

Devoir surveillé n°5. Electricité. Mécanique. Chimie. Signaux.
PTSII. 17 Février 2024. 4 heures.

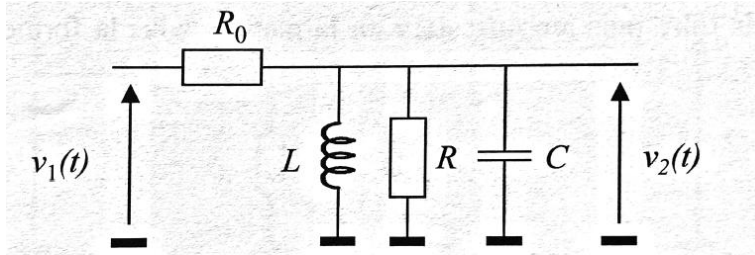
Les portables, les calculatrices ainsi que tous les documents sont interdits.

Toute communication entre élèves est interdite.

On tiendra compte de la présentation et de la rédaction pour la notation : On prendra soin de laisser quelques lignes en début de copie, ainsi qu'une marge pour la notation, d'encadrer les résultats, de numéroter les questions, de mettre les unités après les applications numériques, de numéroter les copies et d'indiquer le nombre de copies.

Problème n°1. Diagramme de Bode

Sur la figure ci-dessous, on donne le schéma du filtre étudié. On note $\underline{H}(\omega)$ sa fonction de transfert.



- 1) Déterminer la nature de ce filtre à partir de schémas équivalents à basse et à haute fréquence.
- 2) Déterminer l'expression de $\underline{H}(\omega) = \frac{V_2}{V_1}$ et la mettre sous la forme : $\underline{H} = \frac{H_0}{1+jQ(x-\frac{1}{x})}$ avec $x = \frac{\omega}{\omega_0}$, ω_0 étant la pulsation propre du filtre. Exprimer littéralement Q , H_0 et la fréquence propre f_0 .
- 3) Donner sans démonstration l'expression reliant le facteur de qualité, la fréquence propre et la largeur de la bande passante à -3dB.
- 4) On choisit $R_0 = 470\Omega$, $R = 120\Omega$, $L = 50\mu H$ et $C = 50nF$ de sorte que $H_0 \approx 0,2$, $f_0 \approx 100kHz$ et $Q \approx 3$. On donne $\log(2) = 0,3$ et $\log(3) = 0,5$.
Après une étude fréquentielle, faire une représentation graphique approchée du gain en décibel G_{dB} en fonction de $\log(x)$; préciser quelques valeurs sur ce graphe. Faire apparaître sur ce graphe la « bande passante à -3dB ».

Problème n° 2. Chimie des solutions aqueuses Les deux questions sont indépendantes.

Données : $pK_{A2}=9$ pour NH_4^+/NH_3 $pK_{A1}=4$ pour HCO_2H/HCO_2^- $\text{Log}2=0,3$ et $\text{Log}3=0,5$
 Nombre de charge des éléments chimiques : $Z_H = 1$; $Z_N = 7$; $Z_O = 8$.

I) L'acide nitrique

- 1) Donner la configuration électronique des atomes, puis donner la structure de Lewis de l'acide nitrique $HONO_2$, N étant l'atome central.
- 2) L'acide nitrique HNO_3 est un acide fort. Ecrire l'équation bilan de son action sur l'eau.
- 3) On prépare une solution d'acide nitrique de concentration $c=10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$. Quelles sont les espèces présentes majoritairement dans cette solution ? Quelle est la valeur du pH ?
- 4) On fait barboter dans 100mL de la solution précédente, sans variation de volume, 3.10^{-3} mol d'ammoniac NH_3 gazeux. On suppose que la dissolution est totale. Déterminer la réaction prépondérante et calculer sa constante d'équilibre Déterminer la concentration de chacune des espèces à l'équilibre ainsi que le pH de la solution.

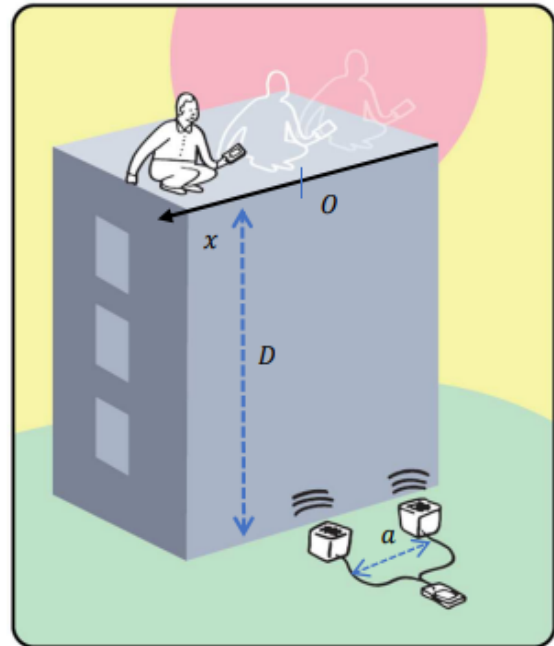
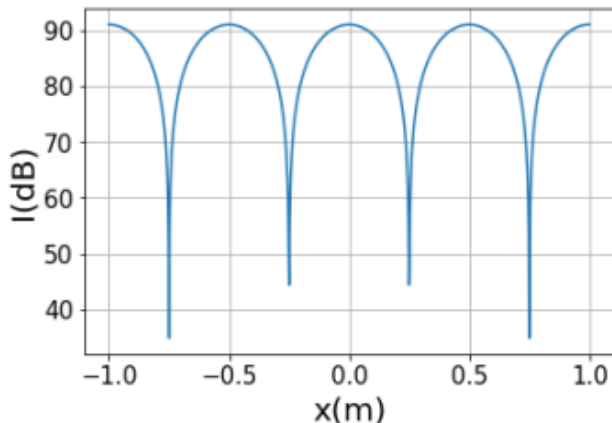
II) Mise en solution d'un sel ionique dans l'eau : On met en solution dans 500mL d'eau 1.10^{-2} mol d'un cristal ionique, le méthanoate d'ammonium (NH_4^+ , HCO_2^-).

- 1) Comment appelle-t-on cette opération ? Quelles sont les caractéristiques du solvant qui interviennent au cours de cette opération ?
- 2) Représenter sur un même graphe les diagrammes de prédominance des deux couples.
- 3) Les deux espèces introduites peuvent-elles coexister ?
- 4) Déterminer la réaction prépondérante et calculer sa constante d'équilibre.
- 5) Déterminer les concentrations des différentes espèces à l'équilibre, ainsi que le pH de la solution.
- 6) Reporter le pH sur le diagramme de prédominance. Conclure.

- 7) On rajoute sans variation de volume à cette solution 4.10^{-3} moles de soude NaOH (ou hydroxyde de sodium, base forte). Déterminer la nouvelle réaction prépondérante et les concentrations des diverses espèces en solution à l'équilibre. Déterminer le pH de la solution.

Problème n° 3. Haut-parleurs

On considère la situation ci-contre pour laquelle deux haut-parleurs, distants de a et placés au pied d'un immeuble de hauteur $D \gg a$, émettent continuellement des signaux sinusoïdaux identiques et parfaitement en phase de fréquence audible f . Un opérateur muni d'un téléphone se déplace en haut de l'immeuble selon un axe Ox . En $x \ll D$, les signaux acoustiques émis par les deux haut-parleurs se superposent et le téléphone mesure l'intensité acoustique I en dB. On donne le graphe simulé de $I(x)$:



Dessin issu d'un travail de l'équipe « la physique autrement »

On notera c la célérité des ondes acoustiques dans l'air.

- 1) En vous inspirant d'une situation analogue en optique ondulatoire, décrire, puis expliquer le phénomène physique à l'origine de l'évolution spatiale de l'intensité acoustique mesurée.

2) Les pressions acoustiques $p_1(HP_1, t)$ et $p_2(HP_2, t)$ des ondes émises par les deux hauts parleurs sont données par $p_1(HP_1, t) = p_2(HP_2, t) = P_M \cos(2\pi f t)$. Donner les expressions des pressions acoustiques $p_1(M, t)$ et $p_2(M, t)$ des deux ondes au niveau du téléphone au point M situé à une distance d_1 de HP_1 et à d_2 de HP_2

3) En déduire l'expression de la pression acoustique en M $p(M, t)$. Montrer qu'elle se met sous la forme : $p(M, t) = P_{eff}(M) \cdot \cos(2\pi f t + \varphi(M))$

On donnera l'expression de $P_{eff}(M)$, l'amplitude de l'onde, en fonction de P_M, f, c, d_1 et d_2 .

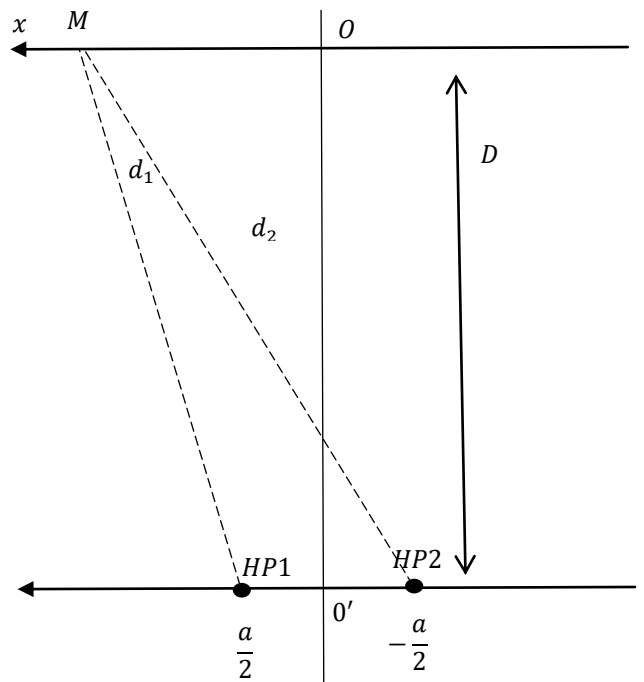
4) Déterminer l'expression approchée de $d_2 - d_1$ en fonction de x, D et a .

5) Déterminer alors les positions pour lesquelles $P_{eff}(M)$ est minimale, puis en déduire l'expression de l'interfrange.

6) Le téléphone mesure l'intensité sonore qui est donnée par l'expression : $I(\text{dB}) = 20 \log\left(\frac{P_{eff}(M)}{2.10^{-5}}\right)$

La fréquence f de l'onde acoustique est $f = 6800 \text{ Hz}$, la célérité c des ondes acoustiques est $c = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et on prend $a = 1 \text{ m}$.

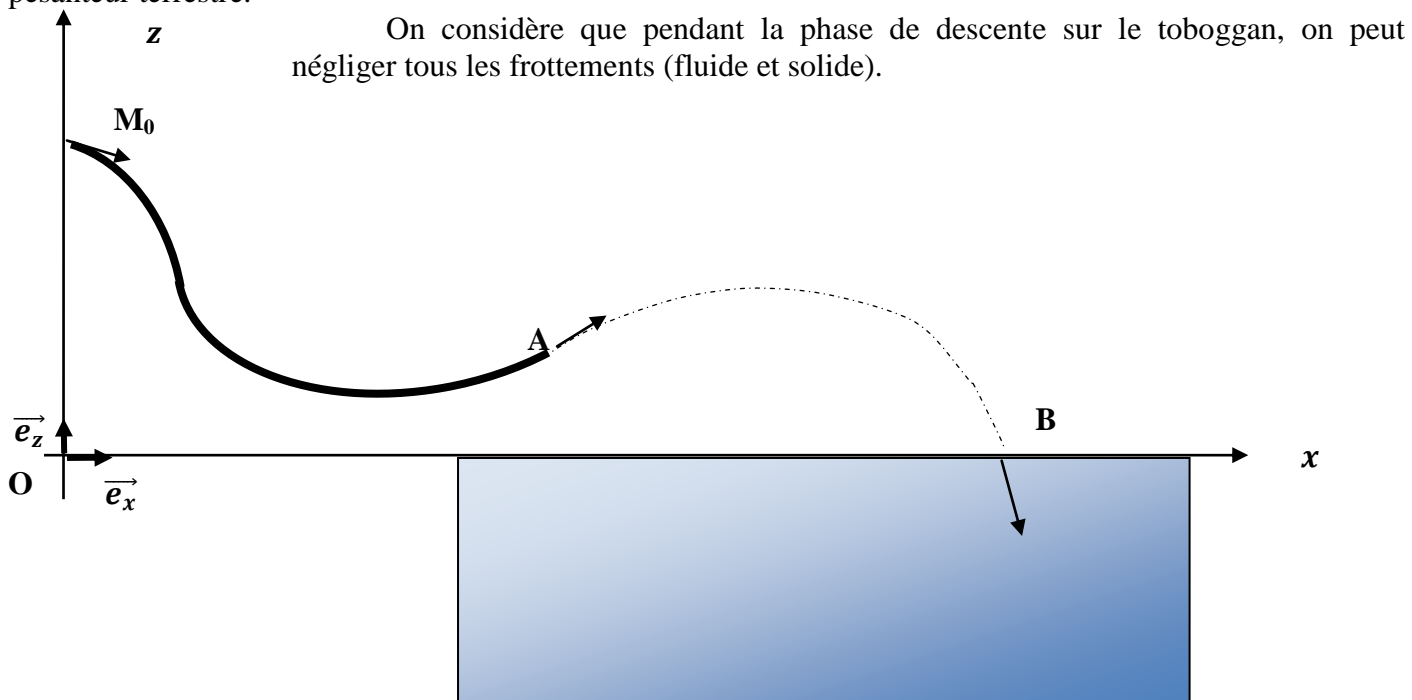
En utilisant la courbe précédente, déterminer la valeur de D .



Problème n° 4. Toboggan

On considère un toboggan de jeux aquatiques.

L'individu M de masse m est à l'instant $t=0$ en position de départ sur le toboggan en M_0 situé à une hauteur H au-dessus du niveau de l'eau dans le bassin. Sa vitesse initiale \vec{v}_0 est tangente au toboggan en M_0 . Le bout du toboggan A est situé à (x_A, z_A) et fait un angle λ avec l'horizontale. On note g l'intensité du champ de pesanteur terrestre.



- 1) En utilisant un théorème que vous énoncerez clairement, établir l'expression de v_A la norme du vecteur vitesse \vec{v}_A en A en fonction de v_0, z_A, g et H .
Déterminer les coordonnées du vecteur vitesse \vec{v}_A en A sur la base (\vec{e}_x, \vec{e}_z) en fonction de v_A et λ .

Dans la phase suivante, l'individu quitte le toboggan. On considèrera dans un premier temps que, tant qu'il est dans l'air, on peut négliger les frottements fluides.

- 2) On prend une nouvelle origine des temps en A. Déterminer les expressions des composantes sur la base (\vec{e}_x, \vec{e}_z) des vecteurs accélération, vitesse et position de M pendant cette phase en fonction de $v_A, \lambda, x_A, z_A, g$ et du temps. Déterminer $z(x)$. Quelle est la nature de la trajectoire ?
- 3) Déterminer la norme de la vitesse au point B, pour lequel l'individu rentre dans l'eau en fonction uniquement de v_0, g et H .
- 4) On appelle t_B l'instant pour lequel l'individu rentre dans l'eau. Déterminer l'équation du second degré permettant de déterminer l'expression de t_B .
- 5) Déterminer l'expression de $\tan \gamma$, où γ est l'angle que fait le vecteur vitesse en B avec la verticale, en fonction de v_A, g, λ et t_B .

L'expérience montre que l'individu rentre dans l'eau avec un angle quasiment nul par rapport à la verticale. Pour expliquer cette constatation on reprend le problème en rajoutant une force de frottement fluide exercée par l'air de la forme : $\vec{F}_f = -\beta \vec{v}$.

- 6) Déterminer l'équation différentielle du premier ordre dont le vecteur vitesse \vec{v} est solution.
- 7) Montrer que la vitesse \vec{v} tend vers une vitesse limite \vec{v}_l dont on donnera l'expression.

On considère à présent que l'individu rentre dans l'eau avec une vitesse en B quasiment égale à la vitesse limite \vec{v}_l . On considèrera que, dans l'eau, l'individu est soumis à une force de frottement fluide exercée par l'eau proportionnelle à la vitesse : $\vec{F}_{f\text{eau}} = -\beta_{\text{eau}} \vec{v}$. On notera μ_0 la masse volumique de l'eau et V le volume de l'individu.

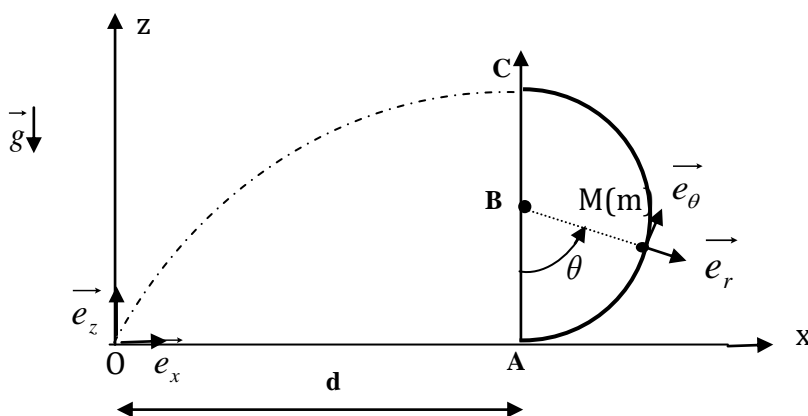
- 8) Quelle autre force, que l'on peut négliger dans l'air, doit-on rajouter dans l'eau ? Donner son expression.
- 9) Etablir l'expression de l'équation différentielle du premier ordre dont le vecteur vitesse est alors solution.
- 10) Montrer que la vitesse de l'individu tend vers une vitesse limite $\overrightarrow{v_{l\text{eau}}}$ que l'on exprimera en fonction des données de l'énoncé.
- 11) On choisit une nouvelle origine des temps en B. Résoudre l'équation précédente et déterminer l'expression du vecteur vitesse $\vec{v}(t)$ en fonction de $\overrightarrow{v_l}$, $\overrightarrow{v_{l\text{eau}}}$ et d'une constante de temps τ dont on donnera l'expression en fonction des données du problème.
- 12) En déduire l'expression de la profondeur $h(t) = -z(t)$ à un instant t en fonction de $t, v_l, v_{l\text{eau}}$ et τ .

Problème n°5. Jeu d'enfant

Un enfant lance un palet au niveau du point O avec une vitesse horizontale $\overrightarrow{v_0} = v_0 \overrightarrow{e_x}$. Ce palet est assimilé à un point matériel M de masse m, qui peut se déplacer sans frottement sur le sol ou sur un support en forme d'arc de cercle de rayon R.

Le but du jeu est de permettre au palet de rester en contact avec le support jusqu'au point C et qu'après sa chute (au-delà du point C), il retombe exactement à son point de départ O.

On suppose que le référentiel terrestre (R_T) est galiléen. On note $(\overrightarrow{e_x}, \overrightarrow{e_z})$ le repère de projection de coordonnées cartésiennes et $(\overrightarrow{e_r}, \overrightarrow{e_\theta})$ le repère de projection de coordonnées polaires dans le plan du mouvement. On suppose que le champ de pesanteur terrestre $\overrightarrow{g} = -g \overrightarrow{e_z}$ est uniforme.



- 1) Déterminer la vitesse $\overrightarrow{v_A}$ au point A en fonction de $\overrightarrow{v_0}$.
- 2) M est entre A et C :
 - 2.1) Déterminer le carré **de la norme** de la vitesse du palet en M en fonction de l'angle θ .
 - 2.2) Déterminer l'expression de la réaction du support sur le palet M en fonction de θ et de la vitesse du palet en M, puis en fonction de θ seulement.
 - 2.3) En déduire une condition sur v_0 pour que le palet arrive en C sans quitter le support.
 - 2.4) Cette condition étant réalisée, déterminer alors la vitesse $\overrightarrow{v_C}$ en C en fonction de v_0, R et g .
- 3) M a à présent quitté C :
 - 3.1) En négligeant le frottement de l'air sur le palet, déterminer à chaque instant t la position de M. On prendra une nouvelle origine des temps en C.
 - 3.2) En déduire le point d'impact D du palet au niveau du sol.
 - 3.3) Quelle est alors la condition sur v_0 pour que ce point D soit confondu avec le point de départ O.
- 4) Montrer alors que ce résultat n'est possible que si d est supérieur à une valeur d_{\min} que l'on déterminera.