

PC

Colle 1

Question de cours :

- Définir la notion de résistance thermique en précisant les hypothèses d'utilisation
- Etablir l'expression de la résistance thermique dans le cas 1D cartésien

Exercice 1. Etude d'un compresseur.

De l'air entre dans un compresseur (alimentant une turbine à gaz) à la pression $P_1 = 95 \text{ kPa}$ et à la température $\theta_1 = 15^\circ \text{C}$. Le débit massique est $D = 1,0 \text{ kg.s}^{-1}$.

La pression de sortie est $P_2 = 1,2 \text{ MPa}$. Le compresseur est calorifugé et les variations d'énergie cinétique et potentielles seront négligées.

L'air sera assimilé à un gaz parfait de masse molaire $M = 29 \text{ g.mol}^{-1}$ et de coefficient $\gamma = 1,4$. On rappelle que la constante des gaz parfait vaut $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$.

1. Calculer la puissance requise pour entraîner le compresseur P_{REV} ainsi que la température de sortie T_2 si on suppose que la compression est réversible.

On appelle rendement isentropique du compresseur le rapport entre la puissance requise pour une évolution réversible P_{REV} et la puissance associée à une transformation réelle $\eta = \frac{P}{P_{\text{REV}}}$.

2. Reprendre la question 1 en supposant que le compresseur a un rendement isentropique de 87% (tout en restant calorifugé).
3. Calculer la variation d'entropie massique associée à la transformation réelle. Commenter.

Colle 2

Question de cours :

Etablir l'équation de la diffusion thermique dans le cas unidimensionnel cartésien puis commenter au maximum

Exercice 1. Détente de Joule-Thomson (Oral 2023).

On considère un fluide (considéré comme un corps pur) s'écoulant dans un tube, en régime permanent.

A l'entrée du tube, le fluide est sous forme de liquide dans l'état (1) ($T_1 = 25^\circ\text{C}$, $P_1 = 3,5 \text{ bar}$). A la sortie du tube, il est sous forme de vapeur (assimilée à un gaz parfait $\gamma=1,2$) dans l'état (2). On donne son enthalpie massique de changement d'état à la température T_1 soit $L(T_1) = 260 \text{ kJ.kg}^{-1}$, sa capacité calorifique à pression constante de la phase vapeur $c_p = 1,9 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.



1. Exprimer l'entropie massique $s(T,P)$ d'un GP en fonction de $s(T_0,P_0)$, c_p , R la constante des gaz parfait et M sa masse molaire.
2. A quelles conditions l'enthalpie massique du fluide n'est pas modifiée par le passage dans le tube ? On se place dans ces conditions pour l'ensemble de l'exercice.
3. Calculer la température du fluide en sortie du tube.
4. Calculer la variation d'entropie massique du fluide entre l'état (1) et l'état (2). En déduire que l'écoulement du fluide dans le tube est irréversible.
5. On trouve pratiquement une température du fluide $T_2 = -45^\circ\text{C}$. Commenter cette valeur.

Colle 3

Question de cours :

Etablir le premier principe pour un écoulement stationnaire

Exercice 1. Taille critique d'une bactérie aérobique (extrait Centrale/Supélec PC 2008).

Remarques :

- les vecteurs sont notés en gras
- aucune formule d'analyse vectorielle n'est fournie au candidat

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

On étudie les conditions de survie d'une bactérie aérobique dans un lac de très grande taille à la température de 297 K. Pour vivre, elle a besoin de consommer le dioxygène dissous dans l'eau au voisinage de sa surface.

La bactérie est modélisée par une sphère de centre O fixe, de rayon R ; sa masse volumique μ est assimilée à celle de l'eau. On se place en régime stationnaire et on note $n(r)$ la densité particulière, exprimée en m^{-3} , du dioxygène dissous à la distance r du centre O ($r > R$). La diffusion du dioxygène dans l'eau obéit à la loi de Fick avec un coefficient de diffusion $D = 2,0 \cdot 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Loin de la bactérie la concentration molaire volumique du dioxygène dissous dans le lac vaut $c_0 = 0,20 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-3}$.

On admet que la consommation en dioxygène de la bactérie est proportionnelle à sa masse et on introduit le taux horaire A de consommation de dioxygène par unité de masse, mesuré en $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

A. Densité particulière en dioxygène au voisinage de la bactérie.

1. Rappeler la loi de Fick reliant la densité de courant particulier $\mathbf{j} = j(r) \mathbf{e}_r$ à la densité particulière $n(r)$.
2. Exprimer $\Phi(r)$ le nombre de molécules de dioxygène entrant par unité de temps dans une sphère de rayon r ($> R$) en fonction de $j(r)$ et r. Justifier que Φ ne dépende pas, dans le

cas étudié, du rayon r de la sphère considérée. On le notera donc simplement Φ ensuite.

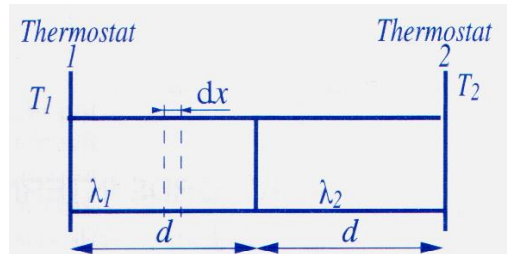
3. Déterminer l'expression de la densité particulière n_1 en dioxygène dissous sur la surface extérieure de la bactérie ($n_1 = n(r=R)$) en fonction de Φ , D, R, N_A et de la concentration molaire volumique c_0 de dioxygène à grande distance de la bactérie.

B. Taille critique de la bactérie.

1. Exprimer Φ en fonction de N_A , A, de la masse volumique μ et du rayon R de la bactérie.
2. En déduire l'expression de n_1 en fonction de μ , A, R, D, N_A et c_0 . Commenter la variation de n_1 en fonction du rayon R de la bactérie.
3. Quelle inégalité doit vérifier n_1 pour que la bactérie ne suffoque pas ? En déduire l'expression du rayon critique R_C d'une bactérie aérobique en fonction de D, c_0 , μ et A. Vérifier l'homogénéité du résultat.
4. Calculer numériquement R_C sachant que $A = 0,020 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$. Comparer ce résultat à la dimension caractéristique $R = 1 \mu\text{m}$ de la bactérie E. coli.

Etude d'un contact thermique .

Deux thermostats réglés aux températures T_1 et T_2 sont séparés par deux cylindres de longueur d , de section S et de conductivités thermiques respectives λ_1 et λ_2 . On se place en régime stationnaire.

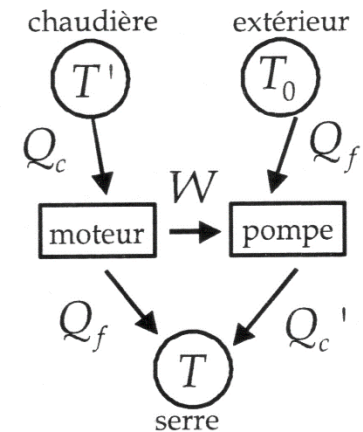


1. Déterminer la température T_0 à la jonction des deux cylindres en régime permanent.
2. Exprimer l'entropie créée par unité de temps sur une tranche de longueur dx pour chacun des deux cylindres.

Chauffage d'une serre.

Pour maintenir une serre à la température $\theta=25^\circ\text{C}$, l'extérieur étant à la température $\theta_0 = 10^\circ\text{C}$, il faut fournir par jour un transfert thermique Q . Ce transfert est fourni par une chaudière qui brûle une masse m de carburant et on a la relation $Q=\alpha m$ où α est une constante. La température de fonctionnement de la chaudière est $\theta'=90^\circ\text{C}$.

On propose d'étudier un autre mode de chauffage utilisant deux machines thermiques cycliques dithermes : un moteur fonctionnant entre les deux sources à θ et θ' et une pompe à chaleur fonctionnant entre l'extérieur et la serre. On donne le schéma énergétique du système.



1. Déterminer l'efficacité maximale de la pompe à chaleur e_p après l'avoir définie.
2. Déterminer le rendement maximal du moteur η après l'avoir défini.
3. Montrer, à l'aide du schéma énergétique, que la masse m' de carburant brûlée chaque jour avec ce dispositif est inférieure à m . exprimer m' en fonction de m .

Refroidissement d'une bouteille d'eau.

Un réfrigérateur fonctionne dans une pièce à 20°C et est réglé pour maintenir son compartiment intérieur à 5°C . Il consomme une puissance électrique maximale de 200 W .

1. Quelle est son efficacité maximale ?
2. On place une bouteille d'eau de volume $1,0\text{ L}$ dans le réfrigérateur. Quel est le temps minimum pour qu'elle se refroidisse à 5°C ? On donne $c_{\text{eau}} = 4,18\text{ kJ.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
3. Si l'efficacité du réfrigérateur vaut 80% de son efficacité maximale. Quelle est la durée de refroidissement de la bouteille ?

Amélioration du chauffage d'une serre.

On souhaite maintenir la température d'une serre à la valeur constante $T_s = 293 \text{ K}$. L'air extérieur est à la température $T_{\text{ext}} = 273 \text{ K}$. La serre fait une surface $S = 1000 \text{ m}^2$. Les pertes thermiques avec l'extérieur sont évaluées à $\varphi = 40 \text{ W.m}^{-2}$. On utilise une chaudière à la température $T_c = 600 \text{ K}$ capable de fournir un transfert thermique à un circuit d'eau. On s'autorise une variation maximale de 60°C pour l'eau.

1. Si le circuit d'eau est simplement amené via des échangeurs à réchauffer l'air de la serre, quel est le débit massique minimum que l'on doit assurer dans le circuit d'eau liquide ?

On décide de ne pas utiliser directement la chaudière pour chauffer la serre mais d'adopter le dispositif suivant : la chaudière fournit le transfert thermique à l'agent thermique d'un moteur cyclique réversible fonctionnant entre la chaudière à la température T_c et l'air extérieur à T_{ext} . Le travail récupéré du moteur est utilisé pour actionner une pompe à chaleur réversible fonctionnant entre l'air extérieur et l'air intérieur de la serre.

2. En définissant clairement vos notations, reporter sur un schéma de principe les différents échanges énergétiques algébriques mis en jeu de la chaudière à l'air intérieur. On précisera leur signe.
3. Etablir le rapport entre la puissance thermique reçue par l'air intérieur et la puissance thermique délivrée par la chaudière. Commenter.

Données :

- Capacité thermique massique de l'eau liquide $c = 4,2 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.

Modèle de propulsion d'une fusée.

On veut modéliser la propulsion d'une fusée. Celle-ci se fait par combustion des propergols (noms génériques des espèces chimiques utilisées). La réaction chimique produit un gaz à haute température et haute pression qui est éjecté, ce qui entraîne le mouvement de la fusée.

1. En raisonnant sur le système {fusée+ gaz éjecté} expliquer qualitativement en quoi ce mécanisme permet effectivement de faire avancer la fusée.

Afin d'identifier les paramètres pertinents du problème on considère que la chambre de combustion est remplie d'un gaz parfait de coefficient γ , à la température T_1 et à la pression P_1 qui se détend de manière très rapide dans une tuyère donnant dans le vide.

2. Sur la base d'hypothèses raisonnables, exprimer la vitesse d'éjection v_E du gaz en fonction des données et de sa masse molaire M .
3. Faire une AN pour de l'hydrogène moléculaire initialement à la température de 1000 K (pour les molécules diatomiques $\gamma = 1,4$)
4. Quels sont alors, selon vous, les critères sur lesquels sont choisis les propergols ?
5. Discuter les limites du modèle sur lequel on a basé les calculs.

Diffusion en présence d'un champ extérieur. Relation d'Einstein.

NB : les vecteurs sont notés en gras.

On étudie un équilibre de sédimentation mettant en jeu la diffusion, mais aussi le champ de pesanteur.

Des particules sphériques de rayon R , de masse volumique ρ , sont en suspension dans un fluide de masse volumique ρ_0 . Leur densité volumique n ne dépend que de la hauteur z par rapport au fond du récipient. Au cours de leur chute, les particules sphériques sont soumises à une force visqueuse $-6\pi\eta R\mathbf{v}$ où η est la viscosité du liquide.

On souhaite déterminer la distribution à l'équilibre $n(z)$.

1. Préciser les unités de η .
2. Montrer que les particules atteignent rapidement une vitesse limite. La déterminer. Valeurs numériques : $R = 500 \mu\text{m}$, $\rho = 1200 \text{kg.m}^{-3}$; $\eta = 1,0 \cdot 10^{-3}$ si le fluide est de l'eau.
3. En déduire l'expression de la densité de courant associée à cette chute $\mathbf{j}_E$ (courant d'entraînement).
4. Expliquer pourquoi un courant diffusif va naître au sein du système et donner son sens.

On désigne par D le coefficient de diffusion des particules dans le fluide.

5. Ecrire la condition traduisant l'équilibre des courants dans le fluide. En déduire $n(z)$ densité volumique des particules à l'équilibre.

On peut montrer en physique statistique que des particules à l'équilibre thermique à la température T en présence d'un champ extérieur conservatif

se distribue suivant : $n(M) = A e^{-\frac{E_{\text{pot}}(M)}{kT}}$ où $E_{\text{pot}}(M)$ est l'énergie potentielle d'une particule au point M due au champ extérieur et k est la constante de Boltzmann.

6. En déduire l'expression de D en fonction des constantes du problème (relation d'Einstein, 1905).

Isolation d'un mur

Données préliminaires : conductivité thermique de la brique $\lambda_1 = 1,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$; conductivité thermique du polystyrène expansé $\lambda_2 = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Soit un mur de brique d'épaisseur $e = 15 \text{cm}$ et de surface $S = 8,7 \text{m}^2$ séparant l'intérieur d'une pièce à la température $T_i = 19^\circ\text{C}$ de l'extérieur à la température $T_e = 4^\circ\text{C}$.

Quelle épaisseur e' de polystyrène faut-il placer pour réduire les pertes thermiques du mur d'un facteur 5 ?