Il est rappelé que la qualité de la rédaction, la clarté et la précision des raisonnements entreront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

Exercice 1 : Réglage du débit volumique d'un échangeur de chaleur

On souhaite refroidir un courant de méthane à 130 °C à l'aide d'eau à 15,0 °C. Pour ce faire, on fait circuler les deux fluides, à pression constante, dans un échangeur de chaleur parfaitement isolé. On souhaite que la température du flux de méthane à la sortie de l'échangeur soit de 25,0 °C.

1. Faire un schéma de l'échangeur de chaleur, en indiquant ses entrées et sorties ainsi que les fluides entrants et sortants.
2. À quel débit volumique doit-on régler le flux d'eau pour que sa température à la sortie de l'échangeur ne dépasse pas le 40,0 °C ?

Le flux de production d'entropie $\dot{\sigma}$ d'un système est la variation temporelle de la production d'entropie dans ce système.

Dans le cas d'un système ouvert :

- composé par k fluides en régime stationnaire, chacun d'eux étant en contact avec une source thermique extérieure de température T_{ext},
- comportant n entrées et n' sorties,

l'expression du flux de production d'entropie est donnée par l'expression suivante :

$$\dot{\sigma} = \sum_{k=1}^{k'} \dot{\sigma_k} = \sum_{j=1}^{n'} \dot{m}_j s_j - \sum_{i=1}^{n} \dot{m}_i s_i - \sum_{k=1}^{k'} \frac{\dot{Q}_k}{T_{ext}}$$

où s représente l'entropie massique.

3. Calculer le flux d'entropie au sein de cet échangeur isolé thermiquement.

Donnés et hypothèses :

- la variation d'énergie cinétique et d'énergie potentielle des fluides entre l'entrée et la sortie de l'échangeur est négligeable ;
- capacité thermique molaire à pression constante du méthane : $c_{\mathrm{P,CH_4}} = 22,17 + 0,0453\ T\ (\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}})$;
- capacité thermique massique à pression constante de l'eau liquide : $c'_{\mathrm{P,H_2O}} = 4184\,\mathrm{J\,kg^{-1}\,K^{-1}}$;
- débit molaire du méthane : $\dot{n}_{\mathrm{CH_4}} = 35{,}0\,\mathrm{mol\,s^{-1}}$.

Exercice 2 : Moteur Diesel

Le cycle théorique d'un moteur Diesel peut être assimilé au cycle des transformations suivantes :

- admission du mélange air-essence à l'état A ($T_A = 300\,\mathrm{K}$, $P_A = 1{,}00\,\mathrm{bar}$, $V_A = 1{,}20\,\mathrm{L}$) ;
- compression adiabatique de l'état A à l'état B. On appelle taux de compression, le rapport τ_c :

$$\tau_c = \frac{V_A}{V_B} = 20{,}0$$

- combustion du mélange gazeux à pression constante de l'état B à l'état C (T_C)
- détente adiabatique de l'état C à l'état D($P_D = 3{,}90\,\mathrm{bar}$)) ;
- refroidissement à volume constant constant de l'état D à l'état A ;
- échappement du gaz.

Données :

- masse molaire de l'air $M(air) = 29{,}0\,\mathrm{g\,mol^{-1}}$;
- coefficient adiabatique $\gamma = 1,40$;
- constante universelle des gaz parfaits $R = 8{,}3145\,\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$.

On admet qu'au cours d'un cycle ABCDA, le fluide est assimilable à un gaz parfait dont le nombre de moles reste constante au cours des transformations (combustion comprise). On considéra que l'ensemble de transformations sont réversibles.

1. Calculer la masse du mélange gazeux.
2. Déterminer les valeurs de la pression, volume et température dans les états A, B, C et D.
3. Représenter le cycle dans un diagramme de Clapeyron. Justifier qu'il s'agît d'un cycle moteur.
4. Exprimer la capacité thermique molaire à pression constante c_P en fonction du coefficient adiabatique γ et la constante universelle des gaz parfaits R.
5. Bilan thermodynamique
   (a) Donner les expressions littérales, puis calculer les travaux et les chaleurs échangés au cours de chaque transformation.
   (b) Donner l'expression général du rendement d'une machine motrice. Calculer le rendement η de ce moteur Diesel.
   (c) Donner l'expression du rendement η_c d'une machine motrice de Carnot qui fonctionnerait entre les températures T_A et T_C. Calculer le rendement de ce moteur et comparer le résultat avec celui du moteur Diesel étudié dans cet exercice.
6. Calculer la variation d'entropie pour chaque transformation du cycle. Que peut-on dire de la variation d'entropie du cycle ? Commenter.

Exercice 3 : Pompe à chaleur

En hiver, le chauffage d'une des salles d'un centre d'études est assuré par une pompe à chaleur dans laquelle de l'air (assimilable à un gaz parfait) décrit le cycle constitué par les transformations réversibles suivantes :

- chauffage isochore : état A ($\theta_A = \theta_{ext} = -5{,}00\,°\mathrm{C}$, $P_A = 1{,}00\,\mathrm{bar}$, $V_A = 2{,}00 \times 10^{-1}\,\mathrm{m^3}$) $\rightarrow$ état B ($\theta_B = \theta_{int} = 25{,}0\,°\mathrm{C}$) ;
- compression isotherme : état B $\rightarrow$ état C ($V_C = 35{,}0\,\mathrm{L}$) ;
- refroidissement isochore : état C $\rightarrow$ état D ;
- détente isotherme : état D $\rightarrow$ état A.

1. Calculer les valeurs de pression, température et volume pour chaque état du cycle.

2. Représenter le diagramme de Clapeyron du cycle. Justifier qu'il s'agît d'un cycle récepteur.
3. Calculer les travaux et les chaleurs échangées au cours de chacune des transformations.
4. En déduire le travail total W_{cycle} reçu par l'air au cours du cycle.
5. Quel serait le travail total W_{cycle} reçu par l'air si on voulait maintenir la salle à 19,0 °C au lieu de 25,0 °C ?

Cette pompe à chaleur est équipé d'un dispositif appelé régénérateur, qui accumule la chaleur dégagée par l'air au cours de l'évolution CD, et la restitue pendant la transformation AB au cours du cycle de sorte que : $Q_{CD} = -Q_{AB}$.

6. Donner l'expression, puis calculer le coefficient de performance de cette pompe à chaleur lorsque la température de la salle de cours est fixée à 25,0 °C.
7. Donner le coefficient de performance théorique d'une pompe à chaleur de Carnot fonctionnant entre les températures T_A et T_B. Comparer cette valeur avec celle obtenue dans la question précédente. Commenter.

Données : Capacité thermique molaire à volume constant de l'air $c_V = 20{,}8\,\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$; $R = 8{,}3145\,\mathrm{J\,mol^{-1}\,K^{-1}}$