

**DS 5 -- Thermochimie – E-pH – Ondes (18/02/2017 – 4h)**Extrait des Instructions générales des concours

Les candidats sont invités à porter une attention particulière à la rédaction : les copies illisibles ou mal présentées seront pénalisées.

**Si les résultats ne sont pas soulignés ou encadrés, il sera retiré 1 point /20 à la note finale.**

Si un candidat est amené à repérer ce qui peut lui sembler être une erreur d'énoncé, il le signalera sur sa copie et devra poursuivre sa composition en expliquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

Toute réponse non justifiée ne donnera pas lieu à l'attribution de points.

Toute application numérique ne comportant pas d'unité ne donnera pas lieu à l'attribution de points.

Les différents exercices sont indépendants et peuvent être traités dans l'ordre choisi par le candidat. Il prendra toutefois soin de bien numéroter les questions.

Vous numéroterez toutes vos pages. Si vous rendez 5 pages, vous devez numéroter 1/5, 2/5, 3/5, etc.

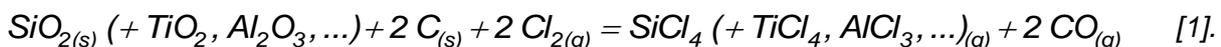
**Aucune sortie n'est autorisée avant 12h****Problème 1 : Elaboration de silice ultra pure (adapté de E3A PSI 2014)**Données numériques en fin d'énoncé

Dans le cadre de l'élaboration d'aérogels (matériaux semblables à un gel où le composant liquide est remplacé par un gaz), comme pour la réalisation de fibres optiques à très faible atténuation, il est nécessaire d'obtenir de la silice présentant de très hauts niveaux de pureté.

La démarche est réalisée en deux étapes : fabrication de tétrachlorure de silicium  $\text{SiCl}_4$ , (composé liquide de 204 K à 330 K, puis gazeux au-delà) dans un premier temps, puis l'oxydation de  $\text{SiCl}_4$  en silice  $\text{SiO}_2$ .

**Fabrication du tétrachlorure de silicium**

La première étape métallurgique est une **chloration du dioxyde de silicium en présence de carbone**, suivant la réaction :



Les composés notés entre parenthèses participent à la réaction mais ne seront pas pris en compte dans les questions qui suivent.

Le sable, contenant une forte proportion de  $\text{SiO}_2$ , est introduit dans le four préalablement chauffé à 900 K ; l'injection de dichlore gazeux réalise un lit fluidisé. Du carbone finement broyé est alors introduit ; il s'enflamme instantanément, ce qui permet d'assurer dans le four une température de 1100 K.

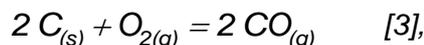
D'un point de vue thermodynamique, étudions d'abord la réaction :



**H1.** A l'aide des données thermodynamiques fournies et en se plaçant dans le cadre de l'approximation d'Ellingham, déterminer l'enthalpie standard de réaction, l'entropie standard de réaction et l'enthalpie libre standard de la réaction [2] à 1100 K.

**H2.** Calculer l'enthalpie libre de réaction de la réaction [2] dans les conditions suivantes :  $T = 1100 \text{ K}$ ,  $p(\text{Cl}_2) = 0,4 \text{ bar}$ ,  $p(\text{SiCl}_4) = 0,2 \text{ bar}$ ,  $p(\text{O}_2) = 0,2 \text{ bar}$  et  $p^\circ = p_{\text{atm}} = 1 \text{ bar}$ . Conclure.

La réaction [2] est maintenant couplée avec la réaction :



dont l'enthalpie libre standard s'écrit :  $\Delta_r G_3^\circ(T) = -221 - 0,179 T \text{ (kJ.mol}^{-1}\text{)}$ .

**H3.** Calculer l'enthalpie libre de la réaction [3] à 1100 K, sachant que  $p(\text{O}_2) = 0,2 \text{ bar}$  et  $p(\text{CO}) = 0,4 \text{ bar}$ .

**H4.1.** Justifier quantitativement le couplage possible des réactions [2] et [3] pour obtenir le tétrachlorure de titane  $\text{SiCl}_4$  sous forme gazeuse... J'ajoute pour aider : remarquer que  $[1] = [2] + [3]$ , en déduire l'enthalpie libre de la réaction [1]. Répondre alors à la question posée par l'énoncé.

**H4.2.** Calculer la variance du système chimique soumis aux trois réactions  $[1] = [2] + [3]$ . On dénombre les paramètres intensifs en les nommant explicitement, ainsi que les relations qui les lient.

Quelle est l'influence d'une augmentation de la température sur le déplacement de l'équilibre [1] ? Conclure quant au rôle joué par le carbone.

Quelle serait l'influence sur l'équilibre [1] d'une augmentation de pression ?

Quelle serait l'influence sur l'équilibre [1] d'un ajout de  $\text{CO}_{(g)}$  ?

A la sortie du four, un mélange gazeux contenant  $\text{SiCl}_4$ ,  $\text{TiCl}_4$ ,  $\text{AlCl}_3$  est obtenu. Les chlorures autres que  $\text{SiCl}_4$  sont éliminés par condensation fractionnée (non étudiée ici).  $\text{SiCl}_4$  est conservé sous forme liquide.

### Oxydation du tétrachlorure de silicium en silice ultra pure

La seconde étape, réalisée à la pression atmosphérique, consiste à faire réagir de façon homogène  $\text{SiCl}_4$  et le dioxygène en phase vapeur à l'intérieur d'un tube de quartz dans une zone chaude (1800 K) selon la réaction :  $\text{SiCl}_{4(g)} + \text{O}_{2(g)} = \text{SiO}_{2(s)} + 2 \text{Cl}_{2(g)} \quad [4].$

**H5.** Justifier le caractère total de la réaction [4].

En supposant que les réactifs sont introduits en proportion stœchiométrique, déterminer la pression partielle résiduelle de  $\text{SiCl}_4$  dans la phase gazeuse à l'équilibre final.

## DONNEES NUMÉRIQUES

Masses molaires atomiques ( $\text{g.mol}^{-1}$ ) : H : 1,00 ; O : 16,0 ; Si : 28,1 ; Cl : 35,5

Électronégativités de Pauling ( $\text{eV}^{1/2}$ ) : O : 3,5 ; Si : 1,8

Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$

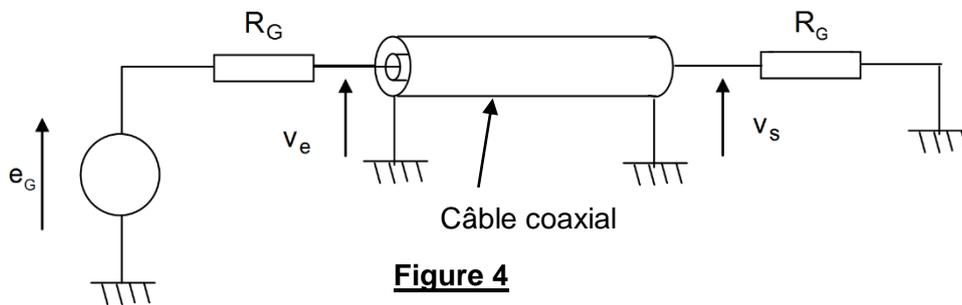
Constante des gaz parfaits :  $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$

## DONNÉES THERMODYNAMIQUES

Élément ou composé	Enthalpie standard de formation à 298 K $\Delta_f H^\circ$ (kJ.mol <sup>-1</sup> )	Entropie molaire standard à 298 K $S^\circ$ (J.K <sup>-1</sup> .mol <sup>-1</sup> )	Température de fusion $T_f$ (K)	Température de vaporisation $T_e$ (K)
Si (s)	0	18,8	1683	2630
SiO <sub>2</sub> (s)	- 910	41,8	1883	2503
SiCl <sub>4</sub> (liq)	- 687	240		
SiCl <sub>4</sub> (g)	- 657	331		
C (s)	0	5,70		
CO (g)	- 110	198		
O <sub>2</sub> (g)	0	205		
Cl <sub>2</sub> (g)	0	223		

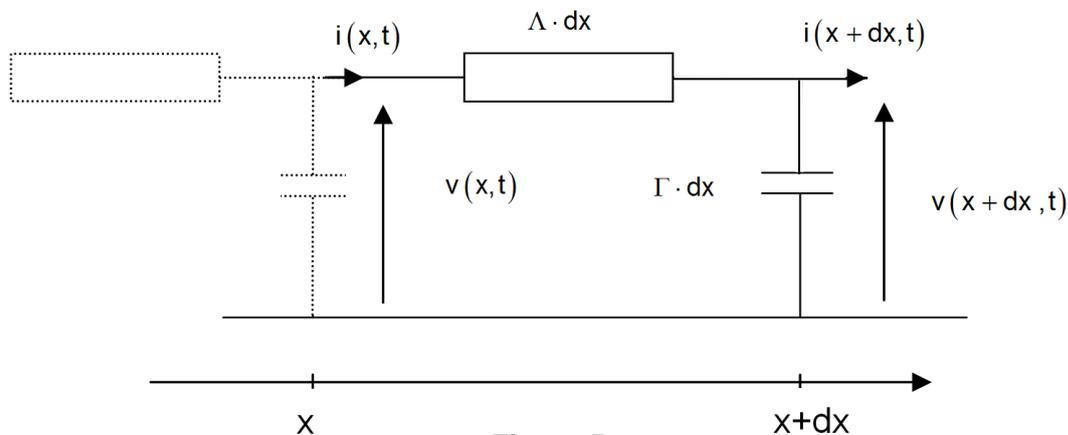
### Problème 2 : Câble coaxial (E3A PSI modélisation 2015)

On étudie un câble coaxial d'axe (Ox), de longueur  $\ell_L$  intercalé entre le générateur et la charge équivalente adaptée en puissance étudiée précédemment. Le schéma équivalent est donné par la figure 4 où  $e_G$  est la fem du générateur.



**Figure 4**

On admet que la portion de câble comprise entre les plans de section droite repérés par  $x$  et par  $x + dx$  peut être modélisée par le circuit de la figure 5. Elle possède une capacité  $\Gamma dx$  entre les conducteurs et une inductance propre  $\Lambda dx$  entre les sections d'entrée et de sortie. La tension entre l'âme et la gaine du câble s'écrit  $v(x,t)$  et le courant traversant une section de l'âme est  $i(x,t)$ .



**Figure 5**

**B1.** Démontrer les relations suivantes :  $\frac{\partial v}{\partial x} = -\Lambda \frac{\partial i}{\partial t}$  et  $\frac{\partial i}{\partial x} = -\Gamma \frac{\partial v}{\partial t}$ .

**B2.** En déduire l'équation de propagation vérifiée par  $v(x,t)$  et  $i(x,t)$ . Exprimer  $c_L$  la vitesse de propagation.

On admet que les solutions générales sont de la forme :  $v(x,t) = v_1(t - x/c_L) + v_2(t + x/c_L)$  et  $i(x,t) = i_1(t - x/c_L) + i_2(t + x/c_L)$ .

**B3.** Interpréter les significations physiques des grandeurs d'indice 1 et 2. Illustrer avec un graphique et expliquer.

Le générateur de tension (Fig. 4) de fem interne  $e_G$  et de résistance interne  $R_G$  impose un régime sinusoïdal forcé de pulsation  $\omega$  dans le câble coaxial. Les grandeurs  $v_1, v_2, i_1$  et  $i_2$  précédentes deviennent des fonctions sinusoïdales dépendant de  $\omega(t - x/c_L)$  pour les grandeurs d'indice 1 et de  $\omega(t + x/c_L)$  pour les grandeurs d'indice 2. On pose :  $k_L = \frac{\omega}{c_L}$ .

**B4.** En utilisant la notation complexe, montrer que :  $v_1(t - x/c_L) = R_C \cdot i_1(t - x/c_L)$  et  $v_2(t + x/c_L) = -R_C \cdot i_2(t + x/c_L)$  où  $R_C$  est la résistance caractéristique du câble. Exprimer  $R_C$  en fonction de  $\Gamma$  et de  $\Lambda$ . Vérifier l'homogénéité.

La résistance équivalente  $R_G$  est branchée en sortie du câble. Les grandeurs à l'entrée du câble sont notées avec l'indice e et les grandeurs à la sortie du câble avec l'indice s de sorte que :

$v_e(t) = v(0,t)$ ,  $v_s(t) = v(\ell_L, t)$ ,  $i_e(t) = i(0,t)$  et  $i_s(t) = i(\ell_L, t)$ . Avec la notation complexe :

$$\underline{v}_1 = \underline{V}_{10} \cdot e^{j(\omega t - k_L x)}, \underline{v}_2 = \underline{V}_{20} \cdot e^{j(\omega t + k_L x)}, \underline{i}_1 = \left(\underline{V}_{10}/R_C\right) \cdot e^{j(\omega t - k_L x)}, \underline{i}_2 = -\left(\underline{V}_{20}/R_C\right) \cdot e^{j(\omega t + k_L x)}$$

où  $\underline{V}_{10}$  et  $\underline{V}_{20}$  sont des nombres complexes constants. On utilisera les amplitudes complexes  $\underline{V}(x)$  et  $\underline{I}(x)$  associées à  $v(x,t)$  et  $i(x,t)$  telles que :

$$\begin{cases} \underline{V}(x) = \underline{V}_{10} \cdot e^{-jk_L x} + \underline{V}_{20} \cdot e^{jk_L x} \\ \underline{I}(x) = \left(\underline{V}_{10}/R_C\right) \cdot e^{-jk_L x} - \left(\underline{V}_{20}/R_C\right) \cdot e^{jk_L x} \end{cases}$$

A l'entrée du câble, on note  $\underline{V}(0) = \underline{V}_e$ ,  $\underline{I}(0) = \underline{I}_e$  et à la sortie  $\underline{V}(\ell_L) = \underline{V}_s$ ,  $\underline{I}(\ell_L) = \underline{I}_s$ .

**B5.** En éliminant  $\underline{V}_{10}$  et  $\underline{V}_{20}$  Trouver les deux fonctions f et g telles que :

$$\begin{cases} \underline{V}_e = f(k_L \ell_L) \cdot \underline{V}_s + j R_C \cdot g(k_L \ell_L) \cdot \underline{I}_s \\ \underline{I}_e = j g(k_L \ell_L)/R_C \cdot \underline{V}_s + f(k_L \ell_L) \cdot \underline{I}_s \end{cases}$$

**B6.** En déduire l'impédance d'entrée  $\underline{Z}_e = \frac{\underline{V}_e}{\underline{I}_e}$  en fonction de  $R_G, R_C, k_L$  et  $\ell_L$ .

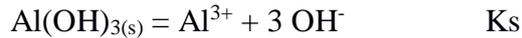
**B7.** Pour quelles valeurs particulières de  $\ell_L$  a-t-on  $\underline{Z}_e = R_G$  ? Interpréter et discuter les différents cas.

Application numérique : calculer la longueur  $\ell_L$  qu'il faut donner au câble coaxial de type RG58C/U entre le générateur - lecteur et l'antenne (Fig. 0) pour qu'il ne perturbe pas la condition d'adaptation d'impédance, si la distance D entre les deux vaut trois mètres ? On donne  $\Lambda = 250 \text{ nH} \cdot \text{m}^{-1}$  et  $\Gamma = 100 \text{ pF} \cdot \text{m}^{-1}$ .

### **Problème 3 : Aluminium (CCP PSI 2013, avant réforme)**

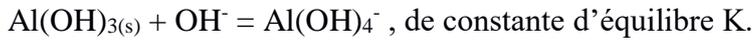
#### **B) Détermination expérimentale de constantes d'équilibre :**

On considère les équilibres chimiques suivants de constantes d'équilibre  $K_s$  et  $\beta$  :



6) Comment nomme-t-on ces deux constantes d'équilibre  $K_s$  et  $\beta$  ?

7) On considère l'équilibre thermodynamique suivant :



Exprimer  $K$  en fonction de  $K_s$  et de  $\beta$  .

**Dans la suite du problème, on admettra que  $pK_s = 32$  et que  $\log_{10}(\beta) = 34$ .**

#### **C) Diagramme E-pH de l'eau :**

L'eau (ou ses ions) peut agir comme oxydant ou comme réducteur. Dans cette partie, on supposera les pressions partielles des constituants gazeux égales à la pression standard, soit  $P_{\text{H}_2} = P_{\text{O}_2} = P^\circ$  , avec  $P^\circ = 1 \text{ bar}$  ou  $10^5 \text{ Pa}$ .

13) Ecrire les deux demi-réactions rédox dans lesquelles interviennent les couples de l'eau. En déduire les deux équations des deux droites  $E = f(\text{pH})$ , figurant dans le diagramme E-pH de l'eau.

14) Tracer le diagramme E-pH de l'eau, on veillera à bien préciser les domaines de prédominance de chacune des espèces étudiées.

#### **D) Diagramme E-pH de l'aluminium :**

Les espèces chimiques envisagées ici sont  $\text{Al(OH)}_{3(s)}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Al}_{(s)}$  et  $\text{Al(OH)}_4^-$ .

On donne le diagramme potentiel-pH de l'aluminium à 298 K, pour une concentration totale en espèces dissoutes de  $10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  (figure 2).

Le point A a pour ordonnée :  $E = -1,71 \text{ V}$ , le point B a pour abscisse  $\text{pH}_B = 10$ .

15) Préciser le degré d'oxydation de l'aluminium dans chacune des espèces envisagées et attribuer à chacun des quatre domaines numérotés de 1 à 4 l'espèce qui lui est rattachée.

16) Déterminer l'abscisse, notée  $\text{pH}_A$ , du point A.

17) Préciser les valeurs des pentes des trois segments figurant sur ce diagramme.

18) Déterminer la valeur du potentiel standard  $E^\circ(\text{Al}^{3+}/\text{Al})$ .

20) Par ajout de poudre d'aluminium dans une solution d'acide concentrée, on assiste à une vive réaction accompagnée d'un dégagement gazeux.

De quel gaz s'agit-il ? Préciser l'équation bilan de cette réaction.

21) Expliquer pourquoi une barre d'aluminium en contact avec de l'eau de pluie ne s'oxyde pas en profondeur, et ne nécessite donc pas de protection.

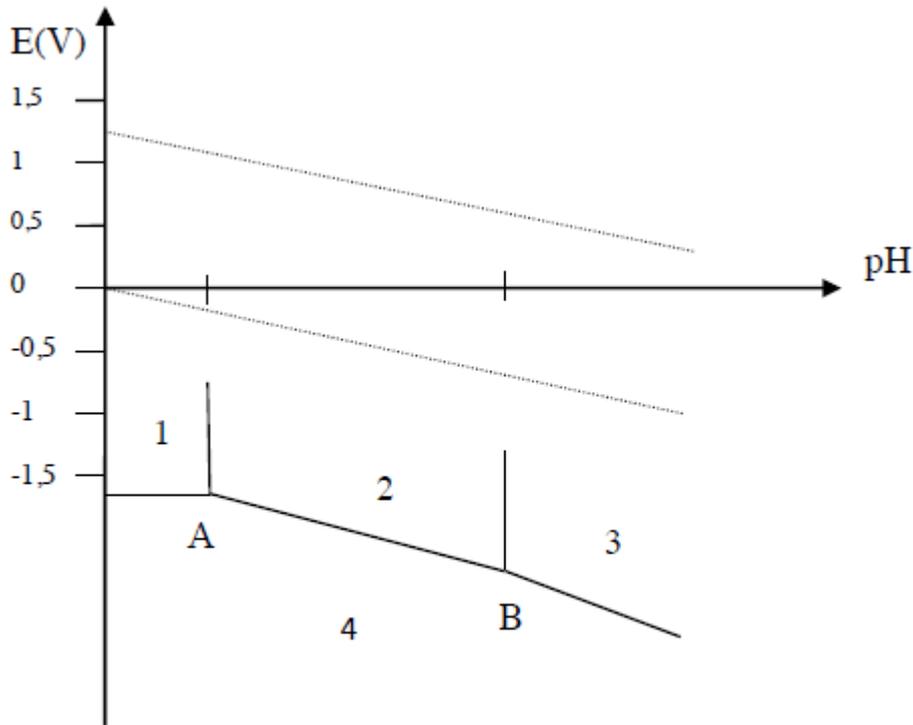


Figure 2 : diagramme E-pH de l'aluminium

**Données:**

Masse molaire de l'aluminium :  $M = 27 \text{ g.mol}^{-1}$ .

Nombre d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ .

On a :  $E^\circ(\text{H}^+/\text{H}_2) = 0 \text{ V}$  ;  $E^\circ(\text{O}_2/\text{H}_2\text{O}) = 1,23 \text{ V}$ .

On admettra que :  $10 \text{ RT/F ln}(x) \approx 0,06 \log(x)$

avec R la constante des gaz parfaits, T la température et F la constante de Faraday.

**Problème 4 : Isolation acoustique (E3A PSI 2014)**

Pour lutter contre les nuisances sonores, des barrières anti-bruit sont disposées le long des axes de circulation à fort trafic ou des voies ferrées.

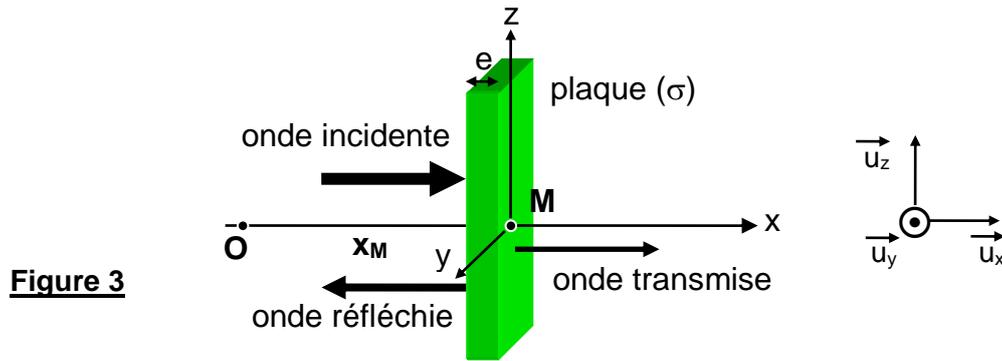
Cette partie du problème traite d'un filtrage sonore efficace assuré par une structure assemblée à partir de plaques rigides, de grandes dimensions par rapport à la longueur d'onde de l'onde, et disposée normalement à la direction principale de propagation de la nuisance sonore.

**E / MOUVEMENT D'UNE PLAQUE SOUS L'EFFET D'UNE ONDE SONORE**

Une plaque indéformable de masse surfacique  $\sigma$  est placée verticalement selon le plan (Myz) dans un fluide parfait (l'air) de masse volumique  $\mu_0$  et de coefficient de compressibilité adiabatique  $\chi_0$  (figure 3). La pression, égale à  $P = P_0$ , est uniforme lorsque le fluide est au repos. L'équilibre de l'air est perturbé par le passage d'une onde acoustique plane et sinusoïdale de pulsation  $\omega$  qui se propage à la célérité C le long des x croissants. La surpression incidente s'écrit, en notation complexe :

$$p_i = \underline{A}_i \exp[j(\omega t - kx)], \text{ où } \underline{A}_i \text{ est l'amplitude complexe et } \vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \vec{u}_x = \frac{\omega}{C} \vec{u}_x \text{ le vecteur d'onde.}$$

L'onde incidente frappe la plaque sous incidence normale et, à l'issue d'une phase transitoire non étudiée dans ce problème, entretient ses oscillations. La plaque est repérée par son abscisse  $x_M(t)$ , son épaisseur  $e$  est négligeable, de même que l'influence de la pesanteur.



**Figure 3**

**E1.** Analyser pourquoi la plaque se met à osciller et à quelle pulsation ?

Le mouvement de la plaque donne naissance à une onde réfléchie se propageant dans le demi-espace  $z < z_p$  et à une onde transmise se propageant dans le demi-espace  $z > z_p$ . Les amplitudes des ondes transmises et réfléchies sont notées respectivement  $\underline{A}_t$  et  $\underline{A}_r$ . Toute absorption de l'onde dans le volume de la paroi est négligée.

**E2.** Expliquer l'existence, en régime permanent, d'une onde réfléchie de surpression notée  $\underline{p}_r = \underline{A}_r \exp[j(\omega t + kx)]$  et d'une onde transmise de surpression notée  $\underline{p}_t = \underline{A}_t \exp[j(\omega t - kx)]$ .

L'air présent de part et d'autre de la plaque a pour impédance acoustique  $Z = \mu_0 C$ .

**E3.** Justifier l'expression de l'impédance acoustique  $Z$  d'une onde. Préciser son unité.

**E4.** Dédire de la définition de  $Z$  et de l'écriture des surpressions, les expressions des vitesses  $\underline{v}_i$ ,  $\underline{v}_r$  et  $\underline{v}_t$  dans les deux demi-espaces.

**E5.** Traduire la continuité de la composante normale de la vitesse du fluide sur la paroi solide. Exprimer la vitesse  $\frac{dx_M(t)}{dt}$  de déplacement de la plaque selon  $Oz$  en fonction notamment de  $Z$ ,  $x_M(t)$  et  $\underline{A}_t$ , puis de  $Z$ ,  $x_M(t)$ ,  $\underline{A}_i$  et  $\underline{A}_r$ .

En déduire la relation :  $\underline{A}_t = \underline{A}_i - \underline{A}_r \exp(j\alpha)$  {R1}, puis identifier  $\alpha$ .

**E6.** À partir du principe fondamental de la dynamique appliqué à un élément de surface  $dS$  de la plaque, exprimer l'accélération  $\frac{d^2x_M(t)}{dt^2}$  de la plaque selon  $Ox$  en fonction notamment de sa masse surfacique  $\sigma$ , de  $x_M(t)$  et des amplitudes  $\underline{A}_i$ ,  $\underline{A}_r$  et  $\underline{A}_t$ .

**E7.** Dédire de la vitesse et de l'accélération de la plaque, la relation :

$$j\omega \frac{\sigma \underline{A}_t}{Z} \left( 1 - \frac{k}{\omega} \frac{dx_M(t)}{dt} \right) = \underline{A}_i - \underline{A}_t + \underline{A}_r \exp(j\alpha) \quad \{\text{R2}\}.$$

**E8.** Simplifier les relations {R1} et {R2} en considérant que l'amplitude du mouvement de la plaque est faible devant la longueur d'onde  $\lambda$  de l'onde sonore et que la vitesse de déplacement de la plaque est très petite devant la célérité  $C$  de l'onde. ( $\exp(j\alpha) \cong 1$ )

**E9.** Résoudre le système des deux équations vérifiées par les amplitudes  $\underline{A}_i$ ,  $\underline{A}_r$  et  $\underline{A}_t$  afin d'obtenir les amplitudes  $\underline{A}_r$  et  $\underline{A}_t$ , en fonction notamment de  $\underline{A}_i$ ,  $\omega$ ,  $\sigma$  et  $Z$ .

Les coefficients de réflexion  $\underline{r}$  et de transmission  $\underline{t}$  relatifs aux amplitudes des surpressions sont définis respectivement par :  $\underline{r} = \underline{A}_r / \underline{A}_i$  et  $\underline{t} = \underline{A}_t / \underline{A}_i$ .

**E10.** En déduire les expressions des coefficients  $\underline{r}$  et  $\underline{t}$  en fonction de  $\omega$  et de  $\omega_0 = 2Z/\sigma$ .

**E11.** Vérifier la dimension de  $\omega_0$  et préciser son sens physique pour cette plaque « filtrante ».

Par définition, la puissance moyenne temporelle transportée par l'onde sonore par unité de surface (ou intensité acoustique) est donnée par l'expression :  $I(z) = \frac{1}{2} \text{Re} \{ \underline{p}(z, t) \cdot \underline{v}^*(z, t) \}$ .

**E12.** Déterminer les intensités acoustiques incidente  $I_i$ , réfléchie  $I_r$  et transmise  $I_t$ .

Le coefficient de réflexion (resp. transmission) énergétique  $\mathcal{R}$  (resp.  $\mathcal{T}$ ) est le rapport, en valeur absolue, entre l'intensité acoustique réfléchie (resp. transmise) et l'intensité acoustique incidente, au niveau de la plaque.

**E13.** Exprimer  $\mathcal{R}(\omega)$  et  $\mathcal{T}(\omega)$  en fonction de  $\omega$  et  $\omega_0$ . Vérifier la pertinence des résultats.

**E14.** Représenter schématiquement, sur le même graphe, les variations de  $\mathcal{R}(X)$  et  $\mathcal{T}(X)$  en fonction de la pulsation réduite  $X = \omega/\omega_0$ . Analyser ces deux tracés.

## F / EFFETS DE LA BARRIÈRE ANTI-BRUIT

Considérons une barrière anti-bruit installée le long d'une voie ferrée et soumise à des fréquences sonores allant de 125 à 4000 Hz. Elle est constituée d'un matériau isolant phonique de masse surfacique  $\sigma = 50 \text{ kg.m}^{-2}$ . L'onde sonore se propage à la célérité  $C = 340 \text{ m.s}^{-1}$  et la masse volumique de l'air vaut  $\mu_0 = 1,2 \text{ kg.m}^{-3}$ .

**F1.** Calculer la valeur de la pulsation  $\omega_0$  introduite en E10, puis de la fréquence  $f_0$ . A quel domaine fréquentiel, cette fréquence correspond-elle ?

**F2.** Pour une fréquence  $f$  de l'ordre de 1000 Hz, montrer que la variation du coefficient de transmission en puissance  $\mathcal{T}$  peut s'écrire, en fonction de la fréquence  $f$ , sous la forme :  $\mathcal{T} \approx f_0^2 / f^2$ . Préciser le type de sons qui sont les plus atténués.

Le domaine des fréquences accessibles à une oreille humaine s'étend de 20 Hz à 20 kHz. Le niveau sonore est défini en décibel (dB) par  $L = 10 \log(I/I_0)$ , avec  $I$  l'intensité acoustique et  $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$  l'intensité de référence, correspondant au seuil d'audition.

Le train est une source sonore de forte puissance émettant un mélange complexe de sons ayant chacun leur fréquence et leur niveau d'intensité sonore. Plutôt que de représenter le spectre réel (intensité sonore en fonction de la fréquence), il est plus simple de représenter les bruits par octave (intensité sonore moyenne de l'intervalle de fréquences correspondant à une octave, en fonction de la fréquence médiane de l'octave correspondante). Le tableau ci-dessous (et sa représentation sur le document-réponse B) fournit le spectre d'intensité sonore par octave, déduit de mesures de niveaux d'intensité sonore, effectuées à 25 m de la voie ferrée.

Fréquence médiane $f$ de la bande d'octave (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau d'intensité sonore $L$ par bande d'octave (dB)	83,0	82,0	80,3	81,7	81,0	77,5

**F3.** Quelle remarque ce tableau vous inspire-t-il ?  
Calculer l'intensité sonore  $I_{125}$  correspondant à la fréquence médiane de 125 Hz.  
Évaluer le niveau d'intensité sonore global  $L_G$  de ce bruit ferroviaire (somme des niveaux d'intensité sonore de toutes les bandes d'octave).

L'indice d'affaiblissement acoustique de la paroi par rapport aux bruits extérieurs s'exprime sous la forme :  $R_{dB} = 10 \log(I_i/I_t)$ .

**F4.** Écrire cet indice en fonction du coefficient de transmission en puissance  $T$ , puis montrer que, dans le domaine des fréquences considérées, l'indice  $R_{dB}$  vérifie une loi affine du logarithme de la fréquence.

Se pose maintenant le choix du matériau constitutif de la barrière anti-bruit : parmi les matériaux simples, retenons le béton armé, le bois, le verre. Le tableau ci-dessous rassemble leurs masses volumiques respectives.

Matériau	béton	bois	verre
Masse volumique $\rho$ (kg.m <sup>-3</sup> )	2,2.10 <sup>3</sup>	0,75.10 <sup>3</sup>	2,5.10 <sup>3</sup>

Pour fixer les idées, un affaiblissement acoustique de 50 dB à la fréquence de 250 Hz (fréquence pour laquelle le niveau d'intensité sonore demeure très élevé) est souhaité.

**F5.** Déterminer la masse surfacique appropriée pour réaliser cette atténuation ; en déduire l'épaisseur envisagée de la paroi, pour chacun des matériaux proposés. Analyser ces résultats.

*La solution béton a été retenue avec les caractéristiques précédemment obtenues.*

**F6.** Représenter, sur le document-réponse B l'évolution de l'indice d'affaiblissement acoustique  $R_{dB}$ , compte tenu de la valeur de la masse surfacique obtenue.

**F7.** Reporter, sur le tracé du niveau sonore du train par octave, les nouveaux niveaux d'intensité sonore pour chaque bande d'octave. Tracer le profil sonore derrière la barrière anti-bruit.

Commenter ces résultats en soulignant les sources d'erreur et(ou) les simplifications réalisées pour ce modèle par rapport à la réalité.

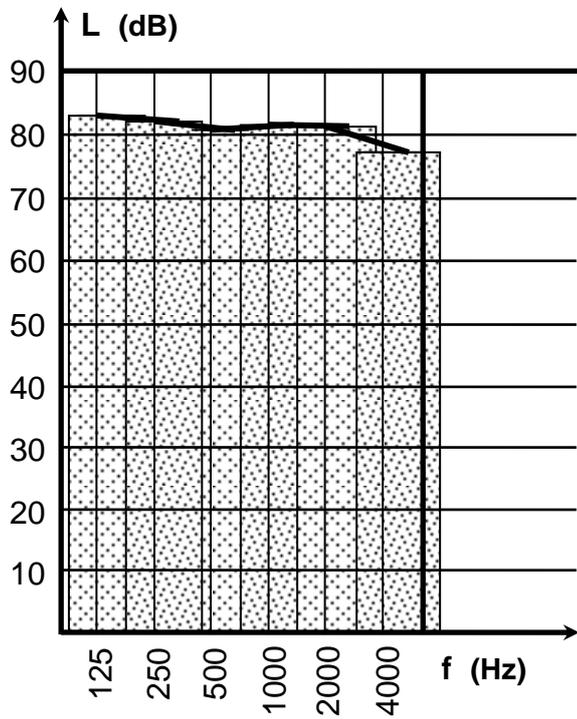
**Fin de l'énoncé**

**DOC REPONSE Pb4**  
**A compléter et à rendre avec la copie**

**Questions F3 et F7**

**Question F6**

**Niveau d'intensité sonore ferroviaire**



**Indice d'affaiblissement acoustique**

