

# Examen de Machines Thermiques

## Semestre S4x – EC0402SB02

Mardi, 16 janvier 2018 - 2 heures - Barème indicatif

**Calculatrices ENIT autorisées**

**Documents autorisés : tables de variables thermodynamiques de l'eau**

**La notation prendra en compte la qualité de la rédaction :**

- **Démarche justifiée ;**
- **Formulation littérale avec démonstration (relations, expressions utilisées) ;**
- **Résultats avec les unités cohérentes du système international.**

### Rappels

---

☞ Expression générale du principe de conservation de l'énergie pour un volume de contrôle :

$$\frac{dE_{vc}}{dt} + \sum_s \dot{m}_s (h_s + \frac{1}{2} \dot{V}_s^2 + g\dot{z}_s) - \sum_e \dot{m}_e (h_e + \frac{1}{2} \dot{V}_e^2 + g\dot{z}_e) = W + Q$$

☞ Expression générale du deuxième principe pour un volume de contrôle :

$$\frac{dS_{vc}}{dt} + \sum_s \dot{m}_s s_s - \sum_e \dot{m}_e s_e \geq \int \frac{\delta Q}{T}$$

☞ Le rendement thermique ou le coefficient de performance d'une machine cyclique est le rapport de la grandeur de sortie (l'énergie recherchée) sur la grandeur d'entrée (l'énergie à payer). C'est un nombre positif.

### Exercice 1 : Machines thermiques

---

*(5,5 points)*

#### 1 – Machine motrice ou réceptrice ?

Une machine thermique fonctionne entre deux sources de chaleur dont les températures sont respectivement  $\theta_1 = -20^\circ\text{C}$  et  $\theta_2 = +250^\circ\text{C}$ . Au cours du fonctionnement, le fluide circulant dans la machine fournit une quantité de chaleur de 1500 J à la source de chaleur de température  $\theta_1$  et reçoit une quantité de chaleur de 5000 J de la source de chaleur de température  $\theta_2$ .

a) Précisez la quantité de chaleur échangée avec la source chaude,  $Q_C$ , et celle échangée avec la source froide,  $Q_F$ .

b) En justifiant votre proposition, indiquez à quelle classe de machine (motrice ou réceptrice) appartient cette machine.

c) Représentez sur un schéma, les échanges énergétiques ( $W$ ,  $Q_C$  et  $Q_F$ ) réalisés par cette machine thermique avec l'utilisateur et les sources chaude et froide.

**d)** Déterminez si cette machine peut fonctionner. Dans l'affirmative, précisez si ce fonctionnement se réalisera de manière réversible ou irréversible et calculez l'efficacité de cette machine. Vous conserverez 3 chiffres significatifs.

## 2 – Machine motrice

Une machine motrice fonctionne de manière réversible avec une source froide de température  $\theta_f = 7^\circ\text{C}$  et un rendement thermique de 0,60.

**a)** Calculez la température de la source chaude.

**b)** On considère maintenant que la machine reçoit une quantité de chaleur de 2300 J de la source chaude, quelle est la quantité de chaleur évacuée par le fluide vers la source froide ?

## 3 – Pompe à chaleur

Dans un processus industriel de séchage, une pompe à chaleur, dont le coefficient de performance est égal à 5, est retenue pour maintenir une température  $\theta_l$  dans une tour alors que la température extérieure est de 3 °C.

**a)** Déterminez la température maximale que cette pompe à chaleur peut maintenir dans cette tour de séchage.

**b)** Dans ces conditions, la pompe à chaleur délivre une puissance thermique de 55 kW. Calculez la puissance mécanique  $\dot{W}$  (en kW) que l'on doit fournir au compresseur.

### Exercice 2 : Tuyère de Laval

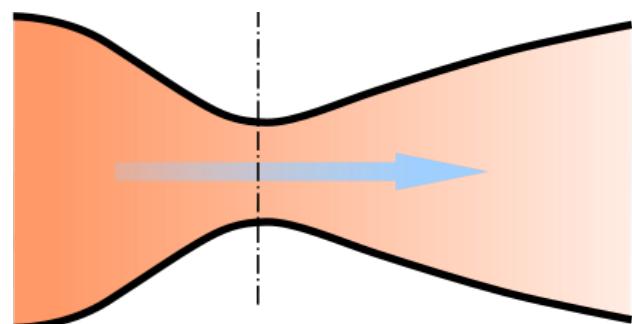
(4,5 points)

La tuyère de Laval est un tube pincé utilisé pour accélérer les fluides gazeux qui le traversent, à une vitesse supersonique.

Considérons une tuyère, traversée par de l'eau. À l'entrée, le débit du fluide est de  $2 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ . Il est animé d'une vitesse de  $50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , a une pression de 1 MPa et une température de  $500^\circ\text{C}$ .

À la sortie, on mesure une vitesse de  $800 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . La pression est de 0,3 MPa et la température de  $320^\circ\text{C}$ .

On considérera que l'écoulement de l'eau dans la tuyère s'effectue en régime permanent. De plus, on pourra négliger la variation d'énergie potentielle de cette eau entre l'entrée et la sortie de la tuyère.



Déterminez la puissance thermique,  $\dot{Q}$ , échangée entre le fluide et le milieu extérieur, en vous appuyant sur les tables de variables thermodynamiques. Précisez, s'il s'agit d'un gain ou d'une perte thermique.

### Exercice 3 : Cycle de réfrigération

(10 points)

Une machine frigorifique permet de maintenir une température de  $-18^\circ\text{C}$  dans une chambre froide industrielle. Le cycle décrit par le fluide frigorigène est représenté dans le diagramme entropique de la figure 1, où la transformation  $3 \rightarrow 4$  est adiabatique et isenthalpique. Les pressions extrêmes sont  $P_1 = 1,4 \text{ bar}$  et  $P_2 = 8 \text{ bars}$ . Le débit du réfrigérant est de 180 kg/h.

Pour l'ensemble du problème, on pourra négliger les variations d'énergie cinétique et potentielle du fluide frigorigène qui s'écoule en régime permanent.

**Note : les valeurs des puissances calculées seront exprimées en kW avec une précision sur la deuxième décimale.**

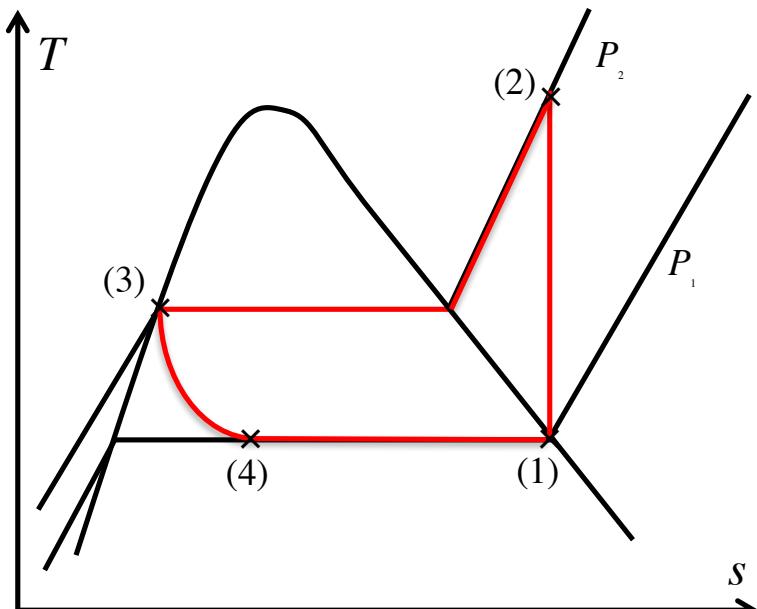


Figure 1

On donne ci-dessous quelques extraits des tables thermodynamiques du réfrigérant utilisé.

**VAPEUR SURCHAUFFÉE** sous la pression de 8 bars (température d'ébullition 32,74 °C).

<b><math>T</math> (°C)</b>	<b>Enthalpie massique (kJ/kg)</b>	<b>Entropie massique (kJ/(kg·K))</b>
40	206,07	0,7021
50	213,45	0,7253

**ÉTAT SATURANT** (Equilibre liquide - vapeur).

<b><math>P</math> (bar)</b>	<b><math>T</math> (°C)</b>	<b>Enthalpie massique (kJ/kg)</b>		<b>Entropie massique kJ/(kg·K)</b>		<b>Volume massique (m<sup>3</sup>/kg)</b>	
		Liq. sat.	Vap. sat.	Liq. sat.	Vap. sat.	Liq. sat.	Vap. sat.
1,4	-21,91	16,09	177,87	0,0663	0,7102	0,0006828	0,1168
8	32,74	67,30	200,63	0,2487	0,6845	0,0007802	0,02188

### 1) Etude du fonctionnement et du cycle de transformation

- a) En vous appuyant sur la représentation du cycle dans le diagramme entropique (figure 1) :
- précisez les états dans lesquels se trouvent le fluide frigorifique en les différents points du circuit, (1), (2), (3) et (4) ;
  - décrivez les transformations subies par le fluide (**type de transformation, nature de l'évolution**) entre (1) et (2), entre (2) et (3) et entre (4) et (1). Quel nom donne-t-on à la transformation (1-2) ?
- b) Cette machine frigorifique est constituée des quatre organes principaux suivants : un compresseur (C) ; un détendeur (D) ; deux échangeurs thermiques, un évaporateur (E) et un condenseur (L).
- Indiquez dans quel organe se réalise respectivement chacune des transformations (1-2), (2-3), (3-4) et (4-1).

- Représentez le schéma de principe de cette installation, en précisant le sens d'écoulement du fluide frigorigène.
  - Indiquez au contact de quelle source se trouve respectivement le condenseur et l'évaporateur, ainsi que le rôle tenu par la chambre froide (source froide ou source chaude).
- c) Cette machine frigorifique constitue-t-elle une machine motrice ou une machine réceptrice ? Justifiez.

### 2) Etude de l'évaporateur

- a) Établissez, en les justifiant, les expressions du bilan massique et du premier principe. En déduire l'expression de la puissance thermique,  $\dot{Q}_F$ , échangée par le fluide dans l'évaporateur, dans ces conditions.

- b) Calculez la puissance thermique  $\dot{Q}_F$ . Est-elle reçue ou cédée par le fluide ?

### 3) Etude du compresseur

- a) Établissez, en les justifiant, les expressions du bilan massique et du premier principe. En déduire l'expression de la puissance thermique,  $\dot{W}$ , échangée par le fluide dans le compresseur, dans ces conditions.

- b) Calculez la puissance mécanique  $\dot{W}$ . Est-elle reçue ou cédée par le fluide ?

### 4) Bilan et performance de la machine frigorifique

- a) En vous appuyant sur les données et résultats précédents, déterminez la puissance thermique,  $\dot{Q}_C$ , échangée par le fluide dans le condenseur.

- b) Donnez l'expression littérale de l'efficacité de cette machine frigorifique, puis calculez sa valeur.

*Bon courage*