

Semestre: 6

Unité d'enseignement: UEF 3.2.2

Matière: Machines frigorifiques et pompes à chaleur

VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)

Crédits: 4

Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Apprendre les techniques de production du froid et des principaux éléments techniques utilisés dans ce vaste domaine.

Connaissances préalables recommandées:

Thermodynamique, turbomachines, régulation, éléments de machines.

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Généralités

(2 Semaines)

Historique du froid, Cycle frigorifique de Carnot, Coefficient de performance du cycle de Carnot.

**Chapitre 2. Cycle thermodynamique d'une machine frigorifique à compression de vapeur
(3 Semaines)**

Représentation du cycle thermodynamique de base (sur un diagramme T-s et P-h), Représentation du cycle thermodynamique pratique (sur un diagramme T-s et P-h), Bilan thermique du cycle thermodynamique, Notion de Fluides frigorigènes, Etude des performances (COP,...), Applications industrielles du froid.

Chapitre 3. Composants d'une machine frigorifique à compression de vapeur

(3 Semaines)

Compresseurs, Evaporateurs, Condenseurs, Organes de détente.

Chapitre 4. Autre types de machines frigorifiques

(3 Semaines)

Principe de fonctionnement d'une machine frigorifique à absorption, Cycle frigorifique à air.

Chapitre 5. Cycle thermodynamique d'une Pompe à Chaleur

(3 Semaines)

Schéma fluide, Vanne d'inversion du cycle, Etude des performances (saison été et saison hiver), Différents types de pompes à chaleur (géothermique, etc.).

Mode d'évaluation:

Contrôle continu: 40% ; Examen: 60%.

Références bibliographiques:

1. [H. Recknagel](#), E-R. Schramek, [E. Sprenger](#), « [Génie climatique](#) », [Dunod](#), 2013.
2. [W. Maake](#), [H.-J. Eckert](#), [J-L. Cauchepin](#), « Le Pohlmann - Manuel technique du froid », [PYC Livres](#).
3. [J. Desmons](#), « [Aide-mémoire de l'ingénieur](#) : Génie climatique », [Dunod](#).
4. F. Meunier, D. Mugnier, « La climatisation solaire. Thermique ou photovoltaïque », DUNOD, 2013.
5. F. Meunier, P. Rivet, M-F. Terrier, « Froid industriel - 2ème édition », DUNOD, 2010.
6. [Horst Herr](#), « Génie énergétique et climatique Chauffage, froid, climatisation », [Dunod Tech](#) 2014.

Série d'exercices n° 01

Exercice 01 :

- Remplissez le tableau suivant pour l'eau :

T, °C (Température)	P, kPa (Pression)	v, m ³ /kg (Volume massique)	Etat de la phase
50		4,16	
	200		Vapeur saturée
250	400		
110	600		

Exercice 02 :

- Remplissez le tableau suivant pour l'eau :

T, °C	P, kPa	h, kJ/kg (Enthalpie)	x (Qualité)	Etat de la phase
	200			
140		1800		
	950		0	
80	500			
	800	3162,2		

Exercice 03 :

- Remplissez le tableau suivant pour le réfrigérant R134a :

T, °C	P, kPa	v, m ³ /kg	Etat de la phase
-8	320		
30		0,015	
	180		Vapeur saturée
80	600		

Exercice 04 :

- Remplissez le tableau suivant pour le réfrigérant R134a :

T, °C	P, kPa	u, kJ/kg (Energie interne)	Etat de la phase
20		95	
-12			Liquide saturé
	400	300	
8	600		

Exercices à domicile :**Exercice 01 :**

- Remplissez le tableau suivant pour l'eau :

T, °C	P, kPa	u, kJ/kg	v, m ³ /kg	Etat et titre
30	200			
130	270,3			
400				
	300		1,5493	
	500	3084	0,500	

Exercice 02:

- Remplissez le tableau suivant pour le réfrigérant R134a :

T, °C	P, kPa	u, kJ/kg	v, m ³ /kg	Etat et titre
-12	320			
39,37	1000			
40			0,17794	
	180		0,0700	
	200	249		

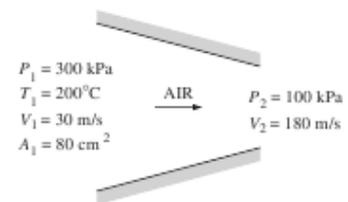
Bon courage

Série d'exercices n° 02

Exercice 01 :

Un écoulement d'air entre dans une tuyère adiabatique à 300 kPa et 200°C avec une vitesse de 30 m/s et en ressort à 100 kPa et à 180 m/s. L'aire d'entrée de la tuyère est de 80 cm². Déterminez :

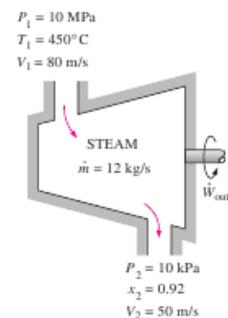
1. Le débit massique ;
2. La température de l'aire à la sortie ;
3. L'aire à la sortie.



Exercice 02 :

Un écoulement de vapeur d'eau s'écoule dans une turbine adiabatique. Les conditions à l'entrée de la turbine sont une pression de 10 MPa, une température de 450°C et une vitesse d'écoulement de 80 m/s. Les conditions à la sortie sont une pression de 10 kPa, un titre de 92% et une vitesse de 50 m/s. Déterminez :

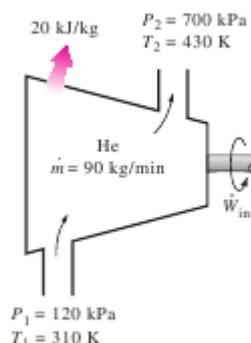
1. La variation d'énergie cinétique de l'écoulement ;
2. La puissance produite par la turbine ;
3. L'aire à l'entrée de la turbine.



Exercice 03 :

Un écoulement d'hélium est comprimé de 120 kPa et de 310 K à 700 kPa et 430 K. Le compresseur perd 20 kJ/kg au profil du milieu extérieur pendant l'évolution de compression. Déterminez :

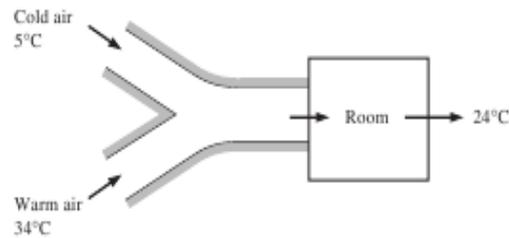
- La puissance d'alimentation requise si le débit du compresseur est de 90 kg/min. (Supposez que la variation des énergies cinétique et potentielle de l'écoulement est négligeable.)



Exercice 04 :

Un système d'air climatisé mélange un écoulement d'air froid (5°C , 105 kPa et $1,25\text{ m}^3/\text{s}$) à un écoulement d'air chaud (34°C , 105 kPa) avant d'admettre le mélange dans la pièce. La température de l'air évacué de la pièce est de 24°C . Le rapport du débit massique d'air chaud au débit massique d'air froid est de $1,6$. A l'aide des variables thermodynamiques tirées de la table d'air, déterminez :

1. La température du mélange à l'entrée de la pièce ;
2. La puissance thermique échangée dans l'air de la pièce.

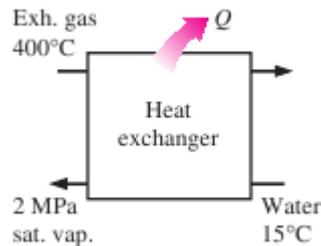


Exercice à domicile :

La chaleur des gaz d'échappement d'un moteur à combustion est récupérée pour produire de la vapeur d'eau saturée à 2 MPa . Les gaz d'échappement entrent dans l'échangeur à 400°C avec un débit de $32\text{ kg}/\text{min}$ alors que l'eau entre à 15°C . L'échangeur est mal isolé et on estime que 10% de la chaleur cédée par les gaz d'échappement est perdue au profil du milieu extérieur. Déterminez :

1. La température des gaz d'échappement à la sortie de l'échangeur ;
2. La puissance thermique transmise à l'eau.

(Utilisez la table de l'air et supposez que le débit massique des gaz d'échappement est 15 fois celui de l'eau).



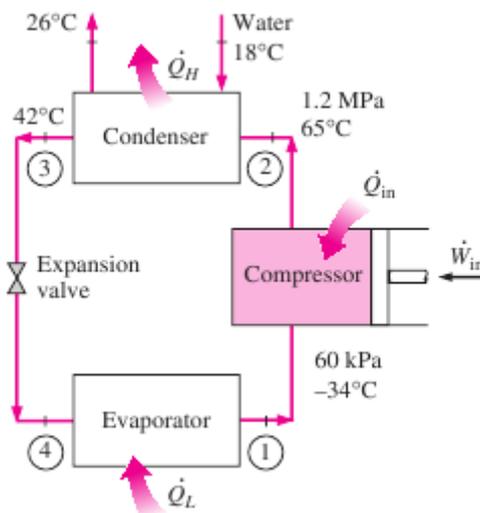
Bon courage

Série d'exercices n° 03

Exercice 01 :

Soit un réfrigérateur qui utilise le réfrigérant R134a. Le réfrigérateur extrait de la chaleur du milieu réfrigéré à -30°C et transmet de la chaleur à un écoulement d'eau qui est admis dans le condenseur à 18°C et qui en ressort à 26°C . Le débit d'eau est de $0,25\text{ kg/s}$. Le réfrigérant entre dans le condenseur à $1,2\text{ MPa}$ et à 65°C , et il en ressort à 42°C . Le réfrigérant est admis dans le compresseur à 60 kPa et à -34°C . Le milieu extérieur transmet une puissance thermique de 450 W au compresseur. Déterminez :

1. Le titre du réfrigérant à l'entrée de l'évaporateur ;
2. La puissance de réfrigération c'est-à-dire la puissance extraite du milieu réfrigéré ;
3. Le COP de l'installation ;
4. La puissance de réfrigération théorique maximale pour la même puissance consommée par le compresseur.



Exercice 02 :

Soit un réfrigérateur fonctionnant selon le cycle à compression de vapeur idéal. Les pressions minimale et maximale du cycle sont respectivement de $0,12\text{ MPa}$ et $0,7\text{ MPa}$. Le débit massique du réfrigérant R134a est de $0,05\text{ kg/s}$. Montrez le cycle dans un diagramme T-s. Déterminez :

1. La puissance thermique extraite du milieu réfrigéré et la puissance consommée par le compresseur ;
2. La puissance thermique évacuée dans le milieu extérieur ;
3. Le coefficient de performance.

Exercice 03 :

Déterminez le COP et la puissance thermique extraite du milieu réfrigéré dans l'exercice 02 si le détendeur est remplacé par une turbine isentropique.

Exercice 04 :

Soit un réfrigérateur qui utilise le réfrigérant R134a comme fluide frigorigène. Le réfrigérant pénètre dans le compresseur sous forme de vapeur surchauffée à 0,14 MPa et à -10°C avec un débit massique de 0,12 kg/s. Il sort du compresseur à 0,7 MPa et à 50°C . Le réfrigérant est refroidi dans le condenseur à 0,65 MPa et à 24°C , puis il est détendu dans le détendeur à 0,15 MPa. Montrez le cycle dans un diagramme T-s. Déterminez :

1. La puissance thermique extraite du milieu réfrigéré et la puissance consommée par le compresseur ;
2. Le rendement isentropique du compresseur ;
3. Le COP du réfrigérateur.

Exercice à domicile :

Un écoulement de réfrigérant R134a entre dans le compresseur du réfrigérateur à 140 kPa et à -10°C avec un débit de $0,3 \text{ m}^3/\text{min}$. Il en ressort à 1 MPa. Le rendement isentropique du compresseur est de 78%. Le réfrigérant pénètre dans le détendeur à 0,95 MPa et à 30°C , et il sort de l'évaporateur sous forme de vapeur saturée à $-18,5^{\circ}\text{C}$. Montrez le cycle dans un digramme T-s. Déterminez :

1. La puissance consommée par le compresseur ;
2. La puissance thermique extraite du milieu réfrigéré ;
3. La chute de pression et la chaleur ajoutée au conduit reliant l'évaporateur au compresseur.

Bon courage

Pr. H. Madani