Bilan d'entropie. Second principe.

Entropie d'une PCII de capacité thermique C constante : $S(T) = S_{ref} + C\ln\left(T/T_{ref}\right)$

Entropie d'un gaz parfait : $S_2 - S_1 = \dfrac{nR}{\gamma - 1}\ln\left(T_2/T_1\right) + nR\ln\left(V_2/V_1\right)$ ou

$S_2 - S_1 = \dfrac{\gamma nR}{\gamma - 1}\ln\left(T_2/T_1\right) - nR\ln\left(P_2/P_1\right)$ ou $S_2 - S_1 = \dfrac{nR}{\gamma - 1}\ln\left(P_2/P_1\right) + \dfrac{\gamma nR}{\gamma - 1}\ln\left(V_2/V_1\right)$

Exercice 1 : transformation d'un gaz parfait.

Un récipient, muni d'un piston mobile de masse négligeable pouvant se déplacer sans frottement, contient un gaz parfait occupant initialement un volume V_1 = 10,0 L à la température T_1 = 373 K.

Les parois du récipient ainsi que le piston sont calorifugés. La pression qui s'exerce sur le piston vaut initialement $P_1 = 1{,}00\times10^6$ Pa. On donne R = 8,31 J/(K.mol).

1. Exprimer et calculer la quantité de matière n de gaz contenue dans le récipient.

La contrainte qui maintient le piston en équilibre est supprimée, de sorte que la pression qui s'exerce sur lui tombe brutalement à la valeur $P_{ext}=P_2=1{,}00\times10^5$ Pa correspondant à la pression atmosphérique du lieu. Le gaz évolue vers un nouvel état d'équilibre 2 caractérisé par les valeurs respectives T_2 et V_2 de la température et du volume.

2. Exprimer et calculer T_2 et V_2 pour un rapport des capacités thermiques molaires $\gamma = 1{,}4$.
3. Exprimer et calculer la variation d'entropie ΔS du gaz puis l'entropie créée S_{cr} au cours de la transformation. Quelle est la cause de l'irréversibilité ?

On envisage alors une transformation dans le même piston qui part du même état initial mais qui s'effectue de manière réversible pour atteindre un état 2' pour lequel la pression atteinte est P_2.

4. Déterminer et calculer T_2' et V_2' les températures et volume dans l'état 2'.
5. Exprimer et calculer le travail reçu au cours de la transformation.
6. Faire le bilan d'entropie pour cette transformation.

Exercice 2 : transformation monotherme d'un gaz parfait.

Un cylindre vertical de section S, dont les parois ne sont pas calorifugées, est fermé par un piston de masse négligeable, mobile en liaison glissière parfaite avec la paroi du cylindre. Une masse m d'air, considéré comme un gaz parfait de rapport $\gamma = \dfrac{C_P}{C_V}$, est enfermée dans le cylindre. L'état initial est décrit par la donnée de la température T_1 et de la pression P_1. Le milieu extérieur présente les caractéristiques constantes pression P_1 égale à 1bar, température T_1 égale à 300K. On négligera dans tout le problème les variations d'énergie cinétique macroscopique ou d'énergie potentielle de pesanteur.

<u>Données</u> : m=7,25g ; M=29g.mol^{-1} ; γ=1,4 ; S=100cm^2 ; R=8,314J.K^{-1}.mol^{-1}.

On applique brutalement sur le piston une force F=1000N. On suppose que le système atteint un état final d'équilibre.

1. Déterminer la pression P_2 du gaz dans l'état final, puis le volume V_2 et enfin la hauteur h_2 du piston.
2. Déterminer le travail W_{irr} reçu par le gaz au cours de la transformation.
3. Déterminer la variation d'entropie du gaz et l'entropie d'échange reçue par le gaz.
4. Déterminer l'entropie créée S^c.

On suppose maintenant qu'on effectue la transformation réversible partant du même état initial et arrivant au même état final en augmentant progressivement la force F appliquée sur le piston.

5. Déterminer le travail W_{rev} reçu par le gaz au cours de la transformation.
6. Comparer alors W_{irr} à $W_{rev}+T_1S^c$. interpréter le résultat.

Exercice 3 : effet Joule.

On considère une masse m = 100 g d'eau dans laquelle plonge un conducteur de résistance R=20Ω. L'ensemble forme un système noté Σ, de température initiale T_0 = 20 °C. On impose au travers de la résistance un courant I=1A pendant une durée Δt = 10 s.

<u>Données</u> : *capacité thermique de la résistance : C_R =8 J.K^{-1}*
capacité thermique massique de l'eau : c_{eau} = 4,18 J.g^{-1}.K^{-1}

La température de l'ensemble est maintenue constante à l'aide d'un thermostat.

1. Quelle est la variation d'entropie du système Σ ? Quelle est l'entropie créée ?
2. Commenter le signe de l'entropie créée. Que peut-on en déduire à propos du signe d'une résistance ?

Le même courant passe dans le même conducteur pendant la même durée, mais cette fois Σ est isolé thermiquement.

3. Exprimer sa variation d'entropie et l'entropie créée. Comparer avec le résultat de la question 1.

Exercice 4 : Bilan d'enthalpie et d'entropie lors d'un changement de phase.

On place dans un cylindre fermé par un piston mobile, une masse de 1kg d'eau à la température T_i=-5°C. La pression de l'atmosphère est constante notée P_O et de valeur numérique 1bar. On met le cylindre en contact thermique avec une plaque chauffante supposée se comporter comme un thermostat de température T_O =110°C.

1. Décrire l'état du système dans l'état initial et dans l'état final.
2. Décrire alors la transformation subie par le système. On décomposera la transformation et on caractérisera complètement chacune des étapes envisagées.
3. Déterminer la chaleur reçue par le système lors de chaque étape et faire l'application numérique.
4. Déterminer pour chaque étape la variation d'entropie du système, l'entropie d'échange et l'entropie créée. La transformation globale est-elle réversible ?

<u>Données</u> :

Capacités thermiques : eau solide $c_S = 2,09 kJ.K^{-1}.kg^{-1}$; eau liquide $c_L = 4,18 kJ.K^{-1}.kg^{-1}$; eau vapeur prise comme un GP de masse molaire 18g.mol^{-1} et de rapport γ=1,4.

Constante des gaz parfait : $R = 8,31 J.K^{-1}.mol^{-1}$

Chaleurs latentes pour l'eau : de fusion $L_F = 334 kJ.kg^{-1}$; de vaporisation $L_V = 2265 kJ.kg^{-1}$

Température de changement de phase à la pression P_O : Fusion $T_F = 0°C$; Vaporisation $T_V = 100°C$

Exercice 5 : Etude partielle d'une machine à vapeur.

Dans une machine à vapeur, de l'eau sous forme vapeur est produite dans une chaudière en chauffant de l'eau liquide sous une pression P_1=20 bars à la température T_1=485K (inférieure à T_C).

Cette vapeur est prélevée pour être envoyée dans un cylindre (elle est alors dite sèche car sans présence d'eau liquide correspondant à une fraction en vapeur x_{V1}=1) où elle subit une détente qu'on supposera adiabatique et réversible permettant ainsi de récupérer du travail.

Dans l'état final de la détente, la température du système est T_2=373K et la pression est P_2=1bar. On constate également qu'une partie de la vapeur s'est liquéfiée, la fraction en vapeur de l'état final est alors notée x_{V2}.

1. Représenter le diagramme (P,v) dit de Clapeyron-Watt de vaporisation de l'eau. On représentera les isothermes d'Andrews pour les températures T_1 et T_2 uniquement. Placer alors sur ce diagramme les points représentatifs de l'état initial et de l'état final de la transformation aillant lieu dans le cylindre.

		$x_v = 0$			$x_v = 1$		
T	P	v_L	h_L	s_L	v_V	h_V	s_V
K	bar	$m^3.kg^{-1}$	$kJ.kg^{-1}$	$kJ.K^{-1}.kg^{-1}$	$m^3.kg^{-1}$	$kJ.kg^{-1}$	$kJ.K^{-1}.kg^{-1}$
485	20	$1,18.10^{-3}$	909	2,45	0,0998	2801	6,35
373	1	$1,04.10^{-3}$	418	1,30	1,70	2676	7,36

2. A l'aide des données du tableau ci-dessus, déterminer x_{V2}.

On donne maintenant, la chaleur latente de vaporisation de l'eau à la température T_1 $L_V(T_1) = 1892 kJ.kg^{-1}$ et à la température T_2 $L_V(T_2) = 2265 kJ.kg^{-1}$ ainsi que la capacité thermique massique de l'eau liquide $c = 4,18 kJ.K^{-1}.kg^{-1}$

3. A l'aide des nouvelles données, et en définissant un chemin fictif à préciser, déterminer à nouveau x_{V2}.
4. Déterminer le travail récupérable sur chaque cycle de fonctionnement du piston.