INSTITUT PREPARATOIRE AUX ETUDES
D'INGENIEURS DE SFAX

Département des Etudes Préparatoires
aux Concours de Technologie

Année Universitaire
2022-2023

DEVOIR DE SYNTHESE - 1ère semestre

Épreuve de Physique

(2ème Année de Préparation Biologie - Géologie)

Mardi 03 Janvier 2023 de 8h30 à 11h30

Exercice 1 : Changement d'état d'un corps pur

I- Changement d'état solide – liquide

On s'intéresse aux deux états liquide et solide d'un corps pur. Les variables d'état sont la pression P, la température absolue T et le volume massique v.

1- Tracer l'allure du diagramme d'état (T, P) d'un corps pur quelconque. Que représentent les courbes décrivant ce diagramme, les domaines qu'elles délimites, les points remarquables ? Dans le cas de l'eau, la pente de la courbe de l'équilibre solide-liquide est négative. Commenter.

2- Préciser le potentiel thermodynamique permettant de décrire l'évolution de changement de phase d'un corps pur. Quelle est la condition thermodynamique d'équilibre entre deux phases (a) et (b) à pression et température données ? Etablir l'équation de Clapeyron relative à la courbe traduisant l'équilibre solide-liquide.

3- On s'intéresse à l'influence de la pression sur l'équilibre solide-liquide de l'eau. A une température $0°C$, sous la pression $P_0 = 1\ bar$, l'enthalpie massique de fusion vaut $\Delta h_F = L_F = 3{,}33\ 10^5 J\ kg^{-1}$, et les volumes massiques du liquide et du solide valent respectivement $v_L = 1{,}00\ 10^{-3}\ m^3 kg^{-1}$ et $v_S = 1{,}09\ 10^{-3}\ m^3 kg^{-1}$.

3.1- Calculer la pente de la courbe d'équilibre solide-liquide au point considéré.

3.2- Estimer la température de fusion de la glace au fond d'une fosse océanique, à une pression de l'ordre de $1000\ bars$. Commenter.

II- Changement d'état liquide – vapeur

On s'intéresse aux deux états liquide et gaz d'un corps pur. Les variables d'état sont la pression P, la température absolue T et le volume massique v. On note (P_C, T_C, v_C) les coordonnées du point critique du corps pur.

4- Représenter dans le diagramme de Clapeyron (P, v) les transformations isothermes d'un fluide, en illustrant et en expliquant rapidement les notions suivantes : mélange diphasé, palier de changement d'état, courbe de rosée, courbe d'ébullition et point critique.

5- Exprimer les variations d'enthalpie massique Δh et d'entropie massique Δs associées à une transition liquide-vapeur. Effectuer et commenter les applications numériques dans le cas de l'eau pour une température de $100°C$.

L'enthalpie massique de vaporisation de l'eau $(100°C, 1bar)$, $L_{vap} = 2{,}24\ 10^6\ J\ kg^{-1}$.

6- Quelle est l'entropie massique créée lors de la vaporisation de l'eau, initialement à l'état liquide, en contact avec un thermostat à la température de $100°C$ sous la pression $1\ bar$?

III- Stockage des fluides

7- On se place à une température $20°C$. Une bouteille ordinaire de propane est approximativement cylindrique de hauteur $35\ cm$ et de diamètre $30\ cm$. Lorsque la bouteille est pleine, la masse du propane contenue dans cette bouteille est égale à $5\ kg$. On rappelle que la formule chimique du propane est C_3H_8, et que les masses atomiques de carbone C et d'hydrogène H sont : $M_C = 12\ g\ mol^{-1}$ et $M_H = 1\ g\ mol^{-1}$.

7.1- Déterminer la masse volumique ρ_{vap} du propane, considéré comme un gaz parfait, lorsqu'il est à la température $20°C$ sous sa pression de vapeur saturante ($P_{sat,propane} = 7\ bars$).

7.2- Déduire alors de la comparaison entre les trois valeurs ρ_{liq}, ρ_{vap} et ρ_{moy}, masse volumique moyenne du corps pur existant dans la bouteille, l'état physique dans lequel se trouve ce corps pur.

On rappelle que : $\rho_{liq,propane} = 515\ kg\ m^{-3}$ et $R = 8{,}314\ JK^{-1}mol^{-1}$.

7.3- Déterminer alors la pression dans la bouteille de propane.

8- Expliquer la présence d'un détendeur ramenant le gaz à la pression atmosphérique dans les installations utilisant le propane gazeux.

9- On constate qu'un débit prolongé du gaz peut entraîner la formation de givre au voisinage du détendeur. En admettant qu'à la sortie de la bouteille, le propane, assimilé à un gaz parfait, subit une évolution adiabatique et réversible.

Montrer qualitativement, en utilisant la loi de la Laplace, qu'il se produit un refroidissement au niveau du détendeur.

On note $\gamma = \frac{C_p}{C_v} > 1$, supposé constant, le rapport entre les capacités thermiques à pression constante et à volume constant.

Exercice 2 : Conduction électrique

Les matériaux du sous-sol sont plus ou moins conducteurs d'électricité : la résistivité électrique est très variable (de 10^{-2} à $1\ \Omega\ m$ pour les amas sulfurés, de l'ordre de $10\ \Omega\ m$ pour les argiles, 100 à $10^3\ \Omega\ m$ pour le sable.

Une expérience simple pour mesurer la résistivité consiste à faire passer un courant continu dans le sol et à mesurer la différence de potentiel associée.

On considère un milieu homogène conducteur de résistivité électrique ρ. Une particule, de masse m et de charge q, est susceptible de se déplacer librement à l'intérieur de ce matériau mais subit au cours de son mouvement de nombreux chocs que l'on modélise globalement par une force de frottement du type $\vec{f}_{fr} = -\alpha\,\vec{v}$ où $\vec{v}$ est la vitesse de la particule et α une constante positive. On suppose que le matériau étudié est placé dans un champ électrique uniforme et constant $\vec{E} = E\,\vec{u}_x$, (où E est constant). La particule subit alors une force électrique $\vec{f}_{el} = q\,\vec{E}$. On négligera les forces de pesanteur.

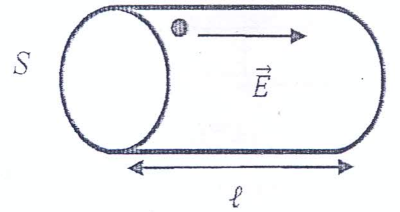


Figure 1

1- En appliquant la relation fondamentale de la dynamique (*RFD*), déterminer l'équation différentielle vérifiée par la vitesse.

2- Monter que la solution de l'équation différentielle ($\vec{v}(t)$) s'écrit :

$$\vec{v}(t) = \frac{q\tau}{m}\,\vec{E}\,[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)]$$

3- Préciser le temps caractéristique (τ) du régime transitoire.

4- Préciser la vitesse limite ($\vec{v}_\ell$) atteinte par la charge.

5- Sachant que le matériau possède n^* particules mobiles par unité de volume, en déduire que l'expression du vecteur densité de courant ($\vec{\jmath}_{el}$), lorsque le régime permanent est atteint, s'écrit :

$$\vec{\jmath}_{el} = \frac{n^* q^2 \tau}{m}\vec{E}$$

6- Rappeler la loi d'Ohm locale en précisant la signification physique et l'unité de chaque terme.

7- En déduire l'égalité suivante :

$$\frac{1}{\rho} = \frac{n^*\,\tau\,q^2}{m}$$

8- Une portion de ce conducteur de section S et de longueur ℓ est soumise à une différence de potentiel U. Une intensité I le traverse.

Monter que le flux du vecteur densité de courant électrique (I) s'écrit :

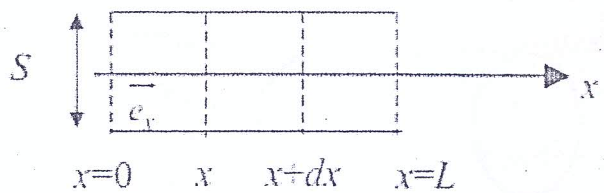
$$I = \frac{n^* \tau q^2}{m} E S$$

9- Exprimer la résistivité du matériau en fonction de ℓ, S, U et I.

Exercice 3 : Transfert thermique

I- Conduction thermique

On considère un corps homogène (figure 2) de section droite S, de longueur L, de masse volumique ρ , de conductivité thermique λ , de capacité thermique massique c, avec λ , ρ , c constants. La température du matériau ne dépend que de x et de t et sera notée $T(x,t)$. Les parois parallèles à l'axe x sont isolées thermiquement et on note $\vec{j}(x,t) = j(x,t)\,\vec{e}_x$ le vecteur densité de courant thermique.



$\vec{e}_x$: vecteur unitaire

Figure 2

1- Que représente $j(x,t)$? Quelle est son unité ? Enoncer alors la loi de Fourier et justifier la présence du signe moins dans cette loi.

2- Quelle est l'unité de la conductivité thermique ?

3- Effectuer un bilan énergétique pour un volume élémentaire de matériau compris entre les abscisses x et $x + dx$ entre les instants t et $t + dt$ en supposant qu'il n'existe pas d'apport énergétique autre que par conduction et qu'il n'y a pas production d'énergie interne. Donner alors l'équation aux dérivées partielles vérifiée par $T(x,t)$.

On se place désormais (pour la suite des questions) en régime stationnaire.

4- Donner les lois de variation $T(x)$ et $j(x)$ en supposant que les extrémités du matériau sont maintenues à températures constantes, $T(0) = T_0$ et $T(L) = T_L$.

5- Tracer l'allure de la courbe de la fonction $T(x)$.

II- Résistance thermique due à la conduction

$\mathcal{P}_{th}$ représentant le flux thermique à travers la section droite S du matériau, on définit R_{th} , résistance thermique de conduction du matériau de longueur L et de surface S par la relation $T_0 - T_L = R_{th}\,\mathcal{P}_{th}$.

6- Exprimer R_{th} en fonction de L, S et λ . En faisant l'analogie avec l'électrocinétique, justifier le terme de résistance thermique et préciser l'unité de R_{th} . Quelle doit être la condition sur R_{th} pour que le flux transmis soit faible ?

7- On associe deux corps A_1 et A_2 (figure 3) de résistances thermiques R_{th1} et R_{th2} de même section S, l'un de conductivité thermique λ_1 est compris entre $x = 0$ et $x = L_1$, le second de conductivité thermique λ_2 est compris entre $x = L_1$ et $x = L_1 + L_2$. On note T_0 , T_1, T_2 les températures pour $x = 0$, $x = L_1$, $x = L_1 + L_2$. Etablir l'expression de résistance thermique R_{th} de l'ensemble en fonction de R_{th1} et R_{th2} .

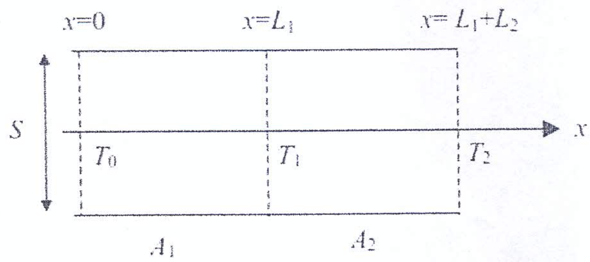


Figure 3

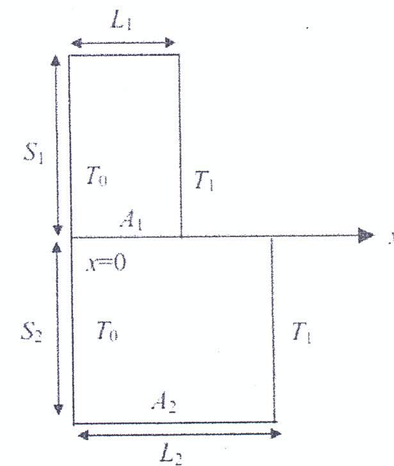


Figure 4

8- Même question lorsque les deux corps A_1 , de section S_1 et de longueur L_1 et A_2 de section S_2 et de longueur L_2 sont associés en « parallèle » (figure 4). On note T_0, la température sur les faces d'entrée pour $x = 0$ et T_1 la température sur les faces de sorties pour $x = L_1$ pour A_1, et $x = L_2$ pour A_2.

III- Transfert convectif

On considère une surface S à la température T, en contact avec de l'air à la température T_a et échangeant par convection avec celui-ci une puissance thermique P_c (sortant algébriquement de la surface S) s'écrivant $P_c = h_c\, S\,(T - T_a)$ où h_c est le coefficient de convection.

On remarquera que l'énergie thermique correspondante s'écoule du milieu où la température est la plus élevée vers le milieu où la température est la plus faible.

9- Montrer que cet échange convectif est décrit par une résistance thermique de convection R_c dont on donnera l'expression.