Final Te42

1 formulaire A4 recto/verso, de cours

Durée 2h

<u>Partie I (à rendre sur une copie séparée)</u>

I) Turbine à Gaz (5 points)

Une turbine fonctionne en régime ouvert permanent. Le débit massique qui la traverse sera noté q_m. L'air atmosphérique entre dans le compresseur à la température de T_1, à $la\ pression\ de\ p_1$. Il est comprimé adiabatiquement jusqu'à l'état 2 tel que $\frac{p_2}{p_1} = \varepsilon$. Un échange isobare jusqu'à l'état 3, au contact d'une source à la température $T_h = T_3$, augmente sa température de telle sorte que $\frac{T_3}{T_1} = a$. L'air est ensuite détendu adiabatiquement dans une turbine jusqu'à la pression atmosphérique p_1. Le compresseur est entrainé par la turbine, par un couplage mécanique direct.

I.1) Dessiner l'allure des transformations sur un diagramme T-s, si les compressions et détentes adiabatiques sont réversibles.

I.2) On considère la turbine comme système thermodynamique ouvert. Elle reçoit une puissance thermique P_c de la source chaude, fournit une puissance mécanique $P_u$au récepteur monté sur son arbre. Les échanges de masses se font à l'aspiration et au refoulement, avec l'atmosphère. L'air suit le modèle de gaz parfait.

a) Exprimer, en variables p,T, les états 2, 3, 4 en fonction de a,$\boldsymbol{\varepsilon}$, T_1, p_1.
b) Pour chaque transformation, donner l'expression de la puissance mécanique et thermique échangée en fonction de q_m, a, ε, T_1, p_1.
c) En déduire le rendement énergétique défini par $\eta = -\frac{P_u}{P_c}$, en fonction de $\boldsymbol{\varepsilon}$.
d) Donner l'expression du rendement exergétique, si l'exergie sortante est dissipée dans l'atmosphère, selon la transformation isobare 4-1. On prendra comme température de référence la température T_1.

___

M.Meyer, T.Viollet

II) Détente adiabatique irréversible, en régime permanent (5 points)

De l'air, supposé parfait, est détendu sans échange de chaleur de l'état E_1 $(P_1 = 3bars, T_1 = 300K)$à $l'étatE_2$ $(P_2 = 1\ bar, T_2 = ?)$. Le modèle de comportement retenu est : Air parfait, M=29 g/mol, $\gamma = 1.4, c_p = 1005 \frac{J}{kg\ K}, pv = rT, dh = c_p dT$.

II.1) Référence isentropique

On prend pour base de comparaison une détente adiabatique réversible de de l'état E_1 $(P_1 = 3bars, T_1 = 300K)$à $l'étatE_{2s}$ $(P_{2s} = P_2 = 1\ bar, T_{2s} = ?)$.

a) A partir de l'équation de Gibbs, montrer que les variables (P,T) sont liées par $P^{1-\gamma}T^{\gamma} = cte$
b) Calculer la température de fin de détente isentropique
c) Par application du premier principe, déterminer la puissance utile récupérée pour un débit massique $q_m = 1\ kg/s$.
d) Montrer que la perte exergétique est nulle quelle que soit la température de référence choisie.

II.2) Rendement isentropique de la transformation 1-2

Le rendement par rapport à l'isentrope, compare la puissance utile (Pu) récupérée sur la transformation 1-2 à la puissance utile récupérée sur l'isentrope, en formant leur rapport. Donner son expression et calculer le si $T_2 = 1.1\ T_{2s}$

II.3) Rendement exergétique

On rappelle l'expression du théorème de l'exergie pour une transformation adiabatique :

$0 = -\left(q_m \Delta(h - T_a s)\right) + P_u - q_m x_{hi}$, où $T_a = 300K$, est la température de la source 'gratuite'.

a) Pour la détente adiabatique, calculer la perte exergétique pour un débit de 1kg/s.
b) Après avoir clairement indiqué la ressource et l'utilisation exergétique, calculer le rendement exergétique de la transformation $P_1 \rightarrow P_2$.

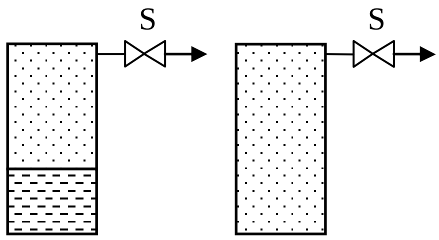
II.4) Schéma

Représenter sur un diagramme entropique, l'allure des transformations précédentes.

Partie II, à rédiger sur une copie séparée
Exercice 1 (4 points)

On considère un réservoir immobile de volume V = 0,85 m^3 , et aux parois indéformables contenant à l'état initial (1) un mélange d'eau à l'état liquide et à l'état de vapeur (voir ci-contre) à la température de 260°C et tel que le titre en vapeur est x = 0,7.

Le réservoir est protégé par une soupape S tarée pour s'ouvrir à une pression limite p_{lim} et située au sommet.



Etat initial (1) Etat final (2)

On suppose qu'à l'état initial (1), la pression dans le réservoir est égale à p_{lim}. Par conséquent, la soupape S est ouverte.
Le réservoir est chauffé jusqu'à ne contenir que de la vapeur d'eau saturée à l'état final (2).
On supposera que la vapeur s'échappe du réservoir lentement et que le volume occupé par le liquide est toujours négligeable devant celui occupé par la vapeur.

1) Représenter sur un diagramme (T, s) l'évolution de l'eau entre l'état initial et l'état final.
2) Définir le système étudié, en donner le type et formuler les hypothèses de cette étude.
3) Exprimer le premier principe et simplifier-le compte tenu des hypothèses formulées.
4) Justifier très brièvement le fait que l'énergie interne E du système ne soit pas constante au cours du temps. Exprimer E à l'état initial (1) puis à l'état final (2).
5) Utiliser ce qui précède pour exprimer la quantité de chaleur Q_e à fournir au réservoir entre les deux états et vérifier que : $Q_e = m_{1liq}\left(h_{vap} - e_{liq}\right)$.
6) On donne à 260°C : v_{vap} = 0,04221 $m^3.kg^{-1}$; h_{vap} = 2796,6 kJ/kg et e_{liq} = 1128,4 kJ/kg.
Calculer la masse de liquide saturé puis la quantité de chaleur Q_e.

Exercice 2 (6 points)

On considère un moteur fonctionnant suivant un cycle mixte de Sabathé comportant :
- une compression isentropique 1 – 2,
- une combustion isochore 2 – 3,
- une combustion isobare 3 – 4,
- une détente isentropique 4 – 5,
- un refroidissement isochore 5 – 1.

On supposera que le mélange et les fumées se comporte tout au long du cycle comme un gaz parfait tel que c_v = 767,4 $J.kg^{-1}.K^{-1}$ et γ = 1,38. L'admission est telle qu'à l'état 1, on a p_1 = 1 bar et T_1 = 300 K. De plus, le moteur a les caractéristiques suivantes :
- rapport volumétrique de compression $\varepsilon = V_1/V_2 = 18$,
- rapport de détente préalable $\varphi = V_4/V_2 = 1,2$,
- rapport de compression finale $\lambda = p_3/p_2 = 1,5$.

On supposera que le coefficient de remplissage est égal à 1.

1) Représenter graphiquement le cycle théorique de Sabathé dans un diagramme (p,V) .
2) Déterminer les pressions et températures des différents points du cycle et reporter vos résultats dans un tableau récapitulatif.
3) Déterminer le travail massique indiqué par cycle puis le rendement thermodynamique théorique η.