Sujet n°1

- Entropies molaires du gaz parfait :
  - $S_m(T,P) = C_{P,m}\ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) - R\ln\left(\frac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  - $S_m(T,V) = C_{V,m}\ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + R\ln\left(\frac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  - $S_m(P,V) = C_{V,m}\ln\left(\frac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + C_{P,m}\ln\left(\frac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
- Entropie massique d'une phase condensée : $s(T) = c\ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + s_{\text{ref}}$
- Capacité massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,18\ \text{kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Question de cours

Sur le cas du moteur ditherme :

— donner le sens des échanges d'énergie ;

— énoncer les deux principes sur un cycle ;

— définir le rendement/l'efficacité thermodynamique de la machine ;

— donner des ordres de grandeur de rendement/efficacité de la machine ;

— établir l'efficacité/le rendement maximal ;

Exercice n°1 Bilan d'entropie

On dispose d'un litre d'eau à 20°C que l'on met en contact avec un thermostat à 100°C pour le vaporiser. Le thermostat est idéal et évolue de façon réversible.

1 - Exprimer puis calculer la variation d'entropie de l'eau, du thermostat et l'entropie créée.

2 - Reprendre la question si l'opération est réalisée en deux temps en commençant par un thermostat intermédiaire à 60°C. Comparer les résultats obtenus pour les deux transformations.

Données :

- capacité thermique massique de l'eau liquide : $c = 4,18\ \text{kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$;
- enthalpie de vaporisation de l'eau : $\Delta_{\text{vap}}h = 2,26\cdot 10^3\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Exercice n°2 Effet Joule

Considérons une masse m d'eau dans laquelle plonge un conducteur ohmique de résistance R, traversée par un courant I pendant une durée τ. L'ensemble forme un système noté $(\ \Sigma\ )$, de température T_0, maintenue constante par contact avec un thermostat. On note C_R la capacité thermique de la résistance, et c_{eau} la capacité thermique massique de l'eau.

Procéder au bilan d'entropie de la transformation et en déduire une information intéressante sur une résistance.

Sujet n°2

- Entropies molaires du gaz parfait :
  - $S_m(T,P) = C_{P,m}\ln\left(\dfrac{T}{T_{\text{ref}}}\right) - R\ln\left(\dfrac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  - $S_m(T,V) = C_{V,m}\ln\left(\dfrac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + R\ln\left(\dfrac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  - $S_m(P,V) = C_{V,m}\ln\left(\dfrac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + C_{P,m}\ln\left(\dfrac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
- Entropie massique d'une phase condensée : $s(T) = c\ln\left(\dfrac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + s_{\text{ref}}$
- Capacité massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,18\ \text{kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Question de cours

Sur le cas de la machine frigorifique :

- donner le sens des échanges d'énergie ;
- énoncer les deux principes sur un cycle ;
- définir le rendement/l'efficacité thermodynamique de la machine ;
- donner des ordres de grandeur de rendement/efficacité de la machine ;
- établir l'efficacité/le rendement maximal ;

Exercice n°1 Détente isochore

Un récipient fermé et indéformable, de volume $V = 1,00$ L, contient dans l'état initial I de la vapeur d'eau saturante à $T_I = 485$ K. On le met en contact avec un thermostat à température $T_0 = 373$ K. L'équilibre atteint est l'état F.

Donnée : extrait de table de la vapeur saturante.

		Liquide juste saturé $x_V = 0$			Vapeur saturante $x_V = 1$		
T K	p bar	v_{L} $\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	h_{L} $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s_{L} $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$	v_{V} $\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$	h_{V} $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	s_{V} $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$
485	20	$1,18\times10^{-3}$	909	2,45	0,0998	2801	6,35
373	1	$1,04\times10^{-3}$	418	1,30	1,70	2676	7,36

1 - Déterminer la masse d'eau contenue dans le récipient.

2 - Montrer que l'état final est un mélange diphasé. Calculer son titre en vapeur.

3 - Quelles sont les caractéristiques de la transformation ? Déterminer le transfert thermique échangé par l'eau.

4 - Exprimer la variation de l'entropie. Conclure sur le caractère réversible ou non de la transformation étudiée.

Exercice n°2 Vers la réversibilité

1 - On place un solide de capacité thermique C initialement à T_0 au contact d'un thermostat à température T_∞. Vérifier que la transformation est sans grande surprise irréversible. Quelle en est la cause ?

2 - On opère maintenant par étapes : le solide est mis successivement en contact avec N thermostats de températures $T_n = T_0 + n\frac{T_\infty - T_0}{N}, \quad 1 \leq n \leq N$
Déterminer l'entropie créée dans la limite $N \to \infty$ et interpréter le résultat. On pourra considérer qu'à chaque étape le solide subit une transformation infinitésimale amenant sa température de T à $T + \mathrm{d}T$.

Sujet n°3

- Entropies molaires du gaz parfait :
  - $S_m(T,P) = C_{P,m}\ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) - R\ln\left(\frac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  - $S_m(T,V) = C_{V,m}\ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + R\ln\left(\frac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  - $S_m(P,V) = C_{V,m}\ln\left(\frac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + C_{P,m}\ln\left(\frac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
- Entropie massique d'une phase condensée : $s(T) = c\ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + s_{\text{ref}}$
- Capacité massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,18\ \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Question de cours

Sur le cas de la pompe à chaleur :

- donner le sens des échanges d'énergie ;
- énoncer les deux principes sur un cycle ;
- définir le rendement/l'efficacité thermodynamique de la machine ;
- donner des ordres de grandeur de rendement/efficacité de la machine ;
- établir l'efficacité/le rendement maximal ;

Exercice n°1 Vaporisation d'eau dans le vide

Une enceinte de volume $V = 1,00$ L, initialement vide, est maintenue à la température constante $T_0 = 373$ K . On y introduit une masse $m = 1,00$ g d'eau liquide à la température $T_0 = 373$ K. La vapeur d'eau sera assimilée à un gaz parfait.

On donne : $P_{\text{sat}} = 1,01$ bar (pression de vapeur saturante à T_0), $R = 8,31$ J.K^{-1}.mol^{-1}, $\Delta_{\text{vap}} h(T) = 2,25\text{kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ (enthalpie massique de vaporisation de l'eau à T_0), $M = 18\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ et $\rho = 1000\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

1 - Déterminer la composition finale du système.

2 - Exprimer puis calculer la variation d'entropie au cours de cette transformation.

3 - Reprendre les questions précédentes en considérant cette fois que la masse d'eau introduite dans les mêmes conditions est $m' = \frac{m}{2}$.

Exercice n°2 Chauffage par une résistance

On considère un cylindre horizontal, séparé en deux compartiments (notés A et B, de volumes respectifs V_A et V_B, de températures respectives T_A et T_B et de pressions respectives P_A et P_B) par un piston vertical, adiabatique et pouvant se déplacer sans frottement. Les parois du cylindre sont supposées rigides et parfaitement calorifugées.

Chaque compartiment contient la même quantité d'un gaz parfait diatomique, initialement dans chaque compartiment à la pression $P_0 = 1,00$bar, la température $T_0 = 300K$ et occupant un volume $V_0 = 1,00$ L. Le gaz diatomique est caractérisé par un coefficient $\gamma = \frac{C_{Pm}}{C_{Vm}} = \frac{7}{5}$. Un générateur électrique fournit une énergie au gaz A par l'intermédiaire d'un conducteur ohmique, de résistance $R_0 = 10\Omega$ et de capacité thermique négligeable. Ce conducteur est parcouru par un courant d'intensité $I = 1,00A$, pendant une durée t au bout de laquelle le volume de gaz A atteint la valeur $V_{Af} = 1,10$ L. La transformation couplée subie par le gaz B est supposée réversible. L'état final de cette évolution est défini par les valeurs $V_{Af}, V_{Bf}, P_{Af}, P_{Bf}, T_{Af}$ et T_{Bf}.

1 - Calculer la pression finale dans chacun des compartiments.

2 - Déterminer la température finale dans chacun des compartiments.

3 - Exprimer le travail reçu par le gaz du compartiment B.

4 - Déterminer la durée t.

5 - Exprimer les variations d'entropie ΔS_A et ΔS_B des gaz dans les compartiments A et B au cours de cette transformation. Conclure.

Sujet n°4

- Entropies molaires du gaz parfait :
  — $S_m(T,P) = C_{P,m}\ln\left(\dfrac{T}{T_{\text{ref}}}\right) - R\ln\left(\dfrac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  — $S_m(T,V) = C_{V,m}\ln\left(\dfrac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + R\ln\left(\dfrac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  — $S_m(P,V) = C_{V,m}\ln\left(\dfrac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + C_{P,m}\ln\left(\dfrac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
- Entropie massique d'une phase condensée : $s(T) = c\ln\left(\dfrac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + s_{\text{ref}}$
- Capacité massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,18\ \text{kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Question de cours

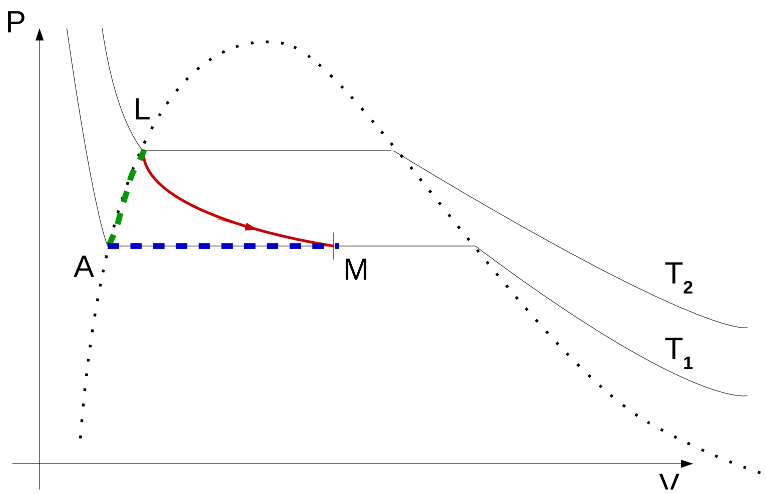
Sur le cas du moteur ditherme :

— donner le sens des échanges d'énergie ;
— énoncer les deux principes sur un cycle ;
— définir le rendement/l'efficacité thermodynamique de la machine ;
— donner des ordres de grandeur de rendement/efficacité de la machine ;
— établir l'efficacité/le rendement maximal ;

Exercice n°1 Détente de l'ammoniac

On fait subir à une masse m d'ammoniac une détente adiabatique de l'état liquide L ($P_2 = 6.2\text{bar}, T_2 = 283$ K) à l'état diphasé M ($P_1 = 1.9$ bar, $T_1 = 253$ K, $x_{g,M} = 0,69$). On donne :

— l'enthalpie massique de vaporisation de l'ammoniac $\Delta_{\text{vap}}h\,(T_1) = 1.3\times10^3\ \text{kJ}^2\cdot\ \text{kg}^{-1}$.
— la capacité thermique massique de l'ammoniac liquide $c = 4.6\ \text{kJ}\cdot\ \text{K}^{-1}\cdot\ \text{kg}^{-1}$.



1 - Justifier que l'on peut évaluer la variation d'enthalpie massique ou la variation d'entropie massique de l'ammoniac entre les états (1) et (2) en raisonnant sur un chemin fictif (LAM) joignant les (1) et (2).

2 - Évaluer la variation d'enthalpie de l'ammoniac au cours de la transformation.

3 - Évaluer la variation d'entropie au cours de la transformation.

4 - En déduire l'entropie créée. Commenter.

Exercice n°2 Masse posée sur un piston

Considérons une enceinte hermétique, diatherme, fermée par un piston de masse négligeable pouvant coulisser sans frottement. Cette enceinte contient un gaz supposé parfait. Elle est placée dans l'air, à température T_0 et pression P_0.

1 - On place une masse M sur le piston. Déterminer les caractéristiques du gaz une fois l'équilibre thermique et mécanique atteint.

2 - Déterminer le transfert thermique Q reçu par le gaz et l'entropie créée.

3 - On réalise la même expérience, mais en N étapes successives, par exemple en ajoutant du sable "grain à grain". Déterminer l'entropie créée dans la limite $N \to \infty$.

On donne $\ln(1+x) \approx x - \frac{x^2}{2}$ pour $x \to 0$.

Sujet n°5

- Entropies molaires du gaz parfait :
  — $S_m(T,P) = C_{P,m} \ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) - R\ln\left(\frac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  — $S_m(T,V) = C_{V,m} \ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + R\ln\left(\frac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  — $S_m(P,V) = C_{V,m} \ln\left(\frac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + C_{P,m}\ln\left(\frac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
- Entropie massique d'une phase condensée : $s(T) = c\ln\left(\frac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + s_{\text{ref}}$
- Capacité massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,18\ \text{kJ}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$

Question de cours

Sur le cas de la machine frigorifique :

— donner le sens des échanges d'énergie ;

— énoncer les deux principes sur un cycle ;

— définir le rendement/l'efficacité thermodynamique de la machine ;

— donner des ordres de grandeur de rendement/efficacité de la machine ;

— établir l'efficacité/le rendement maximal ;

Exercice n°1 Cycle monotherme

Une mole de gaz parfait de coefficient adiabatique $\gamma = 1,4$ subit la succession de transformations suivantes :

- détente isotherme de $P_A = 2,0$ bar et $T_A = 300$ K jusqu'à $P_B = 1,0$ bar en restant en contact avec un thermostat à $T_T = 300$ K ;
- évolution isobare jusqu'à $V_C = 20,5$ L toujours en restant au contact du thermostat à T_T.
- compression adiabatique réversible jusqu'à l'état A.

1 - Représenter ce cycle en coordonnées de Clapeyron (P,V). S'agit-il d'un cycle moteur ou récepteur ?

2 - Exprimer le travail W_{AB} puis le transfert thermique Q_{AB}.

3 - Exprimer la variation de l'entropie, l'entropie échangée et l'entropie créée entre A et B.

4 - Exprimer la température en C, le travail W_{BC} et le transfert thermique Q_{BC} reçu par le gaz au cours de la transformation BC. En déduire l'entropie échangée avec le thermostat ainsi que l'entropie créée.

5 - Exprimer puis calculer la valeur numérique de l'entropie créée au cours d'un cycle. Le cycle proposé est-il réalisable ? Le cycle inverse l'est-il ?

Exercice n°2 Exploitation Iceberg

Dans les années 1980, il a été envisagé de remorquer des icebergs de l'Antartique jusqu'en Arabie Saoudite comme source d'eau douce ainsi que pour tempérer le climat. Les dimensions moyennes des icebergs concernés sont 1000 m de long, 200 m de large et 150 m de haut. On suppose que la température moyenne de l'iceberg est $\theta_0 = -10°\text{C}$.

Déterminer le transfert thermique absorbé par l'iceberg pour le transformer en eau à la température $\theta_1 = 30°\text{C}$.

On donne la masse volumique de la glace $\rho_g = 800\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, la capacité thermique massique de la glace $c_g = 2,1\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, celle de l'eau liquide $c_e = 4,2\ \text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ainsi que la chaleur latente de fusion de la glace $\text{L}_f = 334\ \text{kJ.kg}^{-1}$ à $0,0°\text{C}$.

Sujet n°6

- Entropies molaires du gaz parfait :
  - $S_m(T,P) = C_{P,m} \ln\left(\dfrac{T}{T_{\text{ref}}}\right) - R\ln\left(\dfrac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  - $S_m(T,V) = C_{V,m} \ln\left(\dfrac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + R\ln\left(\dfrac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
  - $S_m(P,V) = C_{V,m} \ln\left(\dfrac{P}{P_{\text{ref}}}\right) + C_{P,m}\ln\left(\dfrac{V}{V_{\text{ref}}}\right) + S_{m,\text{ref}}$
- Entropie massique d'une phase condensée : $s(T) = c\ln\left(\dfrac{T}{T_{\text{ref}}}\right) + s_{\text{ref}}$
- Capacité massique de l'eau liquide : $c_\ell = 4,18\ \text{kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Question de cours

Sur le cas de la pompe à chaleur :

- donner le sens des échanges d'énergie ;
- énoncer les deux principes sur un cycle ;
- définir le rendement/l'efficacité thermodynamique de la machine ;
- donner des ordres de grandeur de rendement/efficacité de la machine ;
- établir l'efficacité/le rendement maximal ;

Exercice n°1 Fonte de glace dans l'eau liquide

Dans un calorimètre parfaitement calorifugé de capacité thermique négligeable, on met un morceau de glace à la température de 0°C dans un kilogramme d'eau initialement à la température de 20°C.

On donne la capacité thermique massique de l'eau : $c = 4,2$ J.K^{-1}.g^{-1} et l'enthalpie massique de fusion de la glace $\Delta_{fus}h = 336 \times 10^3$ J.kg^{-1}.

1 - Déterminer la masse minimale de glace nécessaire pour que, dans l'état final, tout soit sous forme d'eau liquide à la température de 0°C dans l'état final.

2 - Exprimer dans ce cas ΔS_{eau} la variation d'entropie de l'eau initialement à l'état liquide.

3 - Même question pour ΔS_{glace} pour l'eau initialement sous forme de glace.

4 - En déduire le bilan d'entropie de l'évolution. Conclure.

Exercice n°2 Masse posée sur un piston

Considérons une enceinte hermétique, diatherme, fermée par un piston de masse négligeable pouvant coulisser sans frottement. Cette enceinte contient un gaz supposé parfait. Elle est placée dans l'air, à température T_0 et pression P_0.

1 - On place une masse M sur le piston. Déterminer les caractéristiques du gaz une fois l'équilibre thermique et mécanique atteint.

2 - Déterminer le transfert thermique Q reçu par le gaz et l'entropie créée.

3 - On réalise la même expérience, mais en N étapes successives, par exemple en ajoutant du sable "grain à grain". Déterminer l'entropie créée dans la limite $N \to \infty$.

On donne $\ln(1+x) \approx x - \frac{x^2}{2}$ pour $x \to 0$.