

Contrôle C1 – Thermodynamique 2  
SMP – S3 – Durée 1h30 – 2012

$R = 8,32 \text{ J/K/mol}$  pour l'air :  $M_{\text{air}} = 29 \text{ g/mol}$   $c_p = 1000 \text{ J/kg/K}$  et  $\gamma_{\text{air}} = 1,4$

Pour l'argon :  $c_p = 520 \text{ J/kg/K}$   $M_{\text{argon}} = 40 \text{ g/mol}$  et  $\gamma_{\text{argon}} = 1,667$

**Exercice 1 : Transformation réversible ou irréversible (8 points)**

Une mole d'air, supposé parfait, subit une transformation isotherme depuis l'état initial ( $P_1=1\text{bar}$ ,  $T_1=288\text{K}$ ) jusqu'à l'état final ( $P_2=5\text{bars}$ ).

1/ Déterminer la variation d'entropie massique  $\Delta S$  de cette mole d'air.

2/ On admet que cette transformation est réversible, déterminer:

2.1/ le travail massique  $W_{12}$  et la chaleur massique  $Q_{12}$  échangés pendant cette transformation

(les 2 en **kJ/kg**) . Justifier le signe obtenu pour le travail  $W_{12}$  .

2.2/ Calculer les entropies échangée  $S_e$  et créée  $S_c$ .

3/ On admet que cette transformation est irréversible, déterminer :

3.1/ le travail  $W'_{12}$  et la chaleur  $Q'_{12}$  échangés pendant cette transformation (les 2 en **kJ/kg**) .

3.2/ Calculer les entropies échangée  $S'_e$  et créée  $S'_c$ . Justifier les signes obtenus.

**Exercice 2 : Turbine (9 points)**

De l'argon, gaz parfait, entre dans une turbine adiabatique sous une pression  $P_1=4 \text{ bars}$ , une température  $T_1=627^\circ\text{C}$  et une vitesse  $c_1=350 \text{ m/s}$ . La turbine a une section d'entrée  $A_1=20 \text{ cm}^2$ . Il sort de la turbine à  $P_2=1 \text{ bars}$ ,  $c_2=135,3\text{m/s}$  et  $T_2=520\text{K}$ . **Les variations des énergies cinétique et potentielle sont négligeables devant la variation d'enthalpie de l'argon.**

1/ Donner la relation et la valeur numérique du volume massique à l'entrée  $v_1$  et du débit massique  $\dot{m}$  de l'argon dans la turbine.

2/ Donner les relations et les valeurs numériques du volume  $v_2$  de l'argon à la sortie de la turbine et de la section de sortie  $A_2$ .

3/ Calculer la puissance fournie par la turbine  $\dot{W}_t$ . Calculer la variation massique d'entropie de l'argon  $\Delta s$  à la traversée de la turbine et justifier son signe.

4/ Déterminer la température  $T_{2s}$  à la sortie de la turbine si on admet que la transformation est en plus réversible et que les autres données sont inchangées.

5/ La turbine fonctionne avec un rendement isentropique de 85%, calculer sa puissance réelle  $\dot{W}_r$  en kW. En déduire la température réelle de l'argon  $T_{2r}$  à la sortie de la turbine.

**Exercice 3 : Tuyère (3 points)**

De l'air (gaz parfait) traverse une tuyère adiabatique de façon réversible. Les conditions particulières de cette tuyère sont : pour l'entrée  $P_1=50\text{bars}$ ,  $T_1=3000\text{K}$ ,  $c_1=0$  et à la sortie  $P_2=1\text{bar}$ . Trouver, en fonction des données de l'exercice, la relation et la valeur numérique de la vitesse de l'air à la sortie de la tuyère  $c_2$ .

.....

## Corrigé du contrôle 1 – S3 – Automne 2012

### Exercice 1 : Transformation réversible ou irréversible (8 points)

1/ Calcul de la variation d'entropie :  $\Delta S = \frac{R}{M} \ln \frac{P_1}{P_2}$  (0,5pt) et A.N.  $\Delta S = -0,462 \text{kJ/kg/K}$  (0,5pt)

2.1/ Calcul du travail et de la chaleur échangés :  $W_{12} = \frac{RT_1}{M} \ln \frac{P_2}{P_1}$  (0,5pt) et par A.N.

$W_{12} = 133,06 \text{kJ/kg}$  (0,5pt),  $W_{12} > 0$  (0,5pt) **travail reçu compression**. Comme l'air est un gaz parfait, et la transformation isotherme alors  $Q_{12} = -W_{12} = -133,03 \text{kJ/kg}$  (0,5pt).

2.2/ Transformation est réversible donc  $S_c = 0$  (0,5pt) et  $S_e = \Delta S = -0,462 \text{kJ/kg/K}$  (0,5pt).

3.1/ Transformation est irréversible donc  $W'_{12} = -P_2(V_2 - V_1) = \frac{RT_1}{M} \left( \frac{P_2}{P_1} - 1 \right)$  (0,5pt) et par A.N.

$W'_{12} = 330,5 \text{kJ/kg}$  (0,5pt), d'où  $Q'_{12} = -W'_{12} = -330,5 \text{kJ/kg}$  (0,5pt)

3.2/  $S'_e = \frac{Q'_{12}}{T_1} = \frac{R}{M} \left( \frac{P_2}{P_1} - 1 \right)$  (0,5pt) et par A.N.  $S'_e = -1,15 \text{kJ/kg/K}$  (0,5pt),  $S'_e < 0$  car on a perte de chaleur (0,5pt).

$S'_c = \Delta S - S'_e = 0,688 \text{kJ/kg/K}$  (0,5pt), valeur positive, c'est le signe de l'entropie créée (0,5pt).

### Exercice 2 : Turbine (9 points)

1/ Gaz parfait ( $Pv=RT/M$ ) donc  $v_1=RT_1/(MP_1)$  (0,5pt) donne  $v_1= 0,468 \text{m}^3/\text{kg}$  (0,5pt).  
 $\dot{m} = A_1 c_1 / v_1$  (0,5pt) donne  $\dot{m} = 1,5 \text{kg/s}$  (0,5pt).

2/  $v_2=RT_2/(MP_2)$  (0,5pt) donne  $v_2= 1,0816 \text{m}^3/\text{kg}$  (0,5pt).  $A_2 = \dot{m} v_2 / c_2$  (0,5pt), A.N.  
 $A_2 = 120 \text{cm}^2$  (0,5pt).

3/  $\dot{w}_t = \dot{m}(h_2 - h_1) = \dot{m} c_p (T_2 - T_1)$  (0,5pt),  $\dot{w}_t = -296,4 \text{kW}$  (0,5pt)

$\Delta s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} + \frac{R}{M} \ln \frac{P_1}{P_2}$  soit  $\Delta s = 3,1 \text{J/K/kg}$  (0,5pt) positive donc la transformation est irréversible (0,5pt).

4/ La transformation est isentropique donc  $T_{2s} = T_1 \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{(1-\gamma)/\gamma}$  (0,5pt) et  $T_{2s} = 517 \text{K} = 244^\circ \text{C}$  (0,5pt).

5/ La puissance réelle est  $\dot{w}_r = \dot{m} c_p ((T_{2s} - T_1) \eta_t)$  (0,5pt) donne  $\dot{w}_r = -254 \text{kW}$  (0,5pt) et la température finale réelle est :  $T_{2r} = \frac{\dot{w}_r}{\dot{m} c_p} + T_1$  (0,5pt) et  $T_{2r} = 574,4 \text{K}$  (0,5pt).

### Exercice 3 : Tuyère (3 points)

La transformation est isentropique donc  $T_2 = T_1 \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{(1-\gamma)/\gamma}$  (1pt) et le principe de la

conservation de l'énergie des système ouvert s'écrit :  $h_2 - h_1 + c_2^2/2 = 0$  (0,5pt) d'où  $c_2^2/2 = c_p(T_1 - T_2)$  qui donne  $c_2 = [2c_p T_1 (1 - (P_1/P_2)^{(1-\gamma)/\gamma})]^{1/2}$  (1pt)

Par application numérique on obtient :  $c_2 = 2009 \text{m/s}$  (0,5pt).