des ondes dans le gel**, (obtenues en appliquant un facteur adéquat sur ce que mesure le récepteur).

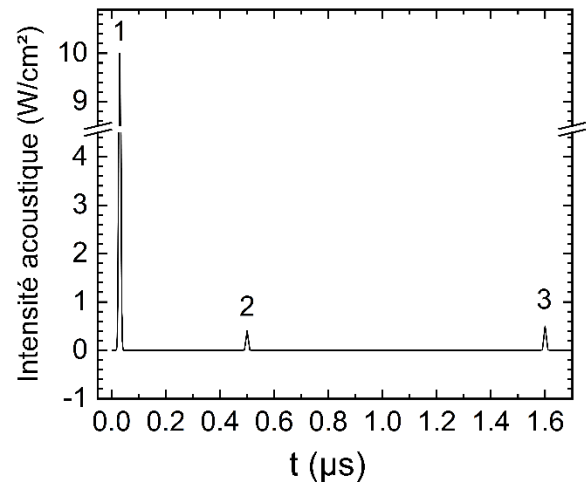


Figure 4 - Diagramme de l'intensité acoustique en fonction du temps après l'émission d'une impulsion acoustique. Les valeurs reportées sont celles existant dans le gel.

7. Donnez l'origine physique des pics présents sur la Figure 4. À partir d'une lecture graphique, déduisez : l'épaisseur  $L$  de la plaque d'aluminium et la profondeur de la fissure.

On rappelle que le coefficient de réflexion **en intensité**,  $R$ , vaut  $R = r^2$ . Il est lié au coefficient de transmission en intensité,  $T$ , par la relation  $R + T = 1$ .

En se plaçant au-dessus d'une **zone non fissurée** de la plaque d'aluminium, on obtient seulement deux pics (voir Figure 5), avec des amplitudes (dans le gel) d'environ  $I_1 \approx 10 \text{ W.cm}^{-2}$  pour le pic 1 et  $I_3 \approx 1 \text{ W.cm}^{-2}$  pour le pic 3.

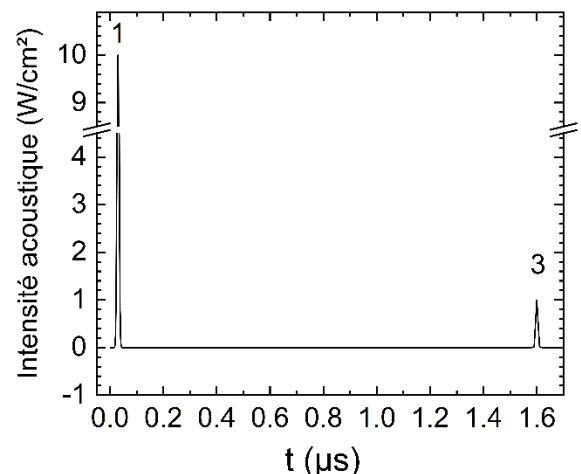


Figure 5 - Diagramme de l'intensité acoustique en fonction du temps, obtenu dans une zone non fissurée. Les valeurs reportées sont celles existant dans le gel.

8. En raisonnant sur l'intensité acoustique, déterminez la valeur approximative de l'intensité acoustique incidente maximale émise **dans le gel**,  $I_0$ . Déterminez par un calcul simple la valeur théorique de l'intensité du pic 3 (toujours dans le gel), puis commentez la valeur mesurée.