

D.S. de P1-1 du jeudi 16 juin 2022

Durée : 2h

Notes à lire avant de commencer :

INSCRIRE SON NOM, PRENOM, GROUPE EN HAUT DE CHAQUE FEUILLE

Les documents ne sont pas autorisés.

Les calculatrices non-graphiques non-programmables sont autorisées.

Pour les élèves internationaux, les dictionnaires en papier non-annotés sont autorisés.

Les téléphones portables et montres connectées doivent être éteints et rangés dans les sacs.

- Tout résultat doit être justifié.
- Les calculs doivent prendre en compte les notations de l'énoncé.

Données : constante universelle des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Partie A

Exercice 1 : L'entropie dans la cuisine

Partie 1 :

1a) Donner, sans démonstration, la première identité thermodynamique.

1b) Une phase condensée purement thermique est indilatable et incompressible. Rappeler son équation d'état. En déduire l'expression de la différentielle dV du volume V d'une phase condensée purement thermique.

1c) Rappeler l'expression de la différentielle dU de l'énergie interne U d'une phase condensée purement thermique.

1d) En déduire l'expression de la différentielle dS de l'entropie $S(T)$ d'une phase condensée purement thermique.

NOM : Prénom : Groupe :

Partie 2 :

On refroidit un verre contenant une masse m d'eau, initialement à la température ambiante T_a , dans un très grand réfrigérateur à la température T_r .

Données numériques : $m = 200 \text{ g}$; $T_a = 27,0 \text{ °C}$, $T_r = 2,00 \text{ °C}$

capacité thermique massique de l'eau $c = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Pour chacune des grandeurs ci-dessous, déterminer les expressions littérales en fonction des données du problème **en justifiant clairement vos raisonnements** puis réaliser les applications numériques :

2a) la température finale T_f de l'eau

2b) la variation d'entropie de l'eau

2c) l'entropie d'échange de l'eau

2d) l'entropie créée pour l'eau

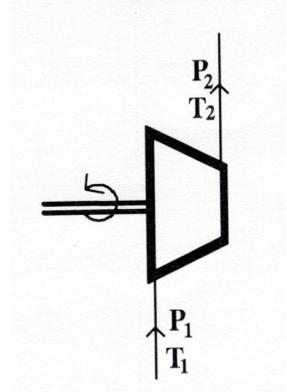
NOM : Prénom : Groupe :

2e) Commenter le signe des trois termes d'entropie calculés et conclure sur la nature de la transformation subie par l'eau.

Exercice 2 : Etude d'un compresseur

Le fréon est un gaz très utilisé comme fluide réfrigérant dans les compresseurs de réfrigérateur. On réalise un modèle très simple de compresseur de réfrigérateur.

On considère du fréon qui entre dans un compresseur à $P_1 = 210$ kPa et $T_1 = 277,6$ K. Il en sort à $P_2 = 890$ kPa.



- Modélisation :
- le fréon se comporte comme un gaz parfait de rapport isentropique $\gamma = 1,14$ et de capacité thermique massique à pression constante : $c_p = 560 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.
 - dans tout l'exercice, on considère que les transferts thermiques vers le fluide n'ont pas le temps de se faire.
 - on néglige les variations d'énergie cinétique et potentielle de pesanteur pour le fréon.

Questions préliminaires

1a) Soit $r = R/M$ la constante massique du fréon. A partir de la deuxième identité thermodynamique, déterminer l'expression de l'entropie massique s du fréon en fonction des variables T et P et des constantes c_p et r .

1b) Déterminer l'expression de r en fonction de c_p et γ .

2) Le compresseur est **idéal**, le fluide subit donc une transformation adiabatique et réversible dans cet organe.

2a) Déterminer l'expression de la température T_2 du fréon en sortie de compresseur en fonction des données du problème. Réaliser l'application numérique.

NOM : Prénom : Groupe :

2b) En écrivant le premier principe industriel pour ce compresseur, déterminer l'expression, en fonction des données du problème, du travail utile w_u reçu par 1kg de fluide (ou travail utile massique) traversant le compresseur. Réaliser l'application numérique. Commenter le signe du résultat trouvé.

2c) Déterminer l'entropie créée s^{cr} par unité de masse de fluide traversant le compresseur.

3) En réalité, le travail utile massique vaut $w'_u = 33,6 \text{ kJ.kg}^{-1}$

3a) Déterminer l'expression de la température T'_2 du fréon en sortie de compresseur en fonction des données du problème. Réaliser l'application numérique.

3b) Déterminer l'expression de l'entropie créée s'^{cr} par unité de masse de fluide traversant le compresseur. Réaliser l'application numérique. Commenter ce résultat.

NOM : Prénom : Groupe :

DS de P1-1 - Partie B**Exercice 3 : Moteur Diesel**

Cet exercice s'intéresse au cycle diesel 2-temps utilisé notamment dans les navires. De nombreuses questions peuvent être traitées indépendamment.

1) Question de cours

On considère dans cette question la machine de Carnot en fonctionnement moteur.

1a) Faire un schéma de principe du moteur contenant les sources thermiques. Indiquer le travail reçu et les transferts thermiques échangés au cours du cycle par la machine en précisant leurs signes.

1b) Donner une expression du rendement ρ du moteur en fonction du travail reçu et des transferts thermiques échangés au cours du cycle. Expliquer.

1c) En écrivant les deux principes de la thermodynamique, donner une expression du rendement ρ_c du moteur de Carnot en fonction des températures des sources chaude et froide.

1d) Décrire par un adjectif la spécificité d'une machine de Carnot.

NOM : Prénom : Groupe :

2) On étudie le cycle diesel 2-temps d'un moteur de navire. Le fluide est un gaz parfait de rapport isentropique $\gamma = 1,4$ et de capacité calorifique à pression constante $C_p = 2,30 \text{ kJ.K}^{-1}$. Au cours du cycle, le fluide subit les transformations suivantes :

- 1 → 2 Admission-Echappement : refroidissement isochore, le fluide atteint la pression atmosphérique P_0 et la température ambiante (froide) T_0 .
- 2 → 3 Compression adiabatique réversible
- 3 → 4 Combustion du mélange air-carburant : échauffement isobare, le fluide reçoit une quantité de chaleur Q_{ch} et atteint la température chaude T_4 .
- 4 → 1 : Détente adiabatique réversible

Le piston parcourt lors de l'aller ou du retour un volume (cylindrée) $\Delta V = V_2 - V_3$. Le cycle est aussi caractérisé par son rapport volumétrique $\tau = \frac{V_2}{V_3}$. On note Q_{fr} le transfert thermique avec la source froide et $\alpha = \frac{T_4}{T_0}$.

2a) Tracer le cycle du fluide dans un diagramme de Clapeyron. Vérifier que c'est bien un cycle moteur et indiquer les transferts thermiques avec les sources chaudes et froides.

2b) Proposer une expression du rendement ρ de ce moteur en fonction des transferts thermiques Q_{ch} et Q_{fr} .

2c) Déterminer les expressions de Q_{ch} et Q_{fr} en fonction des températures, de C_p et de γ et en déduire une expression du rendement en fonction des seules températures et de γ .

NOM : Prénom : Groupe :

2d) Exprimer les températures T_1, T_2, T_3 et T_4 en fonction de T_0, τ, γ et α . En déduire l'expression suivante pour le rendement :

$$\rho = 1 + \frac{1}{\gamma} \frac{1 - \alpha^\gamma \tau^{\gamma-1}}{\alpha - \tau^{\gamma-1}}$$

3) Les plus gros porte-conteneurs au monde utilisent des moteurs 2-temps de ce type. On donne les valeurs suivantes pour le moteur Wärtsilä-Sulzer 14RT-flex96C (valeurs pour un cylindre).

Le vilebrequin entraîné par le piston a une vitesse de 102 tours/min. La consommation de carburant pour un cycle (fioul lourd ayant un pouvoir calorifique $PCS = 40,0$ MJ/kg) est $m_c = 160$ g, ce qui correspond à un transfert thermique $Q_{ch} = 6,40$ MJ. On a aussi $\Delta V = 1820$ L; $\tau = 14$, $P_0 = 1,00$ atm et $T_0 = 25,0$ °C. On rappelle que le gaz a une capacité thermique à pression constante $C_p = 2,30$ kJ.K⁻¹.

La relation de Laplace donne aussi $T_3 = 583$ °C.

3a) Déterminer l'expression littérale de T_4 la température maximale atteinte dans le cylindre en fonction des données du problème. Réaliser l'application numérique.

NOM : Prénom : Groupe :

3b) En déduire alors le rendement ρ du moteur.

3c) Calculer W_{cycle} et en déduire la puissance \mathcal{P} développée par ce moteur (sachant qu'un moteur 2-temps fait un tour pendant un cycle).

3d) Calculer le rendement de Carnot ρ_c associé à ce moteur. Commenter.

3e) Dans l'objectif de réduire les émissions des navires, le fioul lourd commence à être remplacé par du gaz naturel liquéfié (essentiellement du méthane). Cela permet de réduire de 20 % les émissions de CO_2 mais surtout d'éliminer les autres pollutions issues de la combustion du fioul (oxydes d'azote, oxydes de soufre ...). Le méthane a un pouvoir calorifique $PCS_{GN} = 56$ MJ/kg.

Déterminer la masse de gaz naturel m_{GN} nécessaire par cycle pour obtenir le même travail. Commenter.