

Révisions de thermodynamique

I. Détendeur (oral type CCP)

Du méthane est transporté dans un gazoduc, avec un débit massique $q_m = 2,5 \text{ kg.s}^{-1}$. sous haute pression P_1 avant d'être détendu à la pression P_2 . La section de la conduite est la même en aval et amont du détendeur et vaut $S = 0,2 \text{ m}^2$. L'écoulement du gaz est permanent et le détendeur fonctionne de façon adiabatique.

A l'entrée du détendeur : $P_1 = 80 \text{ bars}$, $T_1 = 300 \text{ K}$, $v_1 = 0,0170 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ (volume massique du méthane), $h_1 = 1120 \text{ kJ.kg}^{-1}$ (enthalpie massique du méthane), et $s_1 = 9,10 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ (entropie massique du méthane).

A la sortie du détendeur : $P_2 = 3 \text{ bars}$, T_2 est inconnue et on donne :

$$h(T, P_2) = 2,21T + 539 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$s(T, P_2) = 75.10^{-3}T + 8,75 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$$

$$v(T, P_2) = 1,7.10^{-3}T + 0,013 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$$

1. Appliquer le premier principe industriel au méthane qui traverse le détendeur et montrer que, dans le cas où l'on néglige les variations d'énergie mécanique du méthane, le fluide subit une détente isenthalpique type détente de Joule-Thomson, en déduire T_2 .

2. Déduire du débit massique, les vitesses du gaz en amont et aval du détendeur. Calculer les énergies cinétiques massiques et valider l'hypothèse précédente.

3. Déterminer l'entropie créée par unité de temps.

4. Partant de l'état 1 le méthane traverse maintenant une turbine adiabatique qui remplacerait le détendeur et qui aurait aussi une pression de sortie $P_3 = 3 \text{ bars}$. Sous 3 bars la température de liquéfaction du méthane est $T_l = 128 \text{ K}$, le liquide saturant a une entropie $s_l = 5,39 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et la vapeur saturante a pour entropie $s_v = 10,4 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et pour enthalpie $h_v = 820 \text{ kJ.kg}^{-1}$. L'état en sortie de la turbine est notée 3.

4.a. Préciser dans le cas d'une détente adiabatique réversible dans la turbine la valeur de l'entropie massique s_3 en sortie de la turbine. En déduire que l'état 3 correspond à un état diphasé et calculer x_v la fraction massique en vapeur.

4.b. On admet que $x_v = 0,74$. Calculer l'enthalpie h_3 en sortie de la turbine (L'enthalpie du liquide saturant est négligée devant celle de la vapeur).

4.c. Déduire du premier principe industriel, la puissance maximale que pourrait récupérer une turbine adiabatique.

Réponses: 1- $T_2 = 263 \text{ K}$ 2- $c_1 = 0,21 \text{ m.s}^{-1}$ $c_2 = 5,75 \text{ m.s}^{-1}$ 3- $48,4 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{s}^{-1}$ 4- $P_u = -2030 \text{ kW}$.

II. Mélange liquide-glace

Dans un calorimètre de valeur équivalente en eau $M = 20 \text{ g}$, on dispose une quantité d'eau liquide de masse $m_1 = 200 \text{ g}$ à la température ambiante $t_1 = 25^{\circ}\text{C}$ (c'est également la température initiale du calorimètre). On ajoute un glaçon de masse $m_2 = 10 \text{ g}$ à la température $t_2 = -5^{\circ}\text{C}$. Lorsque l'équilibre thermique est réalisé, on mesure la température $t_f = 20,4^{\circ}\text{C}$. Calculer la chaleur latente de fusion de la glace et l'entropie créée du système liquide-glace.

Données : capacité thermique massique de l'eau liquide $c_l = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, capacité thermique massique de l'eau solide $c_s = 2,1 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, identité thermodynamique: $dS = \frac{dH}{T} - \frac{VdP}{T}$.

Réponses: $h_{fus} = 330 \text{ kJ.kg}^{-1}$, $S_c = 6 \text{ J.kg}^{-1}$

III. Etat final dans un calorimètre

Dans un calorimètre parfaitement calorifugé de capacité thermique $C = 100 \text{ J.K}^{-1}$, on verse une masse $m_1 = 190,0 \text{ g}$ d'eau liquide à la température $t_1 = 15^\circ\text{C}$. On introduit une masse $m_2 = 80,0 \text{ g}$ de glace à la température $t_2 = -20^\circ\text{C}$ et on agite jusqu'à l'obtention d'un équilibre.

1. Calculer m_e , la masse équivalente en eau du calorimètre.
2. Déterminer la température et la composition du système (eau liquide et eau glace) dans l'état final.

Données : capacité thermique massique de l'eau liquide $c_l = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, capacité thermique massique de l'eau solide $c_s = 2,1 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$, enthalpie massique de fusion de la glace à 0°C : $h_{fus} = 333 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

Réponses: 1- $m_{eq} = 24 \text{ g}$ 2- $220,3 \text{ g}$ de liquide et $49,7 \text{ g}$ de glace

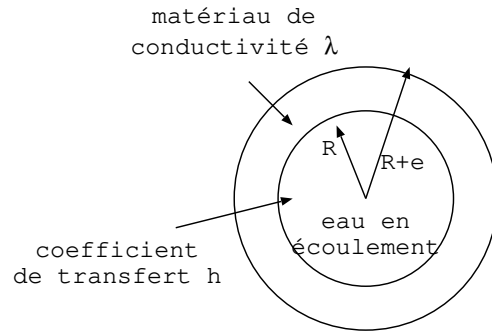
IV. Route chauffante

Le fluide caloporteur est l'eau avec du glycol qui sert d'antigel. La quantité de glycol est suffisamment faible pour qu'on assimile le fluide caloporteur à de l'eau de masse volumique $\rho = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$ et de capacité thermique massique $c = 4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ supposées indépendantes de la température. On étudie un réseau dit de surface composé d'un tuyau cylindrique de longueur $L = 60 \text{ m}$, de faible rayon et peu épais (rayon intérieur $R = 1 \text{ cm}$ et épaisseur $e = 0,5 \text{ mm}$), fabriqués en polymère recyclable et placés à environ 10 cm de profondeur dans le revêtement.



Dans l'épaisseur des tuyaux des réseaux, on suppose que la température ne dépend que de la variable r des coordonnées cylindriques.

1. Montrer que la résistance thermique R_{th} liée à la diffusion, d'une longueur L de tuyau s'écrit $R_{th} = \frac{1}{2\pi L \lambda} \ln\left(\frac{R+e}{R}\right)$ où λ est la conductivité thermique du matériau qui constitue le tuyau.
2. Au niveau du rayon intérieur des tuyaux du réseau de surface, le mouvement du fluide caloporteur entraîne une différence de température entre le rayon intérieur et le fluide caloporteur en obéissant à une loi de Newton de coefficient h . Exprimer la résistance R_N liée à la convection d'un tuyau du réseau de surface en fonction de h , λ , R et L .



Donnée: la loi de Newton s'écrit $\vec{j}_N = h(T_{solide} - T_{fluide})\vec{n}$ où \vec{n} est le vecteur unitaire sortant de la surface du solide.

3. Calculer la valeur numérique de la résistance du tuyau pour $\lambda = 0,25 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et $h = 150 \text{ SI}$. Et en déduire la conductance Γ du tuyau par unité de longueur.

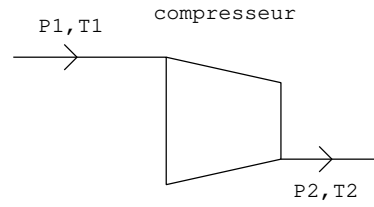
En période chaude, le revêtement routier peut être à une température uniforme de $\theta_{ext} = 70^\circ\text{C}$. L'eau en écoulement, dont la température ne dépend que de z , a une température d'entrée dans le réseau de surface égale à $\theta_e = 20^\circ\text{C}$ et une température de sortie du réseau de surface égale à $\theta_s = 65^\circ\text{C}$.

4. Exprimer le premier principe pour l'écoulement en système ouvert qui correspond à la tranche comprise entre z et $z + dz$. En déduire l'expression de $T(z)$ en fonction de θ_{ext} , θ_e , D_m , c , Γ et z .
5. En déduire le débit massique D_m de l'eau en écoulement. Faire l'application numérique.

Réponses: 2- $R_N = \frac{1}{2\pi hLR}$ 3- $\Gamma = 7,28 \text{ W.K}^{-1}.\text{m}^{-1}$ 4- $T(z) = \theta_{ext} + (\theta_e - \theta_{ext})e^{-\frac{\Gamma}{D_m c}z}$ 5- $D_m = 0,045 \text{ kg.s}^{-1}$

V. Compresseur à deux étages

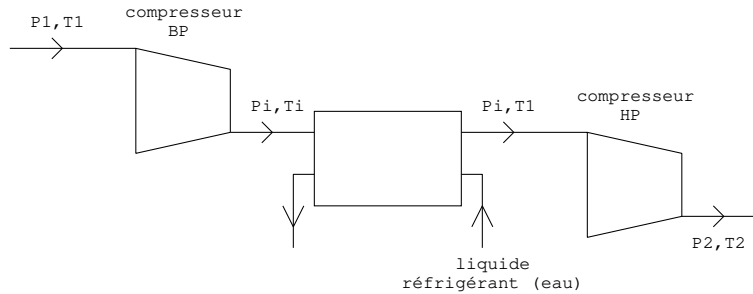
On étudie la compression adiabatique réversible de l'air dans un compresseur en écoulement permanent. L'air, assimilable à un gaz parfait tel que $c_p = 1,0 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et de coefficient $\gamma = 1,4$, est aspiré dans les conditions ($P_1 = 1,0 \text{ bar}$, $T_1 = 27^\circ\text{C}$) avec un débit massique $D_m = 1,3 \text{ kg.s}^{-1}$. Le rapport de compression est $a = \frac{P_2}{P_1} = 25$. On négligera toute variation d'énergie cinétique ou potentielle.



1. Calculer la température T_2 de l'air à la sortie du compresseur.
2. Calculer le travail utile massique de compression ainsi que la puissance correspondante.

Le compresseur comporte à présent deux étages (BP et HP):

- dans un premier temps, l'air est comprimé jusqu'à une pression intermédiaire P_i
- il est ensuite refroidi sans perte de pression par passage dans un refroidisseur intermédiaire qui le ramène à la température initiale T_1
- dans le second étage, l'air est comprimé jusqu'à la pression finale P_2 .

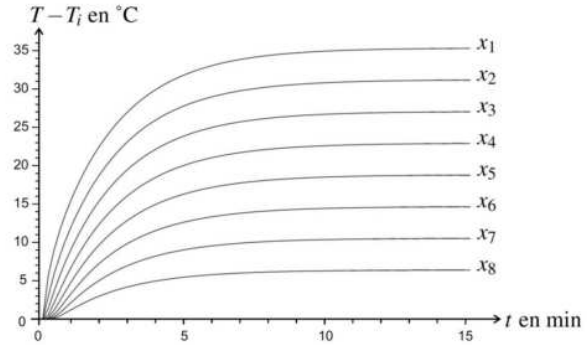
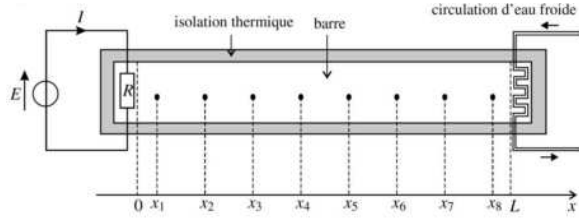


3. Exprimer littéralement le travail utile massique global de compression w_g fourni par les deux étages du compresseur en fonction de T_1 , a , c_p , γ et $r = \frac{P_i}{P_1}$ (rapport intermédiaire de compression).
4. Pour a fixé, déterminer la valeur de r qui rend ce travail minimal. Applications numériques : calculer r , T_i , T_2 et le travail utile massique w_g .
5. La réfrigération de l'air est assurée par une circulation d'eau liquide qui entre à la température $T_0 = 283 \text{ K}$ et dont la température finale ne doit pas dépasser $T_f = 293 \text{ K}$. Sachant que le refroidisseur est parfaitement calorifugé, déterminer le débit massique d'eau minimal nécessaire. On donne la capacité thermique massique de l'eau $c_e = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.

Réponses: 1- $T_2 = 752 \text{ K}$ 2- $P_m = 588 \text{ W}$ 3- $w_g = c_p T_1 (r^{(\gamma-1)/\gamma} + \frac{a}{r})^{(\gamma-1)/\gamma} - 2$ 4- $r = \sqrt{a} = 5$, $T_i = T_2 = 475 \text{ K}$, $w_g = 350 \text{ kJ.kg}^{-1}$

VI. Diffusion thermique dans un barreau

Une barre cylindrique en cuivre de section $S = 2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ est calorifugée sur sa surface latérale. Elle est chauffée à son extrémité $x = 0$ (avec une puissance $P = 15 \text{ W}$) et une circulation d'eau froide maintient son autre extrémité à température constante. Des sondes de températures sont disposées régulièrement le long de la barre (selon un espacement $e = 22 \text{ mm}$).



1. Cette expérience permet-elle d'observer le régime stationnaire ? Calculer une estimation du coefficient de diffusion.
2. Montrer que ce protocole permet de mesurer la conductivité thermique du cuivre et en faire l'estimation.

Réponses: 1- $D \approx 3.10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 2- $\lambda = 400 \text{ SI}$

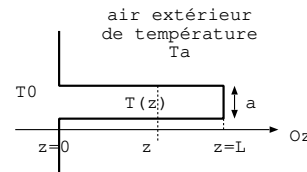
VII. Effet d'ailette par les balcons

Bien que la ressemblance entre les ailettes de refroidissement de moteur et les balcons d'un bâtiment ne soit à première vue pas évidente, ces deux éléments sont pourtant comparables. Les ailettes sur un moteur sont des lames métalliques qui servent à augmenter la surface de contact entre le corps chaud (l'air près du moteur) et le corps froid (l'air ambiant) afin d'éviter que le moteur ne chauffe trop et ne soit endommagé.

Or un mur de soutènement (plancher d'un balcon) perpendiculaire à la façade d'un immeuble joue le même rôle qu'une ailette provoquant ainsi d'importantes pertes thermiques dans l'immeuble.



On modélise un balcon par une dalle en béton de section rectangulaire de côtés $a = 10 \text{ cm}$ selon Oy , $b = 2 \text{ m}$ selon Ox et $L = 1,2 \text{ m}$ selon Oz . La dalle est fixée à une paroi de température $T_0 = 20^\circ\text{C}$ (température de la dalle en $z = 0$) et est en contact avec l'air de température $T_a = 5^\circ\text{C}$.



On rappelle la loi de Newton : $j_{th} = h(T(z) - T_a)$, où j_{th} est le flux thermique surfacique sortant de l'ailette à l'abscisse z en régime stationnaire et $T(z)$ la température de l'ailette à l'abscisse z . On donne $h = 15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ pour l'interface béton-air et la conductivité thermique du béton $\lambda = 1,75 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

1. Montrer que $T(z)$ en régime permanent vérifie l'équation différentielle $\frac{d^2 T(z)}{dz^2} - \frac{T(z)}{\delta^2} = -\frac{T_a}{\delta^2}$. Exprimer et calculer δ .
2. En déduire $T(z)$ en supposant la dalle de longueur infinie. A quelle condition, l'hypothèse 'dalle infinie' est-elle légitime?
3. En déduire la puissance thermique évacuée par la dalle.

Réponses: $\delta = \sqrt{\frac{a\lambda}{2h}} = 7,6 \text{ cm}$, $T(z) = T_a + (T_0 - T_a)e^{-z/\delta}$ et $P = 2hb\delta(T_0 - T_a)$

VIII. Machine thermique

On adopte le modèle de machine à vapeur suivant : un système ouvert en régime stationnaire constitué d'eau sous deux phases liquide et vapeur décrit un cycle ABCD. Les évolutions BC et DA sont adiabatiques et réversibles, AB et CD sont isothermes et isobares. Soit x le titre massique en vapeur.

états	A	B	C	D
P(bar)	20	20	1	1
T(K)	485	485	373	373
x	0	1	x_C	x_D

T(K)	P(bar)	$v_l(m^3/kg)$	$h_l(kJ/kg)$	$s_l(J.K^{-1}.kg^{-1})$	$v_v(m^3/kg)$	$h_v(kJ/kg)$	$s_v(J.K^{-1}.kg^{-1})$
485	20	$1,18.10^{-3}$	909	2,45	0,0998	2801	6,35
373	1	$1,04.10^{-3}$	418	1,30	1,70	2676	7,36

1. Tracer dans le diagramme entropique la courbe de saturation et le cycle ABCD décrit par l'eau.
2. Calculer x_C et x_D les titres massiques en vapeur en C et D.
3. Calculer les enthalpies massiques h_A , h_B , h_C et h_D .
4. Calculer le travail utile massique et le transfert thermique massique avec la source chaude au cours d'un cycle pour cette machine. En déduire son rendement.

Réponses : $x_C = 0,83$, $x_D = 0,19$, $h_C = 2290 \text{ kJ/kg}^{-1}$, $h_D = 847 \text{ kJ/kg}^{-1}$, $w_u = -450 \text{ kJ/kg}^{-1}$, $r = 0,24$

IX. Congélateur

Dans un congélateur supposé fonctionner réversiblement, de puissance électrique $P_e = 50 \text{ W}$, on place une masse $m = 1 \text{ kg}$ d'eau liquide à la température initiale $t_1 = 20^\circ\text{C}$ qui au bout d'un temps τ se transforme en glace à la température $t_2 = -18^\circ\text{C}$. La température de l'air de la pièce est $t_e = 20^\circ\text{C}$.

Données:

Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_l = 4,18 \text{ kJ.K}^{-1}.kg^{-1}$

Capacité thermique massique de l'eau solide : $c_g = 2,1 \text{ kJ.K}^{-1}.kg^{-1}$

Chaleur latente massique de la glace à $t_0 = 0^\circ\text{C}$: $l = 334 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

1. Calculer le transfert thermique reçue par la masse m d'eau au cours de sa transformation. Représenter la transformation de l'eau sur le diagramme d'état du corps pur eau (P en ordonnée et T en abscisse).
2. Calculer la variation relative de température de la source froide. On fait l'approximation que la température de la source froide est constante et égale à 274 K . Justifier cette valeur numérique et calculer l'efficacité du congélateur.
3. Calculer le travail électrique reçu par le congélateur pour congeler la masse m d'eau et en déduire le temps τ nécessaire.

Réponses : $Q_{eau} = \Delta H_{eau} = -455 \text{ kJ}$, $W = 31,6 \text{ kJ}$ et $\tau = 630 \text{ s}$

X. Pompe à chaleur

Une pompe à chaleur dont le fonctionnement est supposé réversible, effectue des transformations cycliques en échangeant de la chaleur avec deux sources : l'une est l'eau d'un lac dont la température est $T_0 = 280 \text{ K}$, l'autre est une masse d'eau $M = 800 \text{ kg}$ dont la température initiale est $T_i = 290 \text{ K}$. La capacité thermique massique de l'eau liquide est $c = 4,2.10^3 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$.

1. On note δQ_F , δQ_c et δW , les énergies échangées par la pompe à chaleur au cours d'un cycle. Faire un schéma en précisant la nature des sources froide et chaude, et en indiquant les sens des échanges thermiques, en déduire les signes de δQ_F , δQ_c et δW . Comment évoluent les températures de la masse M d'eau et de l'eau du lac au cours du temps? justifier votre réponse.
2. Calculer, lorsque la masse M d'eau a atteint la température finale $T_f = 333 \text{ K}$: les transferts thermiques Q_f et Q_c , le travail W absorbé par la pompe et l'efficacité globale de la pompe à chaleur.
3. Calculer le temps nécessaire pour atteindre la température voulue avec une pompe de puissance $P = 5 \text{ kW}$.

Réponses: 2- $Q_c = -1,67.10^5 \text{ kJ}$, $Q_f = +1,50.10^5 \text{ kJ}$, $W = 0,17.10^5 \text{ kJ}$

XI. Conduction thermique d'un métal

On donne les caractéristiques physiques de l'aluminium et du cuivre:

Métal	Masse molaire	Masse volumique	Capacité thermique	Conductivité thermique
Cuivre	$63,5 \text{ g.mol}^{-1}$	$9,0.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$	$385 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$	$401 \text{ W.m}^{-1}.K^{-1}$
Aluminium	27 g.mol^{-1}	$2,7.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$	$897 \text{ J.kg}^{-1}.K^{-1}$	$237 \text{ W.m}^{-1}.K^{-1}$

1. Ces données sont-elles en accord avec la loi de Dulong et Petit qui stipule que les capacités thermiques molaires des solides sont proches de $3R$ avec $R = 8,14 \text{ SI}$, constante des gaz parfaits ?

2. Une barre de cuivre cylindrique, calorifugée sur sa surface latérale, de longueur $L = 1 \text{ m}$ et de rayon a , est mise en contact thermique à une extrémité avec un bain d'eau bouillante et à l'autre extrémité avec un bain d'eau glacée (eau + glace). En régime stationnaire la quantité de glace qui fond par unité de temps est $q = 5 \text{ g.min}^{-1}$.

2.a. Estimer l'ordre de grandeur de la durée d'établissement du régime stationnaire dans la barre.

2.b. On donne la chaleur latente de fusion de la glace $l = 350 \text{ kJ.kg}^{-1}$ à pression atmosphérique. En régime stationnaire, on note P_{th} , le transfert thermique par unité de temps reçu par la glace. Faire une analogie électrique pour décrire le système étudié et déduire de cette analogie et des données, l'expression de a en fonction de q , l , L , T_1 , T_2 et λ_{Cu} .

2.c. Quelle serait la valeur de q si la barre avait la même géométrie mais était en aluminium ?

Réponses : $\frac{C_p M}{3R} \approx 1$, $\tau = \frac{L^2}{D} = 10^4 \text{ s}$, $a = 1,5 \text{ cm}$, $q_{Al} = 3 \text{ g.min}^{-1}$.

XII. Sédimentation

Une particule sphérique de masse m et de rayon a , en chute libre dans de l'eau, acquiert, très rapidement, une vitesse limite v_{lim} , sous l'action de son poids et de la force de traînée, donnée par la formule de Stokes $\vec{f} = -6\pi\eta a \vec{v}$ où η est la viscosité dynamique de l'eau. Données pour l'hémoglobine : $a = 1 \text{ nm}$, $M = 68 \text{ kg.mol}^{-1}$ (masse molaire) et $N_a = 6,0.10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

1. Vérifier que l'on peut négliger la poussée d'Archimède devant le poids et déterminer la vitesse limite \vec{v}_{lim} .

2. Un grand nombre de particules identiques de masse m et de rayon a est dispersé dans un tube cylindrique vertical de section S , rempli d'eau. On appelle $n(z, t)$ la densité volumique de particules où Oz désigne la verticale ascendante.

2.a. Déterminer le flux particulaire $\phi_g(z, t)$ par unité de temps, au travers d'une section S d'altitude z dû à l'action de la gravité.

2.b. Expliquer pourquoi on observe le phénomène de diffusion. On appelle D la diffusivité des particules dans l'eau. Déterminer le flux particulaire $\phi_d(z, t)$ par unité de temps, au travers d'une section S d'altitude z dû à la diffusion.

2.c. Quand le régime permanent est établi, déterminer $n(z)$. En interprétant cette expression avec la statistique de Boltzman soit $n(z)$ proportionnel à $e^{-E_p/k_B T}$, déterminer η en fonction de D , a , k_B et T . Donnée : $k_B = 1,38.10^{-23} \text{ SI}$, $D = 6,9.10^{-11} \text{ m}^2.\text{s}^{-1}$ à $T = 293 \text{ K}$.

2.d. Calculer la viscosité dynamique de l'eau et la vitesse limite d'une particule. Faire un calcul permettant de justifier l'expression de la force de traînée.

Réponses : $\phi_g = \frac{nmgs}{6\pi\eta a}$, $\phi_d = -D \frac{dn}{dz} S$, $\eta = \frac{k_B T}{6\pi a D} = 3.10^{-3} \text{ Pa.s}$, $v_l = 2.10^{-11} \text{ m/s}$ et $Re = 1,3.10^{-14} \ll$

1

XIII. Origine du flux géothermique

La Terre, modélisée par une boule homogène de rayon R , renferme des éléments radioactifs de très longues périodes tels que U^{235} , K^{40} et Th^{232} . Ces éléments radioactifs dégagent de la chaleur. On note q la densité volumique de puissance thermique dégagée par radioactivité, ρ la masse volumique de la Terre, λ sa conductivité thermique et c sa capacité thermique massique. Ces grandeurs sont supposées uniformes. La température de surface de la Terre est T_0 .

Données : $T_0 = 15^\circ C$, $\lambda = 1 \text{ SI}$, $R = 6400 \text{ km}$ et $\vec{\lambda T} = \frac{dT}{dr} \vec{e}_r$.

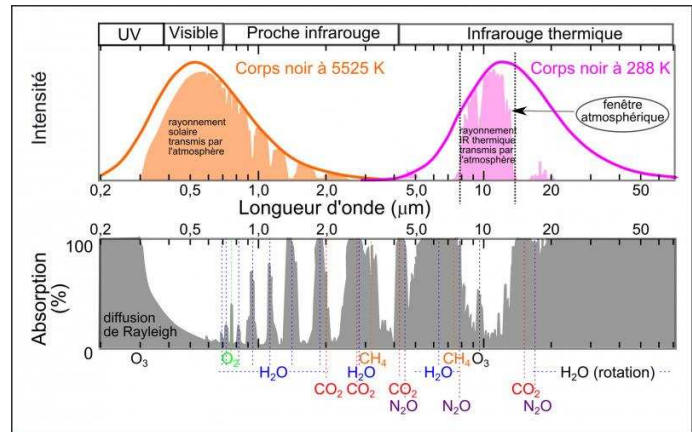
1. Quelle est la direction des lignes de courant thermique? En déduire l'expression de la puissance thermique $P_{th}(r)$ qui traverse une sphère de rayon $r < R$.
2. En régime stationnaire, établir la relation entre q et $P_{th}(r)$ à partir de la conservation de l'énergie appliquée à la sphère de rayon r .
3. En déduire $T(r)$.
4. Le flux géothermique en surface est $\phi_s = 3.10^{10} \text{ kW}$, déterminer q . Déterminer la température au centre de la Terre.

Réponses : $T(r) = T_0 + \frac{(R^2 - r^2)q}{6\lambda}$, $q = \frac{3\phi_s}{4\pi R^3}$

XIV. L'effet de serre atmosphérique

On considère que le soleil et la terre se comportent comme des corps noirs de températures respectives T_s et T_0 . Données :

- Rayon du soleil : $R_s = 700\,000 \text{ km}$
- Rayon de la terre : $R_T = 6400 \text{ km}$
- Distance terre-soleil : $d = 150.10^6 \text{ km}$
- Constante de Stefan : $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.K^{-4}$
- Constante de Wien : $K = 2898 \mu\text{m.K}$.



1. Quelques chiffres.

1.a. Exprimer la puissance totale rayonnée par le soleil P_s en fonction de σ , T_s et R_s .

1.b. Exprimer la puissance totale reçue par la terre P_T en fonction de σ , T_s , R_s , R_t et d . En déduire que la puissance surfacique du rayonnement émis par le soleil et reçue par la Terre s'écrit $\phi_s = \sigma T_s^4 \frac{R_s^2}{4d^2}$. Pour la suite on prend $\phi_s = 348 \text{ W.m}^{-2}$.

1.c. Sur les documents donnés dans l'introduction, identifiez les courbes donnant l'intensité du rayonnement émis par le soleil et par la Terre en fonction de la longueur d'onde. Vérifier que les courbes sont en accord avec la loi de Wien.

2. Dans un premier modèle où l'on ne tient pas compte de la présence de l'atmosphère, exprimer à l'équilibre thermique, la température T_0 en fonction de ϕ_s et σ . Faire l'AN et comparer à la valeur de T_0 lue sur les courbes de l'introduction. Donnée: $T_s = 5525 \text{ K}$.

3. En réalité le rayonnement émis par la terre est piégé par l'atmosphère et constitue ce qu'on appelle l'effet de serre. L'atmosphère laisse passer le rayonnement solaire qui est transparente dans le visible mais absorbe l'infrarouge. On peut considérer l'atmosphère comme un corps noir qui émet dans l'infrarouge. Déterminer la température de surface de la terre T_1 en tenant compte de l'atmosphère. Conclure.

4. En vous aidant du document donné dans l'introduction, comment pourrait-on améliorer le modèle ? Pourquoi le rejet par les activités humaines de méthane et de CFC dont la bande d'absorption est dans l'intervalle $8 - 12 \mu\text{m}$ doit-il être limité au maximum ?

Réponses: 2- $T_0 = (\frac{\phi_s}{\sigma})^{1/4}$ 3- $T_1 = (\frac{2\phi_s}{\sigma})^{1/4}$

XV. Evolution isochore

On donne pour l'eau les valeurs suivantes:

T	P_{sat}	v_l	h_l	s_l	v_v	h_v	s_v
K	bar	m^3/kg	kJ/kg	$kJ/kg/K$	m^3/kg	kJ/kg	$kJ/kg/K$
353	0,474	$1,029 \cdot 10^{-3}$	334,9	1,075	3,407	2644	7,612
388	1,69	$1,056 \cdot 10^{-3}$	482,5	1,473	1,037	2699	7,183

La température du point critique de l'eau est $T_c = 647 K$. Un récipient fermé et indilatable de volume $V = 1,000 m^3$ contient une masse $m = 1,00 kg$ d'eau à la température initiale $T_1 = 353 K$.

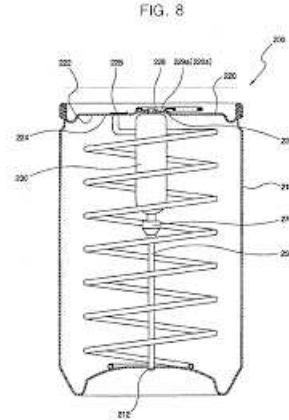
- Justifier du fait que, dans ces conditions, le système est diphasé. Calculer les titres massiques des deux phases pour cette température T_1 .
- En appliquant le modèle du gaz parfait à la phase vapeur et en négligeant le volume de la phase liquide, calculer la pression d'équilibre. Comparer à la valeur tabulée. Calculer l'enthalpie de vaporisation à la température T_1 . Données: masse molaire de l'eau: $M = 18 g.mol^{-1}$, constante des GP: $R = 8,3 SI$.
- On met le récipient en contact avec un thermostat à la température $T_2 = 388 K$.
 - Quel est l'état final du système ? On calculera les nouvelles valeurs des titres massiques.
 - Représenter la transformation dans le diagramme de Clapeyron (P, V).
 - Faire le bilan d'énergie : calculer ΔH , ΔU et Q relatifs à cette transformation.
 - Calculer l'entropie créée et conclure.

Réponses: 1- $x_v = 0,29$ 3a- $x_v = 0,96$ 3c- $\Delta H = 1600 kJ$, $\Delta U = 1490 kJ$ 3d- $S_c = 0,15 kJ.kg^{-1}$

XVI. Refroidissement d'une canette

Une canette contient un jus de fruits que l'on veut refroidir grâce à un mécanisme présent dans la canette sous la forme d'un serpentín contenant de l'azote liquide (masse $m = 50 g$). L'azote se vaporise à l'ouverture de la canette et la refroidit.

- Proposer un modèle et calculer la température atteinte par la boisson dans la canette.
- Combien faudrait-il de masse de glaçon pour atteindre une telle température ? Commenter.



Données : enthalpie massique de vaporisation de l'azote: $h_{vap}(N_2) = 190 kJ.kg^{-1}$, enthalpie massique de fusion de l'eau: $h_{fus}(H_2O) = 334 kJ.kg^{-1}$, capacité thermique massique de l'eau $c = 4180 J.kg^{-1}.K^{-1}$.