

MACHINES THERMIQUES**Exercice n°1**

Une centrale nucléaire fournissant une puissance $P = 1000 \text{ MW}$ est installée au bord d'un fleuve dont la température est $T_2 = 300 \text{ K}$ et le débit massique $D = 400 \text{ m}^3/\text{s}$. La température de la source chaude est $T_1 = 700 \text{ K}$.

En admettant que le rendement réel soit seulement de $x = 60\%$ du rendement de Carnot réversible, calculer l'élévation de température du fleuve qui résulte du fonctionnement.

($c_{\text{eau}} = 4.18 \text{ kJ/kg/K}$)

Exercice n°2

On désire maintenir dans un appartement une température constante de $T_1 = 290 \text{ K}$ grâce à une pompe à chaleur utilisant comme source froide un lac de température $T_0 = 280 \text{ K}$. La température extérieure est uniformément égale à T_0 . Pour cela il faut dépenser l'énergie juste nécessaire pour compenser les pertes de chaleur.

1°) Pour évaluer ces pertes, on arrête le chauffage, au bout de 2 h la température n'est plus que de $T_2 = 285 \text{ K}$ ($T_{\text{initiale}} = T_1$). Si la quantité de chaleur perdue durant dt s'écrit $\delta Q = aC(T - T_0)dt$, C étant la capacité thermique de l'appartement, T sa température à l'instant t .

Déterminer le coefficient a supposé constant.

2°) Sachant que l'efficacité réelle de la machine n'est que la fraction $x = 40\%$ de l'efficacité théorique optimale, quelle est la puissance P à fournir pour maintenir T_1 constant? $C = 10^7 \text{ J/K}$

3°) Quelle serait la puissance P' à fournir pour maintenir T_1 constant si on utilisait un radiateur ($e = 1$) ?

Exercice n°3 Couplage moteur-pompe à chaleur :

On veut réguler la température d'un bungalow (c'est à dire la maintenir constante) à $T_2 = 293 \text{ K}$ en utilisant le site où il se trouve : air extérieur chaud à $T_1 = 310 \text{ K}$ et eau froide d'un lac à $T_3 = 285 \text{ K}$. On utilise pour cela un moteur ditherme réversible fonctionnant entre l'air extérieur et le lac, fournissant l'énergie nécessaire à une pompe à chaleur réversible fonctionnant entre le bungalow et le lac. En appelant Q_1 la chaleur reçue par le moteur de l'air extérieur et Q_2 la chaleur réellement reçue par le bungalow, déterminer l'efficacité d'un tel dispositif : $e = Q_2 / Q_1$

Exercice n°4

Une pompe à chaleur de Carnot utilise du Fréon comme agent thermique. Pendant son contact avec la source chaude, à 40°C , le fréon passe de l'état de vapeur saturée à celui de liquide saturé. La source froide est à 20°C .

1°) Dessiner le diagramme du cycle en précisant son sens.

2°) on donne un extrait des tables thermodynamiques du fréon. En déduire le titre massique en vapeur au début et à la fin de l'évolution isotherme à 20°C .

	température ($^\circ\text{C}$)	Enthalpie (kJ.kg^{-1})	Entropie ($\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)
Vapeur saturant	20	195.641	0.6879
	40	203.051	0.6820
Liquide saturant	20	54.828	0.2076
	40	74.527	0.2716

3°) Calculer les chaleurs reçues par le fréon de la source chaude et de la source froide. En déduire le travail fourni par le compresseur de la pompe à chaleur et le coefficient de performance du cycle. Comparer cette valeur à celle que donne l'expression générale de l'efficacité d'une pompe à chaleur ditherme réversible.

Exercice n°5

On donne $T_1 = 450\text{K}$, $T_2 = 360\text{K}$ et $T_3 = 300\text{K}$.

L'installation schématisée sur la figure ci-contre est une pompe à chaleur ditherme fonctionnant entre la source chaude constituée du local à chauffer dont la température est $T_C = 293\text{K}$ et la source froide constituée de l'atmosphère extérieure dont la température est $T_F = 268\text{K}$.

L'air, assimilé à un gaz parfait de masse molaire $M =$

29g.mol^{-1} et de coefficient isentropique constant $\gamma = 1.40$, est prélevé dans l'atmosphère dans l'état E_1 et traverse l'échangeur thermique calorifugé (ET) d'où il sort dans l'état E_2 après avoir croisé une autre circulation d'air évoluant de l'état E_4 à l'état E_5 , où $T_4 = T_2$ et $T_5 = T_1$, ce qui revient à supposer que les échanges thermiques entre les deux circulations d'air sont réversibles.

L'air traverse ensuite le local à chauffer (L) où il cède un transfert thermique à la source chaude et évolue de l'état E_2 à l'état E_3 .

Il est alors comprimé réversiblement dans le compresseur (Cp) calorifugé où il évolue de l'état E_3 à l'état E_4 .

Puis l'air traverse l'échangeur thermique calorifugé (ET) où il évolue de l'état E_4 à l'état E_5 en croisant le circuit déjà évoqué où l'air évolue de l'état E_1 à l'état E_2 .

Enfin l'air se détend réversiblement dans la turbine (T) calorifugée, de l'état E_5 à l'état E_6 .

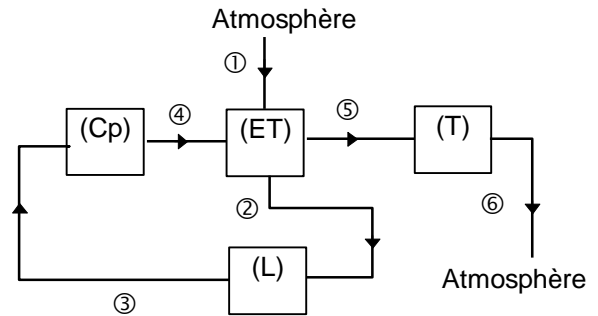
Le tableau ci-dessous donne les renseignements connus sur les états successifs de l'air dans l'installation. On donne $R = 8.314 \text{ J/K/mol}$.

Etat	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6
p en Bar	1	1	1	2	2	1
T en K	268		293		268	

L'installation fonctionne en régime permanent avec un débit massique identique dans tous les éléments de l'installation. On raisonne sur une durée correspondant au transfert d'un kilogramme d'air dans chaque élément de l'installation. On néglige les variations d'énergie mécanique.

1°) Calculer la température T_4 et le travail $W_{3 \rightarrow 4}$ reçu par l'air dans le compresseur (Cp). Calculer la température T_6 et le travail $W_{5 \rightarrow 6}$ algébrique reçu par l'air dans la turbine (T). En réalité la turbine est utilisée pour entraîner partiellement le compresseur ; calculer le travail W effectivement reçu par l'installation.

2°) Calculer le transfert thermique Q_C reçu par l'air à la traversée du local. En déduire l'efficacité e de la pompe à chaleur ; comparer à l'efficacité d'une pompe à chaleur de Carnot et commenter.



Exercice n°6

Une installation frigorifique fonctionne à l'ammoniac ($R717$), au régime nominal $-10^\circ\text{C} : +30^\circ\text{C}$. Elle développe une puissance frigorifique brute de 100 kW . La compression et la détente du $R717$ sont supposées respectivement parfaitement isentrope et isenthalpe. La surchauffe des vapeurs aspirées par le compresseur est de $+10^\circ\text{C}$, et le sous-refroidissement du fluide frigorigène à l'état liquide en sortie de détendeur atteint la température $+25^\circ\text{C}$. Par ailleurs, on admettra que les changements d'état et de température du fluide caloporteur ont entièrement lieu à l'intérieur des échangeurs thermiques.

- Tracer le schéma de l'installation en faisant figurer ses composants principaux, et tracer le cycle frigorifique sur le diagramme de Mollier du $R717$, et faire le lien entre les deux.
- Indiquer l'intérêt de la surchauffe et du sous-refroidissement du fluide frigorigène.
- Consigner dans un tableau les valeurs des pressions, températures, enthalpies et titres aux différents points du cycle.
- Déterminer les grandeurs caractéristiques de cette installation frigorifique :
 - Débit massique du fluide frigorigène;
 - Puissance mécanique théorique du compresseur;
 - Puissance mécanique réelle du compresseur;
 - Coefficient de performance (COP) théorique (de Mollier) et réel de l'installation;
 - Efficacité par rapport au cycle de Carnot de la machine;
- Calculer la puissance calorifique à évacuer au condenseur.

Données:

- Le diagramme de Mollier du $R717$ ci-dessous.
- Le travail de compression réel du compresseur vaut son travail de compression théorique divisé par les rendements indiqués η_i et mécanique η_m du compresseur. On considérera que le rendement indiqué η_i est égal au rendement volumétrique η_v du compresseur. Celui-ci s'exprime par $\eta_v = 1 - 0,05(P_c/P_e)$, avec P_c et P_e les pressions respectivement au condenseur et à l'évaporateur. Le rendement $\eta_m = 0,90$.

