

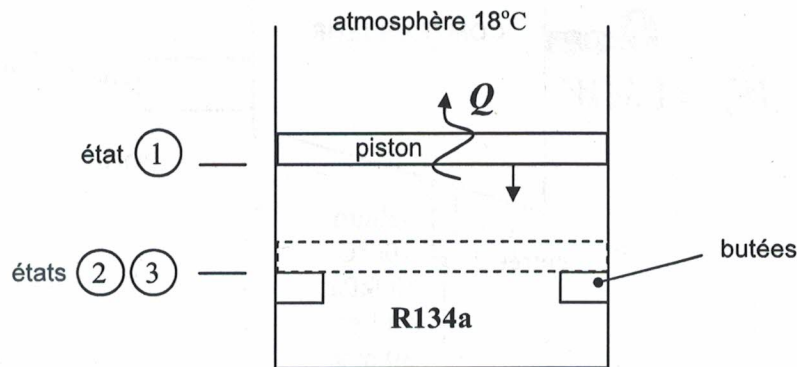
Question No. 1 (25 points)

Un cylindre avec l'extrémité supérieure ouverte à l'atmosphère et muni de butées et d'un piston étanche et sans friction renferme du réfrigérant R-134a, tel qu'illustré sur la figure 1. Le poids du piston est tel qu'à l'état initial, lorsque le piston est en équilibre mécanique à une certaine distance au dessus des butées, le réfrigérant est à 800 kPa et 70°C (état 1). En perdant de la chaleur à l'atmosphère qui est à une température constante de 18°C , le réfrigérant est refroidi et se contracte. Au moment où le piston effleure les butées *sans y exercer de force* (état 2), le réfrigérant est à l'état de *vapeur saturée*. Le refroidissement continue ensuite jusqu'à ce que le réfrigérant soit en *équilibre thermique* avec l'atmosphère (état 3). On peut supposer une évolution quasi-statique, que la pression et la température de l'atmosphère sont constantes et que tout changement d'énergie potentielle du réfrigérant est négligeable. On peut aussi négliger les changements d'énergie interne et d'entropie associés aux éléments solides et à l'air atmosphérique adjacent au dispositif, ainsi que tout changement d'énergie cinétique.

On demande de :

- Représenter les processus sur un diagramme P-v et T-v (avec dôme de saturation) en y montrant tous les états et évolutions. (5 points)
- Calculer le travail *total* effectué en (kJ/kg), en indiquant si le travail est fait sur le réfrigérant ou par le réfrigérant. (5 points)
- Déterminer la perte de chaleur *totale* (en kJ/kg) du réfrigérant à l'atmosphère. (7 points)
- Calculer la génération *totale* d'entropie en (kJ/kg·K). (8 points)

Figure 1



Notes: Vous devez absolument définir le(s) système(s) considéré(s).

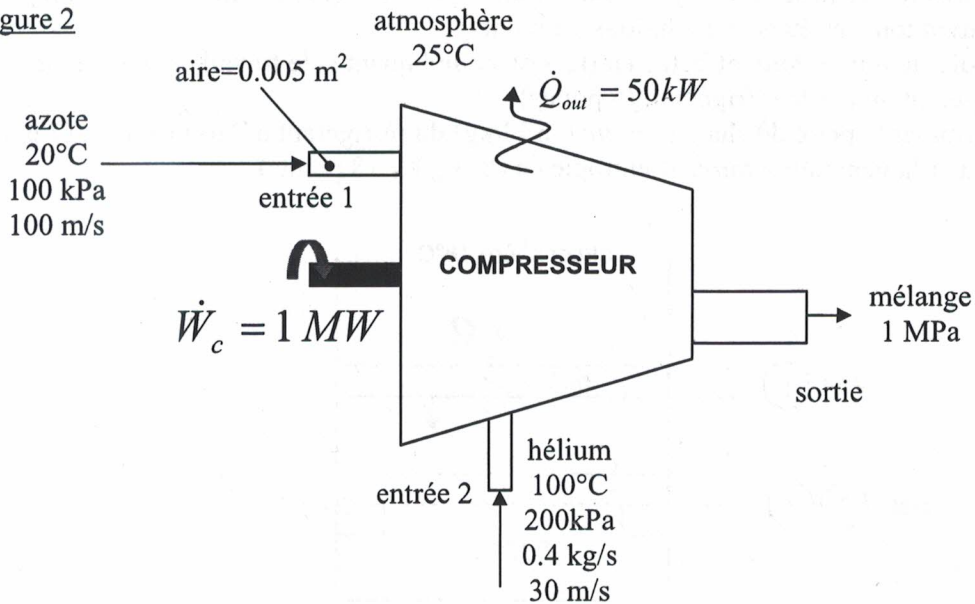
Question No .2 (25 points)

Un compresseur spécial opérant en régime permanent est conçu pour mélanger et comprimer deux gaz entrant à des pressions différentes. Tel qu'illustré sur la figure 2, de l'azote entre dans la première entrée du compresseur à 20°C et 100 kPa avec une vitesse de 100 m/s par une aire transversale de 0.005 m^2 . En parallèle, 0.4 kg/s d'hélium entre par la deuxième entrée à 100°C et 200 kPa avec une vitesse de 30 m/s . Le compresseur consomme une puissance mécanique de 1 MW et perd 50 kW de chaleur à l'atmosphère due à un mauvais isolement thermique. Un mélange uniforme des deux gaz sort du compresseur à 1 MPa avec une vitesse négligeable. On peut supposer que l'azote et l'hélium sont des gaz parfaits avec des chaleurs massiques constantes. On peut aussi négliger les changements d'énergie potentielle. La température de l'atmosphère demeure constante à 25°C .

On demande de:

- Déterminer la température du mélange à la sortie du compresseur (en $^{\circ}\text{C}$). (11 points)
- Déterminer les fractions molaires d'azote et d'hélium du mélange à la sortie. (2 points)
- Calculer le taux production totale d'entropie (\dot{S}_{gen}) (en kW/K). (12 points)

Figure 2



Données thermodynamiques:

Pour l'azote: $M = 28.013\text{ kg/kmol}$; $R = 0.2968\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$; $c_p = 1.039\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

Pour l'hélium: $M = 4.003\text{ kg/kmol}$; $R = 2.0769\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$; $c_p = 5.1926\text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$

Notes: - Vous devez **absolument** définir le(s) système(s) considéré(s).

- Des relations utiles pour les gaz parfaits et leurs mélanges se trouvent à la page 6.

Question No. 3 (25 points)

Un moteur à combustion interne est modélisé par un système cylindre-piston contenant 0.001 kg d'air exécutant un cycle comprenant les quatre processus suivants :

Processus 1-2 : Compression *polytropic* tel que $PV^n = \text{constant}$ ($n=1.30103$), de $P_1= 100$ kPa, $T_1= 300K$ à $V_2= V_1/10$.

Processus 2-3 : Chauffage à *volume constant* jusqu'à $T_3 = 800K$.

Processus 3-4 : Détente *adiabatique et réversible* jusqu'à une pression $P_4= 100$ kPa.

Processus 4-1 : Refroidissement à *pression constante*.

L'air peut être considéré comme un gaz parfait à chaleurs massiques *variables* avec $R=0.287$ kPa·m³/kg·K. On peut négliger les changements d'énergie cinétique et potentielle de l'air.

On demande de:

- Déterminer les volumes, températures et pressions de l'air aux quatre états 1, 2, 3, 4. (10 points)
- Déterminer le travail effectué pour chacun des quatre processus du cycle (1-2, 2-3, 3-4 et 4-1) (en kJ) et indiquer si le travail est effectué *par* ou *sur* l'air. (5 points)
- Déterminer l'échange de chaleur pour chacun des quatre processus du cycle (1-2, 2-3, 3-4 et 4-1) (en kJ) et indiquer si la chaleur est transférée *par* ou *à* l'air. (3 points)
- Calculer le rendement thermique du cycle. (3 points)
- Représenter le cycle sur des diagrammes P-V et T-S pour l'air en montrant les états et la direction des évolutions. (4 points)

Notes:

- Travail de frontière pour une évolution polytropic ($PV^n = \text{constant}$, $n \neq 1$)

$$W_b = \frac{P_{final} V_{final} - P_{initial} V_{initial}}{1 - n}$$

- Des relations utiles pour les gaz parfaits se trouvent à la page 6.

Question No. 4 (25 points)

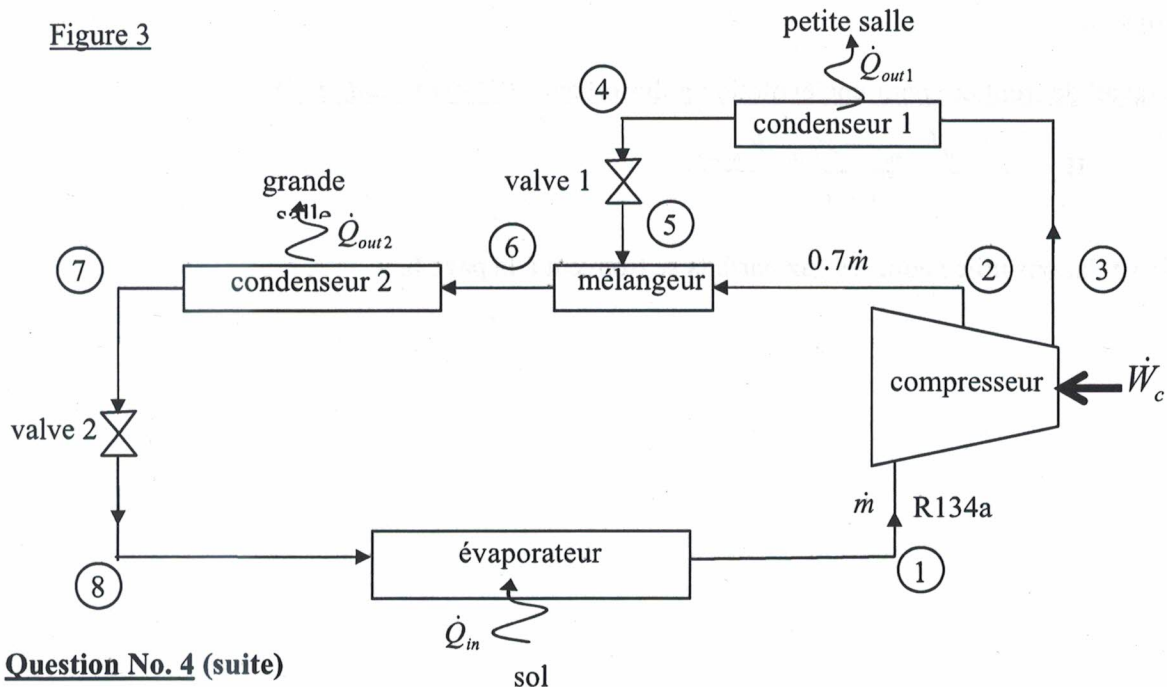
Une usine en milieu nordique requiert une grande salle maintenue à une température modérée et une petite salle gardée à une température plus élevée. Ces deux salles sont chauffées par une pompe géothermique qui fonctionne en régime permanent avec un débit *total* (\dot{m}) de 0.1 kg/s de réfrigérant 134a (R134a), tel qu'illustré sur la figure 3. Celle-ci utilise un compresseur avec extraction partielle qui alimente deux condenseurs à des pressions différentes: 70% du débit total est extrait après une compression partielle. Le reste continue dans le compresseur et passe ensuite par le condenseur 1 pour chauffer la petite salle. Ce débit à haute pression passe ensuite par la valve d'expansion 1 avant d'aller se mélanger avec le débit de pression modérée extrait du compresseur. Le débit ainsi combiné alimente le condenseur 2 pour chauffer la grande salle avant de passer par la valve d'expansion 2 et dans l'évaporateur enfoui profondément dans le sol.

Les états du fluide aux différents points du cycle sont:

- état 1: *vapeur saturée* à 100 kPa (entrée du compresseur)
- état 2: 1 MPa (première sortie du compresseur, première entrée du mélangeur)
- état 3: 1.6 MPa (deuxième sortie du compresseur; entrée du condenseur 1)
- état 4: *liquide saturé* (sortie du condenseur 1; entrée de la valve d'expansion 1)
- état 5: 1 MPa (sortie de la valve d'expansion 1; deuxième entrée du mélangeur)
- état 6: sortie du mélangeur ; entrée du condenseur 2
- état 7: *liquide saturé* (sortie du condenseur 2; entrée de la valve d'expansion 2)
- état 8: sortie de la valve d'expansion 2; entrée de l'évaporateur

Le compresseur, les valves d'expansion et le mélangeur sont *adiabatiques*. Le rendement isentropique du compresseur est de 81.59% avant la première extraction (entre les états 1 et 2), et de 90% après la première extraction (entre les états 2 et 3). On peut négliger les pertes de pression à travers les tuyaux, les condenseurs, le mélangeur et l'évaporateur. On peut aussi négliger les changements d'énergie cinétique et potentielle.

Figure 3



Question No. 4 (suite)

On demande de:

- a) Indiquer la phase et déterminer l'enthalpie, et le titre (si c'est un mélange liquide-vapeur saturé), pour chacun des états de 1 à 8. (11 points)
- b) Représenter le cycle sur un diagramme T-s (avec dôme de saturation) en montrant les états et la direction des évolutions. (5 points)
- c) Déterminer la puissance totale requise (\dot{W}_c) par le compresseur (en kW). (5 points)
- d) Calculer le coefficient de performance de la pompe thermique (basé sur le taux de transfert de chaleur total aux deux salles). (4 points)