

THERMODYNAMIQUE APPLIQUEE AUX MACHINES THERMIQUES

Examen du Novembre 2010

Durée : 2 heures

Documents (cours et notes personnelles) autorisés

PREMIERE PARTIE : THERMODYNAMIQUE DES MACHINES THERMIQUES

On se propose de construire une installation d'électricité fonctionnant avec de la vapeur d'eau surchauffée (cycle de Hirn). Nous allons calculer les performances de cette installation.

On dispose des données (table de valeurs numériques) fournies en annexe de ce document.

Le fluide moteur (eau) passe par les états repérés 1-2-3-4-5-6-7 (Figure 1). Liquide dans l'état 1, il traverse successivement la pompe de circulation (P), où il reçoit une quantité de travail W_e , puis un générateur de vapeur comprenant la chaudière (Ch) et un surchauffeur (S_1) à la sortie desquels il est entièrement surchauffé et vaporisé. Il a reçu, de ces deux organes de chauffe, une quantité totale de chaleur Q_1 . Les évolutions thermodynamiques dans ces différents organes sont celles habituellement retenues.

Il se détend ensuite dans un premier étage de turbine Tu_1 puis, après avoir reçu un apport de chaleur Q_2 fournie par un deuxième surchauffeur S_2 , il se détend dans un deuxième étage Tu_2 . Cet ensemble de turbines entraîne la pompe P ainsi qu'un générateur fournissant la puissance électrique. Les détenteurs ne sont pas isentropiques mais le rendement de détente est fourni. Enfin, il est condensé dans le condenseur (C) (évolution 7-1).

On désigne par τ le travail produit dans les deux étages de turbine et par q la chaleur perdue dans le condenseur.

1. Représenter schématiquement dans les plans h-s et T-s le cycle 1-2-3-4-5-6-7 décrit par l'eau (on apportera beaucoup de soin à ces schémas qui seront notés)
2. À l'aide des données figurant dans le tableau joint, on déterminera, après avoir complété ce tableau :
 - a) La quantité de chaleur Q reçue par l'eau dans la chaudière et les surchauffeurs,
 - b) Les travaux τ_1 et τ_2 produits dans les deux étages de détente,
 - c) La quantité de chaleur cédée au condenseur,
 - d) Le rendement thermique de l'installation et la consommation spécifique de la vapeur (en kg/kJ),
 - e) Le débit de la pompe de circulation pour que cette installation puisse fournir une puissance utile de 10 MW.

On donne :

- Rendements isentropiques des étages de turbine : $\eta_{Tu1} = 0.83$; $\eta_{Tu2} = 0.87$
- Rendements de la chaudière et des surchauffeurs : $\eta_{Ch} = \eta_{S1} = \eta_{S2} = 1$
- Enthalpie de la vapeur sèche ($x=1$) à $p=0.05$ bar : $h_{7v} = 2550$ kJ/kg
- Titres : $x_1 = 0$; $x_3 = 1$; $x_{7s} = 0.84$; $x_7 < 1$

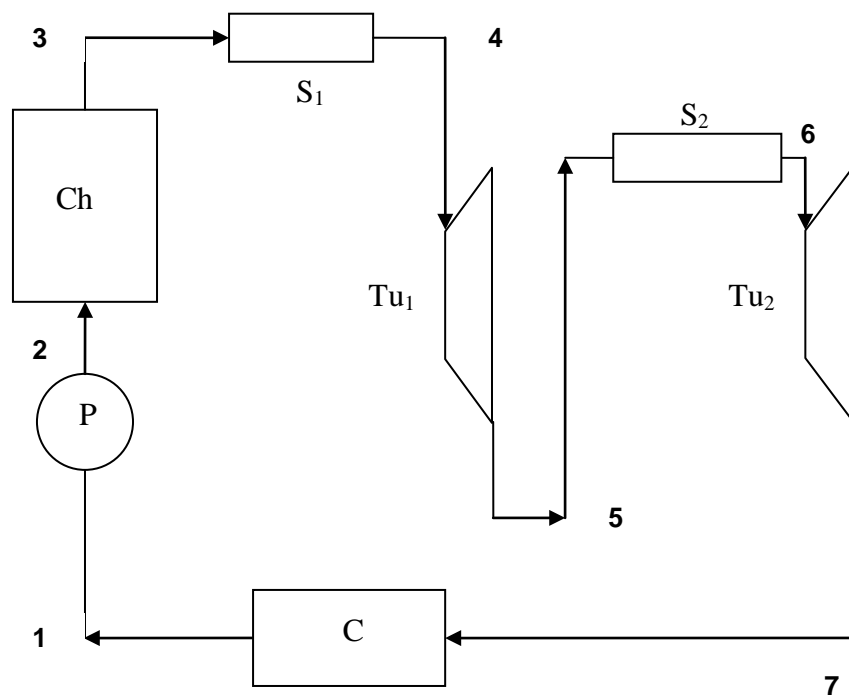
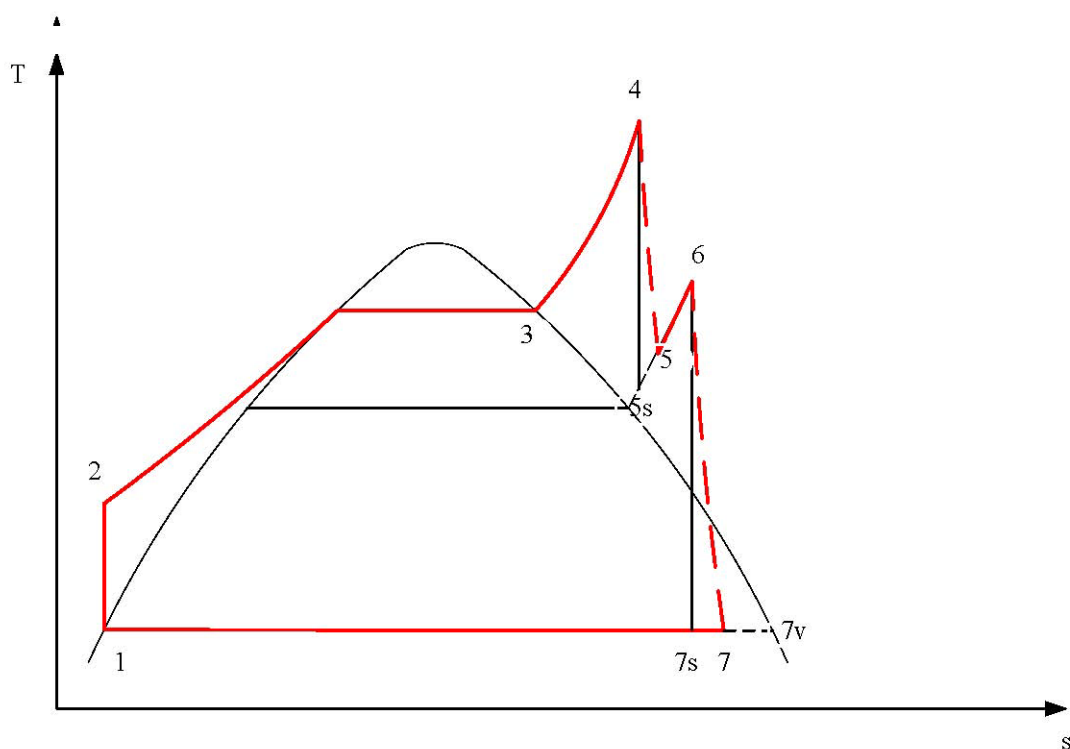
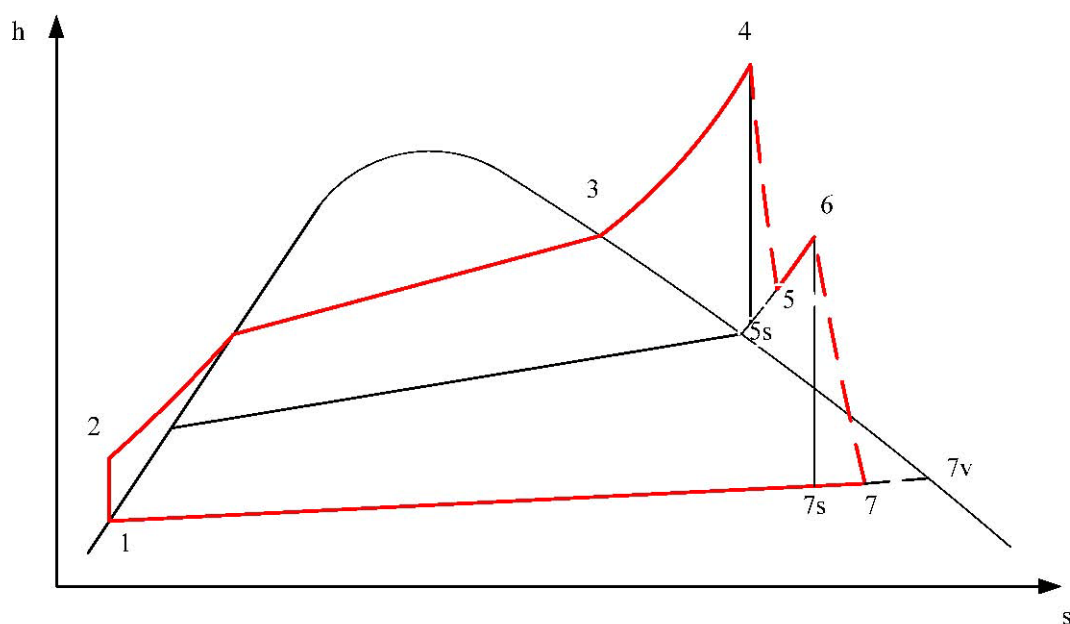


Figure 1

NOM (Chinois) :

Prénom (Français) :



Etat	1	2	3	4	5s (*)	5	6	7s (*)	7
p (bar)	0.05	100	100	100	30	30	30	0.05	0.05
h (kJ/kg)	112.5	122.495	2730	3360	3010	3069.5	3360	2160	2316

(*) Etats isentropiques

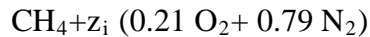
Données thermodynamiques du cycle

Tableau à compléter (7 points)

2. a) 3528.005kJ/kg ; b) 290.5kJ/kg ; 1044kJ/kg ; c) 2203.5kJ/kg;
d) 37.54% ; 7.55×10^{-4} kg/kJ; e) 7.55kg/s

DEUXIEME PARTIE : THERMOCHIMIE

Une des solutions permettant de réduire les émissions polluantes dans les produits de combustion, est d'avoir recours à des mélanges pauvres. Toutefois, ce choix peut aboutir à la formation de NOx. C'est pourquoi des études sont actuellement menées sur des moteurs fonctionnant au gaz naturel. La composante majeure de ce combustible est le méthane qui sera donc l'objet de ce problème. On considèrera ici un mélange de cet hydrocarbure dans l'air selon la composition :



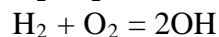
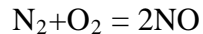
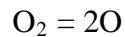
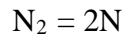
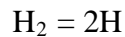
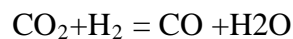
On fixera la richesse $r=0.8$.

A : On considère le mélange frais et les gaz brûlés à la température T^*

- 1) Calculer z_{ist} .
- 2) Calculer la composition des gaz brûlés à T^* pour la richesse considérée.
- 3) En déduire l'enthalpie de réaction $\Delta_R H^*$ à T^* .

B : On porte les gaz brûlés à la température $T=2500 \text{ K}$.

- 1) Les gaz brûlés peuvent maintenant être le siège de réactions de dissociation. Parmi celles qui sont proposées ci-après, on indiquera les réactions de dissociation susceptibles d'être prises en compte :

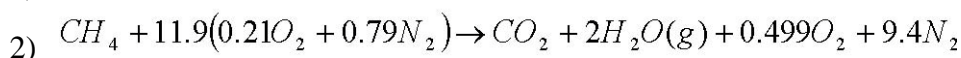


- 2) On gardera LA réaction de dissociation majoritaire, et on justifiera ce choix.
- 3) Quelle est la nature des espèces en présence dans les gaz brûlés.
- 4) Ecrire le système d'équations (sans le résoudre) qu'il est nécessaire de résoudre pour déterminer la composition de gaz brûlés à $T=2500 \text{ K}$.
- 5) Vérifier que les valeurs ci-dessous sont solutions de ce système d'équations à $T=2500 \text{ K}$.

$$x_{\text{CO}_2} = 1 ; x_{\text{H}_2\text{O}} = 2 ; x_{\text{N}_2} = 9.34 ; x_{\text{O}_2} = 0.44 ; x_{\text{NO}} = 0.12$$

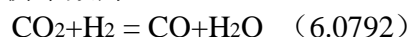
答案:

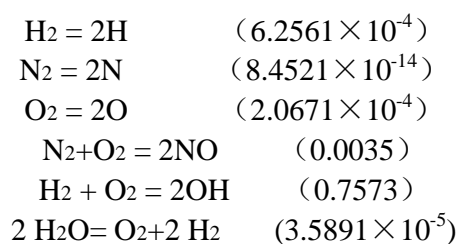
A : 1) 9.524 ;



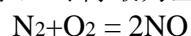
3) -191.751 kcal/mol, CH₄, 若 2) 中水为液态, 则为 -212.897 kcal/mol, CH₄

B: 6个裂解反应的化学反应平衡常数为





由于 $r < 1$ ，为贫油状态，所以高温状态下 H_2 含量较小，可以忽略 H_2 参与的裂解反应（1）、（2）和（6），另外根据平衡常数大小，可得最为主要的反应为



故反应生成物主要为 CO_2 、 H_2O 、 O_2 、 N_2 和 NO ，均为气态分子，因此反应式可写成



决定其组成的方程组为

$$\begin{cases}
11.9 \times 0.21 \times 2 = 2 + 2 + 2x + w \\
11.9 \times 0.79 \times 2 = 2y + w \\
K_p = \frac{w^2}{xy} = 0.0035
\end{cases}$$

将5)中数值带入可满足上述方程，故该数值正确。