TE 42 — Examen Final — Le22/06/2010

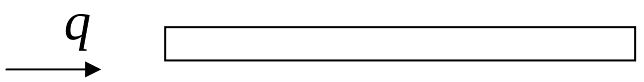
Durée : 2 heures – Document autorisé : un A4 recto
Téléphone strictement interdit

Les parties A et B seront rédigées sur copies distinctes.

Partie A :

I] Bilan énergétique et exergétique d'un évaporateur (4 points)

Un débit $q = \dot{m} = 1kg/s$ d'eau traverse un évaporateur. Le liquide est saturant en entrée, la vapeur saturée en sortie. Le régime est permanent, les variations d'énergie potentielle et cinétique spécifiques sont négligées. L'évaporation est isobare, à 20 bars.



$p_1 = 20bars$ $p_2 = 20bars$

$x_1 = 0$ $x_2 = 1$

La chaleur est fournie par une source à la température T_s. Deux cas seront envisagés : $T_s = 250°C, T_s = 200°C$. Pour l'analyse exergétique, la température de référence sera $T_r = 293K$.
On donne les caractéristiques du changement de phase de l'eau, à 20 bars, toutes ne sont pas utiles pour cet exercice :

Tsat(20bars)	h_ℓ	$L(P)$	v_l	v_v	cp_l	cp_v
T=212.4 °C	908.6 kJ/kg	1888.6 kJ/kg	0.001 m^3/kg	0.01 m^3/kg	4.5 kJ/kg/°K	2.9 kJ/kg/°K
	s_ℓ					
	2.447 Kj/(kgK)					

On note T la température de saturation à 20bars.

I.1) Bilan énergétique

Par application du premier principe, déterminer la puissance thermique échangée avec la source à la température T_s.

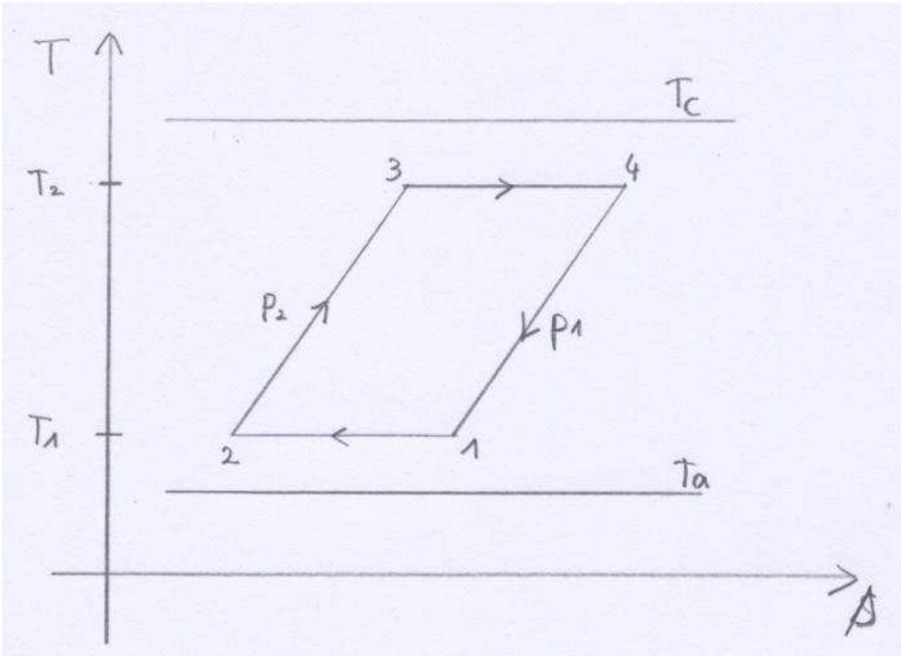
I.2) Bilan exergétique

Par application du théorème de l'exergie, et pour chaque valeur de T_s, déterminer :

- calculer les exergies x_{h1} et x_{h2}.
- la perte exergétique, $\dot{x}_{hi}$, et le rendement exergétique η_x .
- Le taux de création d'entropie $\dot{\sigma}_i$
- Commenter les résultats, présentés dans un tableau récapitulatif.
- Montrer que : $\begin{cases} \dot{x}_{hi} = L(\frac{T_r}{T} - \frac{T_r}{T_s})q \\ \dot{\sigma}_i = L(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s})q \end{cases}$, en déduire les conditions de réversibilité.

II] Etude d'un cycle à régénération (6)

On considère un cycle moteur constitué de 2 isobares et 2 isothermes, représenté ci-dessous dans un diagramme entropique :



Pour les applications numériques, on prendra :

$T_1 = 300K$	$T_2 = 400K$	$T_c = 420K$
$P_1 = 1bar$	$P_2 = 10bar$	$T_a = 290K$

Hypothèses :

- toutes les transformations sont mécaniquement réversibles
- chaque transformation se fait dans un composant ouvert, en régime permanent.
- La contribution des termes d'énergie potentielle et cinétique spécifiques est négligée.
- Le gaz parcourant le cycle est de l'air supposé parfait, son débit est de $1kg/s$. On prendra : $c_{pa} = 1kJ/kg/K, \gamma = 1.4$

II.1) Etude énergétique

- Montrer que $s_4 - s_3 = s_1 - s_2$, et donner l'expression analytique de ces différences.
- Pour une transformation isotherme, détailler le calcul de $W_u = \frac{P_u}{q}$, le travail utile par unité de masse traversant la machine et $Q = \frac{P_{th}}{q}$, la quantité de chaleur échangée par unité de masse traversant la machine.
- Faire de même avec une isobare.
- Présenter un bilan énergétique dans un tableau.

- Calculer le rendement énergétique du cycle. L'apport payant, est constitué des transferts thermiques avec la source chaude, à la température T_c. La puissance utile est la puissance mécanique nette du cycle moteur. L'expression analytique du rendement est demandée.

II.2) Ajout d'un régénérateur parfait

L'étude précédente montre que la puissance thermique échangée avec la source froide à la température de T_a lors de la transformation isobare 4-1 a la même valeur absolue que celle échangée avec la source chaude à la température T_c lors de la transformation isobare 2-3. Il apparaît donc la possibilité de faire cet échange directement entre le fluide circulant dans l'échangeur branche 4-1, et celui circulant dans l'échangeur branche 2-3. On y parvient grâce à un échangeur-régénérateur.

- définir et donner une expression de l'efficacité du régénérateur, ε.

On considère pour la suite que $\varepsilon = 1$, le régénérateur est parfait.

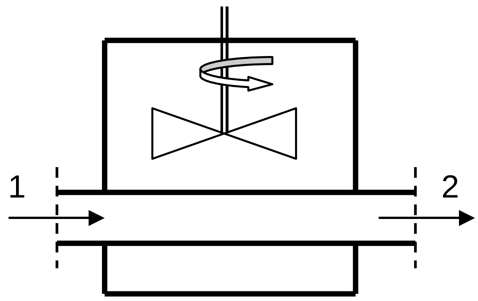
- écrire l'équation traduisant le bilan énergétique du régénérateur, en remarquant bien que l'échange thermique est interne, puisqu'un régénérateur parfait est parfaitement calorifugé.
- calculer le nouveau rendement énergétique global.

____**Changer de copie**

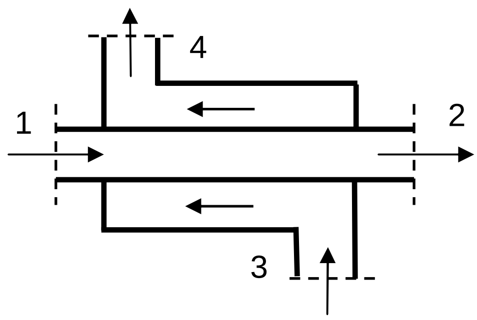
<u>Partie B :</u>

III] Création d'entropie (6points)

On envisage deux procédés afin de réchauffer un courant d'air sec considéré comme un gaz parfait de débit masse q_m à pression constante (p_{atm} = 1bar) d'une température d'entrée T_1= 20°C à une température de sortie T_2=30°C.



(I)



(II)

Dans le premier système, la conduite d'air traverse une enceinte adiabatique contenant un fluide visqueux agité en permanence par un moyen mécanique. L'air est réchauffé pendant son passage dans l'enceinte de telle sorte que la température du fluide visqueux reste constante.
Dans le second système, la conduite d'air est réchauffée par échange à flux croisé avec de l'eau à l'état liquide à la pression constante de 1 bar. L'échangeur ne peut échanger de la chaleur qu'avec la conduite d'air.
On considèrera dans les deux cas que les systèmes ont un comportement indépendant du temps et que les écoulements sont permanents.

1) Etude du système (I) :

a) Définir le domaine de contrôle.
b) Exprimer les équations utiles à l'étude de ce système.
c) Exprimer le taux de création d'entropie du système (I).

2) Etude du système (II) :
a) Définir le domaine de contrôle.
b) Exprimer les équations utiles à l'étude de ce système.
c) Exprimer le taux de création d'entropie du système (II).

3) Classer les deux systèmes en fonction de leur taux de création d'entropie rapporté au débit masse q_m d'air sec.
Faire l'application numérique en sachant que $c_{p\ air}$ = 1004,5 J/kg.K, c_{eau} = 4,18 kJ/kg.K, T_3 = 320 K et T_4 = 310 K.

IV] Cycle d'Atkinson (4 points)

Un moteur à allumage commandé fonctionne suivant le cycle d'Atkinson qui se compose :
- d'une compression isentropique 1-2,
- d'un apport de chaleur (combustion) isochore 2-3,
- d'une détente isentropique 3-4,
- d'un refroidissement isobare 4-1.

On assimile le mélange et les fumées à de l'air considéré comme un gaz parfait à γ constant.

1) Représenter graphiquement ce cycle théorique dans les diagrammes (p,V) et (T,s).
2) On définit le rapport volumétrique de compression $\varepsilon = V_1/V_2$ et le rapport de compression finale $\lambda = p_3/p_2$.
Exprimer le rendement du cycle en fonction de ε, λ et γ.
3) Comparer ce rendement à celui du cycle Beau de Rochas (pour mémoire, $\varepsilon_{BdR} = 1 - \varepsilon^{1-\gamma}$). Pour cela, vous poserez $\lambda = 1 + x$ avec x infiniment petit. Par conséquent, on pensera à utiliser : $(1+x)^{1/\gamma} = 1 + \frac{x}{\gamma} - \frac{(\gamma-1)x^2}{\gamma^2}$.