1 Statique des fluides

1.1 Partie immergée d'un iceberg

Exercice MF 10 (CCP) : Partie immergée d'un iceberg

Considérons un iceberg de volume total V flottant sur l'eau. Soit v le volume de la partie émergée. Déterminer le rapport v/V.
On donne les masses volumiques respectives de l'eau, de la glace et de l'air :
$\rho_e = 1.10^3$ kg.m^{-3}; $\rho_g = 0{,}9.10^3$ kg.m^{-3}; $\rho a = 1$ kg.m^{-3}.

1.2 Equilibre de trois liquides non miscibles

Exercice MF 12 (CCP-IV-7) : Equilibre de trois liquides non miscibles

Un système de trois liquides non miscibles (eau, mercure, alcool) est en équilibre dans un tube un U ouvert à l'air libre. Les hauteurs respectives d'eau et d'alcool ainsi que la distance entre les niveaux de mercure sont indiquées sur la figure 22.

On note respectivement ρ_1, ρ_2, ρ_3 les masses volumiques de l'eau, du mercure et de l'alcool.

a) Exprimer ρ_3 en fonction de ρ_1, ρ_2, h_1, h_2, h_3.

b) Calculer numériquement ρ_3, sachant que :
$h_1 = 0{,}80$ m, $h_2 = 0{,}05$ m, $h_3 = 0{,}20$ m,
$\rho_1 = 1{,}0\ 10^3$ kg $\cdot$ m^{-3}, $\rho_2 = 1{,}36\ 10^4$ kg $\cdot$ m^{-3}.

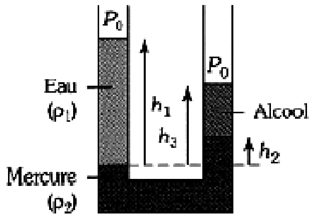


Figure 22

1.3 Banque PT 2013

Premier exercice

On considère l'atmosphère comme un gaz parfait et isotherme à T = 300 K.

1. Déterminer la pression en fonction de l'altitude z.

2. En déduire la masse volumique en fonction de z.

3. Calculer le poids de la colonne d'air de section S. Commenter

2 Premier principe

2.1 Groupe de transformations du gaz parfait

Exercice T 6 (CCP-IV-9) : Groupe de transformations du gaz parfait

On considère n moles de gaz parfait dans l'état initial P_0, T_0. Ce système réalise une succession de groupes de deux transformations :

- compression isotherme réversible jusqu'à P ;
- détente adiabatique réversible de P à P_0.

On donne $\gamma = \frac{C_{Pm}}{C_{Vm}}$ indépendant de la température.

a) Quelle est la température T_1 atteinte après un groupe de transformations ? T_k après k groupes ?

b) Quel est le travail reçu par le gaz parfait lors du premier groupe ? Après k groupes ?

c) Quel est le transfert thermique reçu lors du premier groupe ? Après k groupes ?

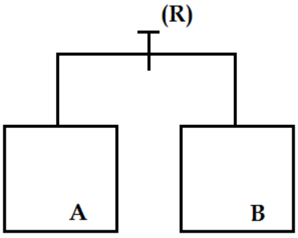
d) Représenter en coordonnées de Clapeyron (P, V) un groupe de transformations. Comment se placent les suivants ?

3 Second principe

3.1 Mines-Ponts MP 2013

Exercice 1 :

Initialement, il y a n_0=1 mol de gaz parfait à T_0=273 K et P_0=1 bar dans le compartiment A et B est vide. Les volumes des deux compartiments sont égaux. À t=0, on ouvre (R) et on laisse le système évoluer jusqu'à ce que la pression dans B soit égale à la pression en A. On referme alors (R). On note T_1, x_1, T_2, x_2 la température et la fraction molaire de gaz respectivement dans A et B après fermeture de (R).

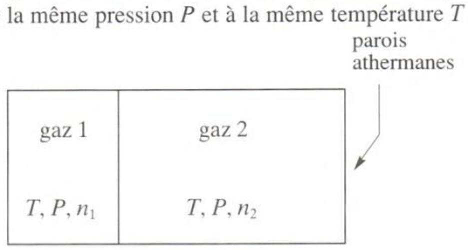


1) Par une étude qualitative, ranger T_0, T_1, T_2 par ordre croissant. A-t-on $x_1 > x_2$ ou $x_1 < x_2$?
2) Déterminer la pression P à l'état final.
3) Déterminer T_1, x_1, T_2, x_2.
4) Calculer la variation d'entropie au cours de cette transformation. Oralement : comment obtient-on les identités thermodynamiques ?
On ouvre à nouveau (R) et on laisse le système évoluer.
5) Que se passe t-il ? Déterminer la pression, la température et la fraction molaire de gaz dans A et dans B.
6) Calculer la variation d'entropie au cours de cette seconde transformation. Oralement : il y a eu transfert thermique entre A et B au cours de cette transformation : quel est le mode de transfert thermique ?

3.2 Transfert de matière, irréversibilité

9 Transfert de matière, irréversibilité

Un récipient, dont les parois sont athermanes, est séparé en deux compartiments par une paroi amovible ; dans l'un se trouvent n_1 moles de gaz parfait occupant un volume V_1 et, dans l'autre, n_2 moles de gaz parfait occupant un volume V_2. À l'instant initial, les deux gaz sont à l'équilibre sous la même pression P et à la même température T.



On ôte la paroi mobile et on attend l'établissement d'un nouvel équilibre thermodynamique.

1 Déterminer l'état final de chacun des deux gaz.

2 Déterminer l'entropie créée au cours de l'évolution par le système constitué des deux gaz.

3 On pose $n_2 = xn_1$; étudier et tracer la fonction $\mathcal{S}_{\text{créée}}(x)$ pour x tendant vers zéro.
Conclure quant à la réversibilité éventuelle de l'évolution.

4 Machines thermiques

4.1 Etude d'un cycle

Exercice T 4 (CCP-I-20) : Etude d'un cycle

De l'air assimilé à un gaz parfait, de coefficient isentropique $\gamma = 1,40$ décrit le cycle $ABCD$ suivant
- les transformations AB et CD sont adiabatiques et réversibles,
- les transformations BC et DA sont isothermes et réversibles.

On donne $T_B = 1431$ K, $P_D = 1,0$ bar, $T_D = 323$ K, $V_D = 2,40$ L et le transfert thermique $Q_{BC} = 1,24$ kJ reçu par 'air au cours de la transformation BC

1) Calculer le nombre de moles d'air, les volumes V_A, V_B, V_C et les pressions P_A, P_B et P_C.

2) Tracer l'allure du cycle $ABCD$ dans un diagramme de Clapeyron.

3) Calculer les travaux et les transferts thermiques reçus par le gaz au cours de chacune des évolutions AB, BC, CD et DA.

4) Calculer le travail W récupéré et le rendement ρ du moteur Montrer que le rendement ρ ne dépend que de T_B et T_D.

5) Que devient le rendement si l'on a un cycle irréversible ?

4.2 Cycle de Brayton

4.B.26 - Cycle de Brayton **5/2**

Un gaz parfait décrit un cycle de Brayton moteur réversible, caractérisé par deux isobares (de pressions respectives P_1 et P_2 avec $P_1 < P_2$) alternées avec deux adiabatiques.

1) Diagramme de Clapeyron :

1.a) Quel est la forme du cycle dans le diagramme de Clapeyron ?

1.b) Dans quel sens est décrit le cycle dans le diagramme de Clapeyron ?

2) Etablir le rendement η du moteur thermique en fonction de γ, P_1 et P_2.

4.3 Cycle de Stirling

4.B.27 - Cycle de Stirling **5/2**

Un cycle de Stirling est formé de deux isothermes (aux températures T_1 et $T_2 < T_1$) et de deux isochores (aux volumes V_1 et $V_2 > V_1$) alternées. Le cycle est supposé réversible ; il est décrit dans le sens moteur par un gaz parfait caractérisé par son γ.

1) En fonction des températures T_1 et T_2, du taux de compression $a = \frac{V_2}{V_1}$ et de n, R et γ, établir les expressions :

1.a) de la quantité de chaleur Q_1 reçue par le système au cours d'un cycle moteur réversible ;

1.b) de la quantité de chaleur Q_2 cédée par le système au cours d'un cycle moteur réversible ;

1.c) du rendement thermodynamique η de ce cycle.

2) Comparaison avec le cycle de Carnot :

2.a) Quelle est l'expression du rendement du cycle de Carnot réversible η_0 correspondant (c'est à dire utilisant des sources dont les températures sont égales aux températures extrêmes précédentes) ?

2.b) Comparer les deux rendements et montrer que le sens de l'inégalité est indépendant des valeurs numériques des paramètres.

4.4 Centrale MP 2012

On s'intéresse à un cycle moteur dans un satellite artificiel permettant de produire de l'énergie électrique. On prend n=10 mol d'un gaz parfait. Il subit les transformations suivantes :

A ⟶ B : isotherme

B ⟶ C : échauffement isobare

C ⟶ D : détente adiabatique

D ⟶ A : refroidissement isobare.

On donne P_A=1,0.10^5 Pa, P_B=5,0.10^5 Pa, T_A=600 K, T_C=1200 K.

1) Calculer les pressions, températures et volumes des points A, B, C et D.

2) Calculer le travail fourni par le cycle.

3) Calculer le rendement.

4) On capte de l'énergie grâce à un réflecteur plan circulaire. La puissance surfacique du rayonnement solaire au niveau du réflecteur est de 1400 W.m^{-2}. Sachant que la puissance du moteur est de 3000 W, calculer le diamètre du réflecteur. Comparer à celui d'une photopile de même puissance mais de rendement de 15 %.

5 Changements d'état

5.1 Un problème de calorimétrie

Planche TH 620 : Un problème de calorimétrie. (Saint Cyr-12).

On mélange, à pression constante dans un calorimètre de valeur équivalente en eau m_{cal}, une masse m_1 d'eau (liquide) à la température T_1 et une masse m_2 de glace à la température T_2. Le candidat cherchera dans une table thermodynamique toute donnée nécessaire à la résolution du problème.

1°) Rappeler ce que représente la valeur en eau d'un calorimètre.

2°) On suppose que toute la glace a fondu.

a) Que vaut la température finale dans le calorimètre ?

b) Faire le bilan entropique résultant de ce mélange.

3°) On suppose qu'une partie seulement de glace a fondu.

a) Exprimer cette masse.

b) Faire le bilan entropique de cette transformation.

5.2 Mines-Ponts PSI

Une pompe à chaleur fonctionne de manière réversible entre une piscine de dimensions 20 m × 30 m × 3 m et une patinoire 20 m × 30 m × 3 cm. Initialement, la patinoire et la piscine sont remplies d'eau liquide à la température $T_0=17^\circ C$. On veut que la température finale de la patinoire soit de $-10^\circ C$. Quelle est celle de la piscine à la fin ? Quelle est l'énergie dépensée ?

On donne les capacités thermiques massiques de l'eau liquide et de la glace : $c_l=4{,}18 kJ\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}$ (eau liquide), $c_g=1{,}9 kJ\cdot kg^{-1}\cdot K^{-1}$ (glace), ainsi que l'enthalpie de fusion de la glace $L_f=334 kJ\cdot kg^{-1}$.

6 Systèmes ouverts

6.1 Accélération d'un gaz dans une tuyère

Exercice B 3 (CCP-V) : Accélération d'un gaz dans une tuyère

Un gaz parfait s'écoule de manière réversible dans une tuyère calorifugée, sans pièce mobile (Fig. 13). Le régime est permanent. On supposera que les paramètres de l'écoulement ne dépendent que de la variable x.

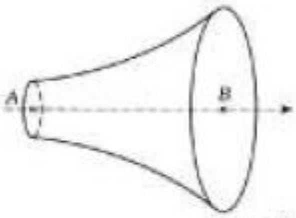


Figure 13

a) En appliquant le premier principe de la thermodynamique, montrer qu'entre deux abscisses A et B,

$$c_p(T_B - T_A) = \frac{1}{2}(c_A^2 - c_B^2)$$

où c_p est la capacité thermique massique du gaz parfait (supposée constante) et c la vitesse de l'écoulement.

b) Exprimer c_p en fonction de R, constante des gaz parfaits, M masse molaire du gaz considéré et $\gamma = c_p/c_v$

c) En déduire une relation entre dT, R, M, γ et $d(c^2)$.

d) Dériver logarithmiquement la loi de Laplace.

e) Exprimer la masse volumique du gaz parfait en fonction de la pression P et de la température. Dériver logarithmiquement cette relation.

f) Dériver logarithmiquement la conservation du débit massique. On notera $S(x)$ la section de la tuyère.

g) On rappelle que la vitesse du son c dans un gaz est donnée par $c_0 = (\gamma RT/M)^{(1/2)}$ Montrer qu'il existe un domaine de vitesse dans lequel un élargissement de la tuyère provoque une accélération du gaz.