

L2

Année 2022-2023

Second Semestre

Session initiale

UFR des Sciences Fondamentales et
Biomédicales

Faculté de Pharmacie de Paris

UE SA04U060

Intitulé de l'UE : Physique 4

Durée totale de l'épreuve : 1h30

- Le sujet comporte 12 pages (page de garde incluse).
- La réponse à chaque question devra être rédigée sur ce cahier-réponses, dans le cadre prévu à cet effet. Si nécessaire, la copie de couverture pourra être utilisée comme complément de réponse, à condition de bien préciser le numéro de l'exercice et de la question et d'indiquer le report au niveau de la case correspondante.
- On prendra soin de faire apparaître les étapes intermédiaires principales des calculs et de justifier les simplifications et les réponses données.
- Les calculatrices sont autorisées.

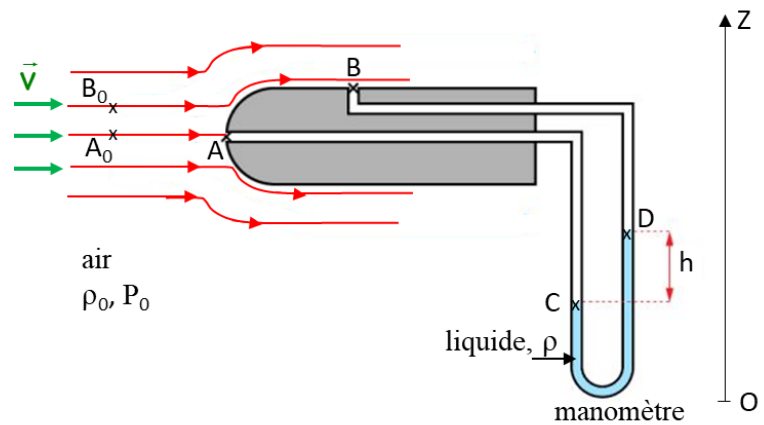
Les 3 exercices sont entièrement indépendants.

NB : Tout signe distinctif porté sur la copie pouvant indiquer sa provenance constitue une fraude.

Exercice 1

Les sondes de Pitot sont des capteurs de vitesse basés sur une mesure de pression différentielle. Elles sont utilisées pour la sécurité des avions puisqu'elles donnent une mesure à chaque instant de la vitesse d'un avion.

Dans cet exercice, on se place dans le référentiel de l'avion et on cherche à déterminer la vitesse d'écoulement de l'air à l'aide d'un tube de Pitot modélisé sur la figure de droite ci-après (la figure n'est pas à l'échelle).



Ce tube, de petite dimension pour éviter de perturber l'écoulement étudié, possède deux petites ouvertures (de quelques millimètres). L'une est située au point A, parallèlement à l'écoulement de l'air et l'autre au point B, perpendiculairement à l'écoulement de l'air.

On définit un axe (Oz) vertical ascendant.

Le tube étant très fin, on peut négliger la variation d'altitude entre les orifices A et B : $z_A \approx z_B$.

Un manomètre (tube en U) est situé en aval de ce tube. Il est rempli d'un liquide de masse volumique ρ . Il permet de mesurer la différence de pression $\Delta P = P_A - P_B$.

A l'intérieur du tube de Pitot, les fluides (air et liquide) sont statiques.

On considérera que la sonde est immergée dans un écoulement d'air stationnaire, unidimensionnel et horizontal. L'air est assimilé à un fluide parfait, de masse volumique ρ_0 uniforme. Loin du tube de Pitot, l'air a une pression P_0 et un vecteur vitesse $\vec{V}$ colinéaire à l'axe du tube de Pitot.

Les points A_0 et B_0 sont en amont et éloignés de la sonde, A_0B_0 étant perpendiculaire à la direction de l'écoulement.

On note g la valeur de l'accélération de la pesanteur.

1. Etablir l'expression de la différence de pression $\Delta P = P_A - P_B$ en fonction de la dénivellation $h = z_D - z_C$ dans le manomètre, de g , ρ et ρ_0 . On tiendra compte des différences de hauteur entre les points A et C d'une part, B et D d'autre part.

2. Rappeler le théorème de Bernoulli en précisant les hypothèses d'application.

3. En appliquant ce théorème le long de la ligne de courant A_0A , exprimer la pression en A, P_A , en fonction des paramètres donnés dans l'énoncé. Justifier les simplifications.

4. a) Comparer les vitesses de l'air aux points B_0 et B. Justifier la réponse.

- b) En appliquant le théorème de Bernoulli le long de la ligne de courant B_0B , exprimer la pression en B, P_B , en fonction de celle en B_0 , P_{B_0} . Justifier les simplifications.

5. Déduire des questions 3 et 4, l'expression de la différence de pression $\Delta P = P_A - P_B$ en fonction de la valeur V de la vitesse de l'air (dans le référentiel de l'avion) et de ρ_0 .

6. Déduire des questions précédentes que V s'exprime : $V = \sqrt{\frac{2(\rho - \rho_0)gh}{\rho_0}}$.

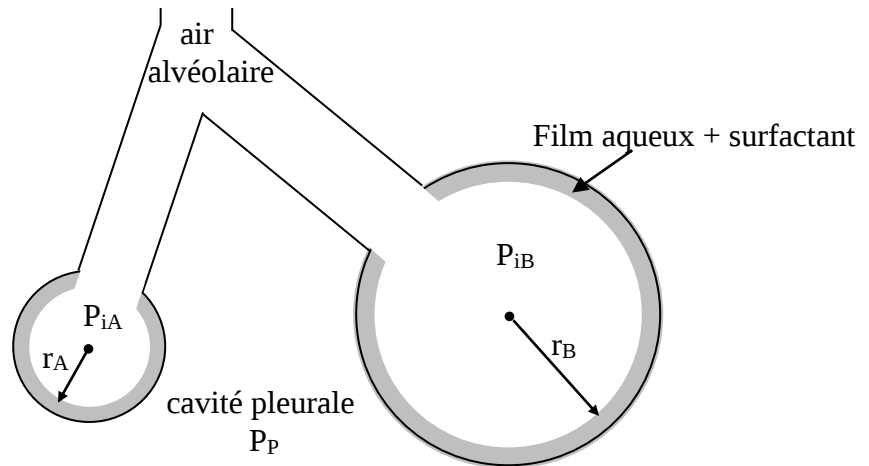
7. Simplifier cette expression pour $\rho \gg \rho_0$ puis calculer la vitesse V (en m/s puis en km/h) en prenant : $\rho_0 = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$, $\rho = 13.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$, $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$ et $h = 3,5 \text{ cm}$.

Exercice 2

Les alvéoles pulmonaires peuvent être assimilées à des « grappes » de gouttes sphériques reliées entre elles (image de gauche sur la page suivante). La paroi interne des alvéoles est recouverte d'un mince film aqueux en contact avec l'air alvéolaire, donnant lieu à une interface air/liquide. Ce film aqueux contient un agent tensio-actif, le surfactant pulmonaire.

On modélise deux alvéoles A et B par deux petites bulles d'air de rayons respectifs r_A et $r_B = 2r_A$ (figure de droite sur la page suivante). P_{iA} et P_{iB} sont les pressions dans les alvéoles respectivement

A et B. On note γ_A et γ_B les tensions superficielles des interfaces air/liquide dans les alvéoles respectivement A et B. La pression dans le film aqueux est celle de la cavité pleurale, notée P_p .



1. Ce système est à l'équilibre.

a) Que peut-on dire des pressions P_{iA} et P_{iB} ?

b) Quelle est la relation entre les tensions superficielles γ_A et γ_B ? Comparer qualitativement la densité surfacique de molécules de surfactants à l'interface air/liquide dans chaque alvéole.

2. La surpression dans l'alvéole A est égale à 4 mm Hg. Son rayon est $r_A = 0,05$ mm.

a) Calculer numériquement les tensions superficielles γ_A et γ_B .

- b) Calculer numériquement les énergies de surface E_{s_A} et E_{s_B} respectivement dans l'alvéole A et dans l'alvéole B.

3. Ce système des 2 alvéoles pourrait-il être à l'équilibre si la paroi interne des alvéoles était recouverte d'un film d'eau pure uniquement ? Si ce n'est pas le cas, comment évoluerait-il ? Justifier les réponses.

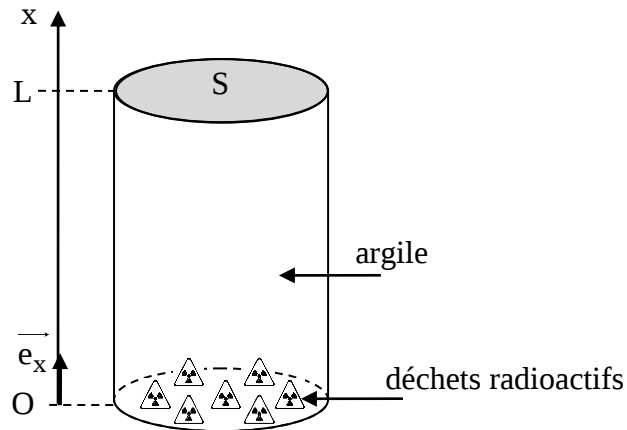
Exercice 3

Des déchets nucléaires sont stockés en couche géologique profonde. Celle-ci est modélisée par une couche d'argile d'épaisseur $L = 50$ m au-dessus de laquelle se trouve la biosphère (zone de la Terre occupée par les organismes vivants).

Les déchets sont confinés dans des colis en acier afin de retarder leur contact avec l'argile.

On s'intéresse à une fuite de déchets radioactifs et plus précisément aux particules radioactives susceptibles de diffuser dans l'argile environnante.

On suppose que le transport des particules radioactives dans l'argile est unidimensionnel, selon un axe (Ox) ascendant, de vecteur unitaire $\vec{e}_x$.



Simultanément à la diffusion, une partie des particules radioactives se fixe dans l'argile (phénomène de sorption).

La concentration totale des particules radioactives s'écrit alors : $C_T(x,t) = C(x,t) + C_f(x,t)$ où $C(x,t)$ et $C_f(x,t)$ représentent respectivement la concentration des particules mobiles et la concentration des particules fixées en x , à l'instant t . Ces deux concentrations sont liées par la relation : $C_f(x,t) = K_s C(x,t)$ où K_s est une constante.

Le vecteur densité de flux de particules radioactives dans l'argile, $\vec{j}(x,t) = j(x,t)\vec{e}_x$, est relié au gradient de concentration en particules mobiles selon la première loi de Fick et au coefficient de diffusion libre D d'une particule radioactive dans l'argile.

On néglige toute décroissance radioactive des concentrations, toute force extérieure sur les particules radioactives et on considère que la température est constante dans la couche d'argile.

1. Le but de cette question est de déterminer l'équation vérifiée par $C(x,t)$. Pour cela, nous allons faire un bilan de matière dans un volume élémentaire dV d'argile de section S , compris entre les abscisses x et $x + dx$. Soit $n(x,t)$ le nombre de particules radioactives dans le volume dV à l'instant t , et $n(x,t + dt)$ celui à l'instant $t + dt$. On définit également δN_e le nombre de particules radioactives entrant dans le volume dV pendant dt et δN_s le nombre de particules radioactives sortant du volume dV pendant dt .
- 1.1 Exprimer la variation pendant dt , du nombre de particules radioactives dans le volume dV , soit $n(x,t + dt) - n(x,t)$, en fonction de δN_e et δN_s .

- 1.2 Exprimer δN_e en fonction de la densité locale de flux de particules radioactives et des autres données de l'exercice.

- 1.3 Exprimer δN_s en fonction de la densité locale de flux de particules radioactives et des autres données de l'exercice.

- 1.4 Exprimer $n(x, t + dt) - n(x, t)$ en fonction de $C_T(x, t)$, $C_T(x, t + dt)$ et des autres données de l'exercice puis montrer que $n(x, t + dt) - n(x, t)$ vérifie la relation :

$$n(x, t + dt) - n(x, t) = (1 + K_s) \frac{\partial C}{\partial t} S dt dx .$$

1.5 Déduire des questions précédentes la relation entre les dérivées partielles $\frac{\partial C}{\partial t}$ et $\frac{\partial j}{\partial x}$.

1.6 Rappeler la première loi de Fick dans la géométrie de l'exercice.

1.7 En déduire que $C(x,t)$ vérifie l'équation de transport : $D' \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} = \frac{\partial C}{\partial t}$ où D' est un coefficient de diffusion apparente prenant en compte le phénomène de sorption, que l'on exprimera en fonction de D et K_s .

On se place désormais en régime permanent.

2. A partir de l'équation de transport, déterminer l'expression de $C(x)$ sachant que $C(x=0) = C_0$ et $C(x=L) = 0$.

3. Une expérience modèle, réalisée avec des cations lithium Li^+ dans une argile, a permis de mesurer un flux molaire de Li^+ de $5 \cdot 10^{-5}$ mol/jour avec les données suivantes :
 $C_0 = 10^{-2}$ mol.L⁻¹, $S = 30$ cm² et $L = 0,5$ cm.

- 3.1 En déduire la valeur du coefficient de diffusion libre D .

3.2 Sachant que cette expérience a permis d'estimer la valeur de D' , $D' = 2,41.10^{-12} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$, en déduire la valeur de K_s .

3.3 A l'aide des valeurs de D et D' obtenues grâce à cette expérience modèle, déterminer l'ordre de grandeur du temps nécessaire à un cation lithium pour atteindre la biosphère, en présence et en l'absence du phénomène de sorption. On rappelle que dans ce cas, $L = 50 \text{ m}$. On exprimera ces durées en seconde puis en année (1 année = 365 jours). Conclure.