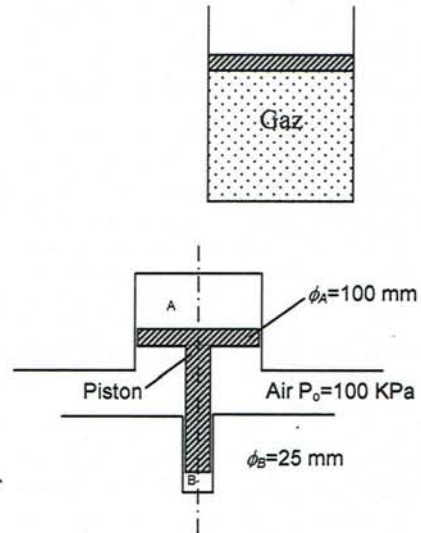


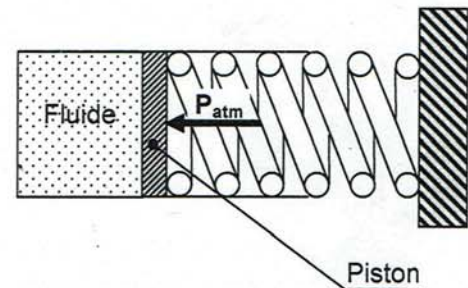
EXERCICES DE THERMODYNAMIQUE (Série relative aux concepts et Définitions).

I) Un piston a une section de 500 mm^2 . Qu'elle masse doit avoir le piston s'il exerce une pression de 50 KPa de plus de la pression atmosphérique sur le gaz enfermé dans le cylindre ($g=9.81 \text{ m/s}^2$)

II) Un gaz est contenu dans deux cylindres A et B, reliés par un piston ayant deux diamètres différents (voir figure). La masse du piston est de 10 Kg et la pression à l'intérieur du cylindre A est de 200 KPa. Calculer la pression dans le cylindre B.



III) Le fluide à l'intérieur du cylindre est en équilibre mécanique. La pression atmosphérique est de 101.325 KPa. La section du piston est de 2500 mm^2 . La constante de raideur du ressort linéaire est de 5000 N/m. Qu'elle est la pression du fluide si le ressort est comprimé de 150 mm à partir de la longueur libre.



IV) La température d'un fluide est mesurée par un thermomètre Celsius et un thermomètre Kelvin. Si la valeur numérique indiquée par les deux thermomètres est la même, qu'elle est la température du fluide.

V) Un manomètre contient un fluide dont la masse volumique est de 800 Kg/m^3 . La différence de hauteur entre les deux colonnes est de 300 mm. Qu'elle différence de pression est ainsi indiquée? Qu'elle serait la différence de hauteur si cette même différence de pression était mesurée avec un manomètre contenant du mercure (masse volumique de $13\,600 \text{ Kg/m}^3$)

Exo1:

Trouver la température de saturation aux pressions :

$P: 0.1 \text{ MPa}, 5.0 \text{ kPa}, 27 \text{ kPa} \rightarrow (\text{H}_2\text{O})$

la pression de saturation aux températures :

$25^\circ\text{C}, 310^\circ\text{C}, 83^\circ\text{C} \rightarrow (\text{H}_2\text{O})$

Trouver le volume spécifique de la vapeur surchauffée dans les conditions suivantes :

a) $\begin{cases} 0.1 \text{ MPa} \\ 150^\circ\text{C} \end{cases}$ b) $\begin{cases} 0.1 \text{ MPa} \\ 175^\circ\text{C} \end{cases}$ c) $\begin{cases} 0.15 \text{ MPa} \\ 200^\circ\text{C} \end{cases}$ d) $\begin{cases} 0.25 \text{ MPa} \\ 650^\circ\text{C} \end{cases}$

Exo2. Déterminer si l'eau dans chacun des états suivants est un liquide comprimé, une vapeur surchauffée ou un mélange liquide-vapeur.

a) $\begin{cases} 120^\circ\text{C} \\ 150 \text{ kPa} \end{cases}$ b) $\begin{cases} 0.35 \text{ MPa} \\ 0.4 \text{ m}^3/\text{kg} \end{cases}$ c) $\begin{cases} 160^\circ\text{C} \\ 0.4 \text{ m}^3/\text{kg} \end{cases}$ d) $\begin{cases} 200 \text{ kPa} \\ 110^\circ\text{C} \end{cases}$ e) $\begin{cases} 300^\circ\text{C} \\ 0.01 \text{ m}^3/\text{kg} \end{cases}$

Exo3. Déterminer le titre (si elle est saturée) ou la température (si elle est surchauffée) de chacune des substances suivantes:

a. Ammoniac $20^\circ\text{C}, 0.1 \text{ m}^3/\text{kg}$; $800 \text{ kPa}, 0.2 \text{ m}^3/\text{kg}$
b. fréon 12 $400 \text{ kPa}, 0.04 \text{ m}^3/\text{kg}$
c. Eau $20^\circ\text{C}, 1 \text{ m}^3/\text{kg}$; $8 \text{ MPa}, 0.01 \text{ m}^3/\text{kg}$

Exo4. Un réservoir contient du fréon 12 à 35°C . Le volume du réservoir est de 0.1 m^3 . Initialement le volume du liquide est égal au volume de la vapeur. On introduit du fréon 12 additionnel dans le réservoir jusqu'à ce que la masse de fréon soit de 80 kg .

- Quel est le volume final du liquide dans le réservoir, en supposant que la température y est maintenue à 35°C ?
- Quelle est la masse ajoutée au réservoir?

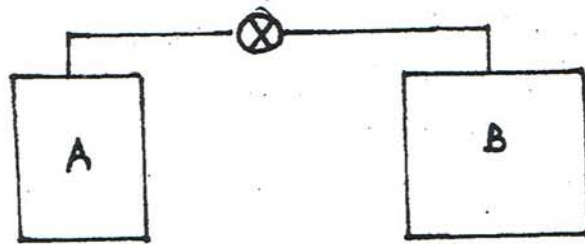
Exo5. Un récipient rigide de 0.015 m^3 , contenant 10 kg d'eau (liq.-vap) à 30°C , est chauffée lentement. Est-ce que le niveau du liquide à l'intérieur va monter ou baisser. Répondre à la même question dans le cas où le récipient contient 1 kg au lieu de 10 kg .

Exo6. Un système de réfrigération a un volume de 0.05 m^3 . On y fait le vide puis on le remplit lentement avec du fréon 12. Au cours de ce procédé, la température du fréon demeure constante et est égale à la température ambiante de 25°C .

- Quelle sera la masse de Fréon 12 dans le système lorsque la pression atteindra 250 kPa ?
- Quelle sera la masse de Fréon 12 dans le système lorsque celui-ci sera rempli de vapeur saturée ?
- Quelle fraction de Fréon 12 sera sous forme liquide lorsque 5 kg de Fréon auront été introduits dans le système ?

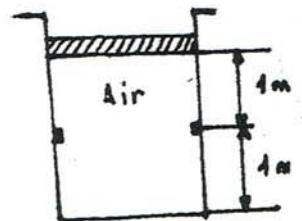
Exo7

Le réservoir A de la figure ci-dessous a un volume de 0.1 m^3 et contient du Fréon 12 à 25°C : 10% liquide et 90% vapeur en volume. Le vide a été fait dans le réservoir B. Le robinet est ensuite ouvert; les réservoirs atteignent éventuellement la même pression, soit 200 kPa. Au cours de cette évolution on fournit de la chaleur au Fréon 12 pour qu'il demeure à 25°C . Quel est le volume du réservoir B.



Exo8

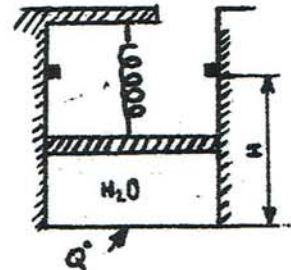
De l'air est contenu dans un cylindre verticale muni d'un piston sans friction et de butées d'arrêt, comme le représente la figure ci-contre. la section du piston est de 0.2 m^2 ; l'air est initialement à 200 kPa et 500°C . L'air est alors refroidi par suite d'un transfert de chaleur vers le milieu ambiant.



- Quelle est la température de l'air à l'intérieur lorsque le piston atteint les butées ?
- Si le refroidissement est poursuivi jusqu'à ce que la température atteigne 20°C , quelle est la pression à l'intérieur du cylindre dans cet état.

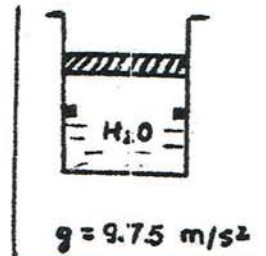
Exo:9 Un cylindre fermé par un piston contient 0.5 kg d'eau dont le titre est de 0.5%. La masse du piston est de 80 kg et de section 0.0314 m^2 . A cet état, le ressort touche le piston sans y exercer une force (voir figure). On chauffe l'eau jusqu'à l'état saturé à une pression de 1.75 MPa.

1. Le piston touchera-t-il la butée à la fin du processus?
2. Représenter l'évolution sur un diagramme P-V.
3. Calculer le travail fourni au cours de ce processus.



On donne $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ $P_{\text{atm}} = 100 \text{ kPa}$ $H = 2 \text{ m}$

Exo 10 Le cylindre représenté sur la figure ci-contre contient 1 kg d'eau saturée à 30°C . Le piston a une section de 0.065 m^2 et une masse de 40 kg et initialement repose sur la butée. A ce moment là, le volume est de 0.1 m^3 . La pression atmosphérique est de 94 kPa. De la chaleur est alors transmise au système jusqu'à ce que le cylindre contienne de la vapeur saturée.



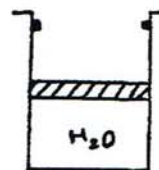
- a. Quelle est la température de l'eau lorsque le piston commence à s'élever au dessus des butées?
- b. Calculer le travail effectué par l'eau durant toute l'évolution

Exo 11 Tout l'espace situé au-dessus de l'eau dans un réservoir fermé contient de l'azote à 25°C et 100 kPa. Le réservoir a un volume total de 4 m^3 et contient 500 kg d'eau (liq.) à 25°C ($\rho = 0.001003 \text{ m}^3/\text{kg}$). On y ajoute lentement 500 kg d'eau. En supposant que la température demeure constante calculer la pression finale de l'azote et le travail fait sur N_2 pendant l'évolution.
supposer N_2 comme un gaz parfait, $R_{\text{N}_2} = 0.29680 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

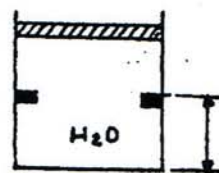
Exo 12 Dans un moteur de fusée, un ballon d'hélium (gaz) est utilisé pour maintenir une pression constante de 100 kPa sur l'oxygène liquide (de densité 1142 kg/m^3), dans un réservoir, qui alimente une pompe. Les conditions initiales sont montrées sur la figure ci-dessous. Lorsque tout l'oxygène est évacué, le ballon et le réservoir sont tous les deux remplis d'hélium gazeux à -75°C et 0.1 MPa

Exo 13- Un récipient rigide ayant un volume de 0.5 m^3 est rempli avec de l'ammoniac à 600 kPa et 70°C . De la chaleur est cédée par l'ammoniac jusqu'à ce qu'il existe sous forme de vapeur saturée. Calculer la chaleur transmise durant cette évolution.

Exo 14- Cinq (5) kg. d'eau à 45°C sont retenues dans un cylindre verticale, par un piston sans friction dont la masse est telle que la pression de l'eau est de 700 kPa . De la chaleur est transmise lentement à l'eau, ce qui fait lever le piston jusqu'à ce qu'il atteigne les butées. A ce moment là, le volume à l'intérieur du cylindre est de 0.5 m^3 . On fournit encore plus de chaleur à l'eau jusqu'à ce qu'elle soit sous forme de vapeur saturée. Déterminer la pression finale dans le cylindre, la chaleur échangée et le travail effectué durant l'évolution. Représenter l'évolution sur un diagramme T. ϕ et P. ϕ .

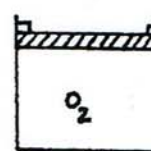


Exo 15- Considérer l'arrangement piston sans friction - cylindre, contenant un (1) kg. d'eau, illustré à la figure ci-contre. Le volume du cylindre correspondant à la hauteur H est de 0.05668 m^3 . Initialement la température de l'eau est de 250°C et la masse du piston est telle que la pression initiale est de 3 MPa . Par suite d'un transfert de chaleur lent, la température a chuté jusqu'à 25°C . Déterminer la quantité de chaleur échangée et représenter cette évolution sur un diagramme P. ϕ et un diagramme T. ϕ .



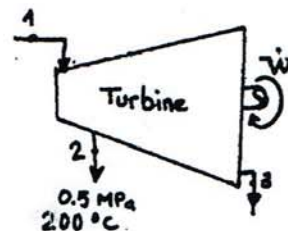
Ex 16- Un cylindre fermé par un piston sans friction est rempli de un (1) kilogramme d'oxygène se trouvant initialement à une pression 0.5 MPa et 4500 K . A cet état, le piston est plaqué contre les butées du cylindre. A partir de cet état initial, l'oxygène est refroidi lentement jusqu'à ce qu'il occupe la moitié du volume initial. En supposant que l'oxygène se comporte comme un gaz parfait avec $C_p = 0.9216 \text{ kJ/(kg K)}$, $C_v = 0.6618 \text{ kJ/(kg K)}$. On demande :

- 1- La température finale de l'oxygène
- 2- La chaleur transférée.
- 3- Représenter l'évolution sur un diagramme P. ϕ et T. ϕ .



Négliger la masse du piston. $P_{\text{atm.}} = 100 \text{ kPa}$.

Ex 17- Une turbine à vapeur (voir figure) reçoit 30 kg/s de vapeur d'eau à 3 MPa et 850°C . A l'endroit de la turbine où la pression est de 0.5 MPa , on extrait de la vapeur au taux de 5 kg/s à la température de 200°C . Le reste de la vapeur sort de la turbine à 15 kPa et à un titre de 90% . les pertes de chaleur au milieu ambiant sont de 150 kW . Calculer la puissance développée par la turbine.



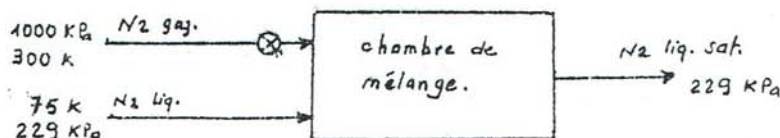
Ex 18- Le compresseur d'une turbine à gaz reçoit de l'air à 100 kPa , 25°C et à une vitesse de 50 m/s . A la sortie du compresseur, la pression de l'air est de 400 kPa , tandis que sa vitesse est de 120 m/s . Le débit d'air est de 20 kg/s . Le taux de chaleur transféré vers le milieu ambiant est de 10 kW . La puissance de la turbine qui entraîne le compresseur est de 3 MW .

- 1- Calculer la température de l'air à la sortie du compresseur.
- 2- Calculer l'erreur relative commise sur la température de sortie si la

la variation de l'énergie cinétique est négligée.

Supposer l'air comme un gaz parfait avec $C_v = 0.71075 \text{ kJ/kgK}$, $R = 0.287 \text{ kJ/kgK}$

- Ex 19 - le procédé de mélange illustré à la figure ci-dessous sert à obtenir de l'azote liquide saturé à 229 kPa. D'abord l'azote à haute pression est détendu par étranglement jusqu'à la pression de la chambre de mélange. Ensuite il est mélangé avec le liquide sous-refroidi qui pénètre dans la chambre avec un débit de 0.07 kg/s . Si la chaleur fournie à la chambre est de 0.05 kW , quel est le débit massique de l'azote gazeux dans la chambre ?



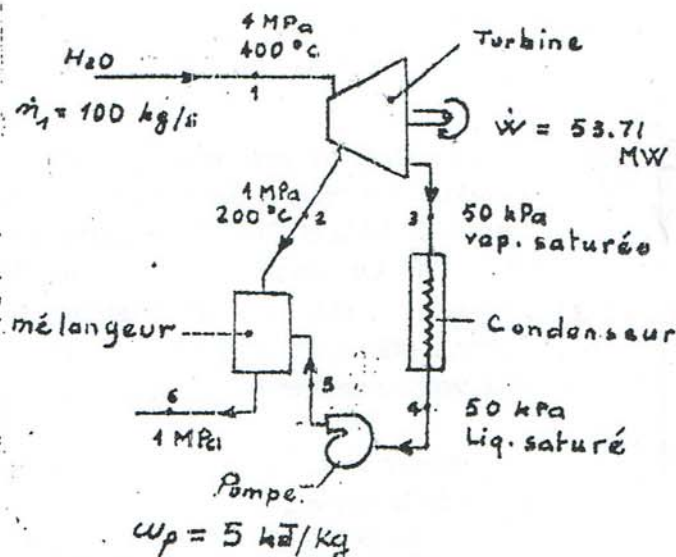
- Ex 20 - Considérer l'installation représentée sur la figure ci-contre. Toutes les données disponibles sont indiquées sur cette même figure.

La vapeur extraite (point 2) est acheminée vers un mélangeur. Le reste de la vapeur sort de la turbine à l'état de vapeur saturée à 50 kPa.

- Négliger les pertes de chaleur dans la turbine, le mélangeur et la pompe.

On demande :

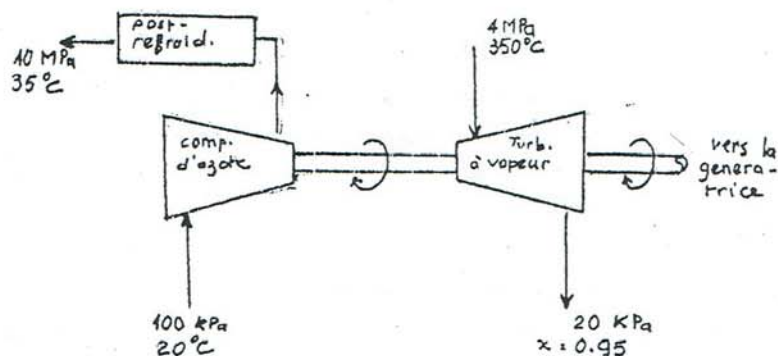
- 1- Calculer le débit de vapeur à l'entrée du condenseur (point 3).
- 2- Déterminer l'état de l'eau à la sortie du mélangeur et en déduire la température correspondante.



- Ex 21 - On utilise une turbine pour entraîner un compresseur d'azote (voir figure). Les états de la vapeur d'eau et de l'azote sont indiqués dans la figure. Les débits massiques sont respectivement de 0.125 kg/s et 0.02 kg/s dans la turbine et le compresseur. La turbine fournit 12 kW au compresseur, et le reste, à un générateur électrique.

1. Déterminer la puissance de la turbine disponible pour entraîner la génératrice.
2. Déterminer le taux de perte de chaleur par l'azote lorsqu'il passe dans le compresseur et le post-refroidisseur.

(Supposer N_2 : G.P. avec $C_p = 1.0416 \text{ kJ/kgK}$).



Exo 22 - Un réservoir isolé ayant un volume de 0.5 m^3 contient de l'air à 100 kPa et 25°C . Ce réservoir est connecté par l'intermédiaire d'une vanne à un conduit d'air. L'air dans le conduit est maintenu à 700 kPa et 120°C . La vanne est ouverte jusqu'à ce que la pression atteigne 500 kPa , à ce moment là, on ferme la vanne. Calculer la masse d'air pénétrant dans le réservoir ainsi que la température finale dans le réservoir.

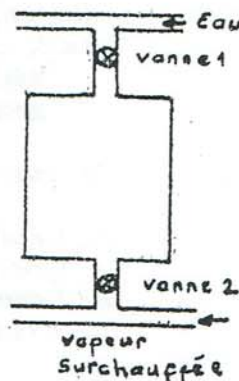
Supposé air gaz parfait avec $C_p = 1.0035 \text{ kJ/kgK}$ $C_v = 0.7165 \text{ kJ/kgK}$

Exo 23 - Un cylindre fermé, ayant un volume de 5 L , contient initialement un mélange liquide-vapeur d'eau dans les proportions suivantes : 20% du volume est occupé par du liquide et le reste par la vapeur. La pression initiale est de 200 kPa . Le cylindre est chauffé jusqu'à ce que l'eau devienne de la vapeur saturée. Au cours du chauffage la pression est contrôlée par un régulateur de pression qui permet de maintenir la pression à un niveau constant grâce à un jet de vapeur.

- 1 - Préciser si le système est ouvert ou fermé, et le régime d'écoulement s'il a lieu
- 2 - Déterminer la température dans le cylindre.
- 3 - Calculer la quantité de chaleur fournie au cylindre

Si la puissance de chauffage est de 400 W , calculer la durée du processus
 Note: L'eau quitte le cylindre sous forme de vapeur saturée à 200 kPa

Exo 24 - On considère un réservoir rigide de 60 litres , initialement vide. Ce réservoir est relié à deux conduits différents dont l'un contient de l'eau à 20 MPa et 300°C et l'autre de la vapeur surchauffée à 7 MPa et 850°C . On ouvre la vanne 1 pour faire admettre 1 Kg d'eau dans le réservoir; ensuite, après fermeture de la vanne 1, on ouvre la vanne 2 pour faire admettre la vapeur surchauffée jusqu'à ce que le réservoir ne contienne que de la vapeur saturée à 7 MPa .



- 1 - Trouver la masse de vapeur qui est admise dans le réservoir à partir de la vanne 2.
- 2 - Calculer le transfert de chaleur total mis en jeu dans l'opération de remplissage du réservoir.

Exo 25 - On se propose de chauffer une maison avec une pompe à chaleur. La chaleur perdue par la maison est de 15 kW . Il faut garder la maison à 22°C pendant que l'extérieur est à une température de -10°C . Quelle est la puissance minimale requise pour entraîner la pompe à chaleur?

Exo 26 - On doit utiliser une pompe à chaleur pour chauffer une maison pendant l'hiver et, en inversant son fonctionnement pour la refroidir pendant l'été. La température intérieure doit être maintenue à 20°C . Le transfert de chaleur à travers les murs et le toit est évalué à 2400 KJ par heure, par degré de différence entre l'intérieur et l'extérieur.

- a) Si la température extérieure en hiver est de 0°C , quelle est la puissance minimale requise pour entraîner la pompe thermique?
- b) Si la puissance fournie est la même qu'en a) quelle est la température extérieure maximale admissible pour conserver la température intérieure à 20°C pendant l'été?

- 27- On désire produire de la réfrigération à -30°C . Un réservoir est disponible à 200°C et la température ambiante est de 30°C . Du travail peut donc être effectué par une machine thermique fonctionnant entre le réservoir à 200°C et le milieu ambiant, ce travail peut être utilisé pour entraîner le réfrigérateur. Déterminer le rapport de la chaleur épuisée dans le réservoir à haute température, à la chaleur extraite de l'espace réfrigéré. On suppose que toutes les évolutions sont réversibles.
- 28- Un moteur thermique opérant entre deux réservoirs de chaleur de température 1000°C et 20°C , est utilisé pour entraîner une pompe à chaleur qui fonctionne entre deux réservoirs de 100°C et 20°C .
- 1- Représenter d'une manière schématique cette installation.
 - 2- Si le rendement du moteur est de 0.6 et le C.O.P. de la pompe à chaleur est de 2, trouver la quantité de chaleur rejetée par la pompe par unité de quantité de chaleur fournie au moteur.
 - 3- Recalculer ce rapport dans le cas où ces deux machines auraient été réversibles.
- 29- Un climatiseur (cycle de réfrigération) est utilisé pour refroidir une maison pendant l'été. L'échange de chaleur à travers les murs et le toit est évalué à 3600 KiloJoules par heure et par degré de différence entre l'intérieur et l'extérieur. Si la température extérieure est de 37°C et si la puissance fournie est de 1 KW, quelles sont les températures possibles à l'intérieur de la maison?
- 30- Un cylindre isolé et muni d'un piston a un volume initial de 0.15 m^3 et contient de la vapeur d'eau à 400 kPa et 200°C . On détend alors la vapeur adiabatiquement. Pendant cette évolution, le travail fourni est mesuré soigneusement et est égal à 30 KJ. On signale que l'état final de la vapeur se trouve dans la région de deux phases (liquide et vapeur). Comment évaluez-vous cette dernière affirmation?
- 31- Un cylindre contient 1 kg d'ammoniac à 100 kPa. L'ammoniac est comprimé isothermiquement, jusqu'à ce qu'il devienne de la vapeur saturée, par un apport de travail de 340 KJ. Pendant cette évolution, tout échange de chaleur se fait avec l'environnement qui se trouve à une température de 20°C . Est-ce que cette évolution est réversible, irréversible ou impossible?
- 32- Un cylindre fermé par un piston contient 200 l, de monoxyde de carbone CO (gaz parfait) à 1 MPa et 300°C . La force extérieure exercée sur le piston est proportionnelle à . Le système est refroidi jusqu'à la température ambiante de 20°C . Quelle est la variation nette d'entropie (pour le système + l'environnement) durant le processus?
- Données: $\left\{ \begin{array}{l} R = 0.18892 \text{ KJ/Kg.K} \\ C_v = 0.6529 \text{ KJ/Kg.K} \end{array} \right.$

33 - Du Fréon 12 à 20°C et 500 kPa est contenu dans un cylindre muni d'un piston. Le volume dans ces conditions est de 10 L. Le Fréon subit alors une détente adiabatique réversible jusqu'à -30°C . A la fin de cette évolution, le Fréon peut être réchauffé jusqu'à 20°C , à pression constante. Représentez les deux évolutions dans un diagramme $T-s$ et calculez le travail ainsi que la chaleur échangée lors de chaque évolution.

34 - Un réservoir rigide fermé, ayant un volume de 0.5 m^3 contient un réfrigérant (le Fréon 12). Initialement la température est de -10°C et le titre massique est de 40%. De la chaleur est transmise au réservoir à partir de l'environnement (source thermique à 35°C) jusqu'à ce que la température du Fréon 12 atteigne la valeur de $+10^{\circ}\text{C}$. Calculer:

- 1) Le changement d'entropie du réfrigérant . *Fréon 12*
- 2) Le changement d'entropie de l'environnement .
- 3) La variation nette d'entropie au cours de cette évolution. Commenter.

35 - De l'hélium à 300 KPa et 25°C est comprimé d'une manière quasi-statique à l'intérieur d'un cylindre jusqu'à une pression de 900 KPa suivant la relation

$$PV^{1.4} = \text{Cte.}$$

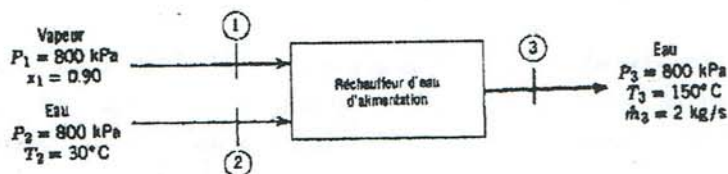
On suppose que l'hélium est un gaz parfait .

Ondonne: $C_p = 5.1926 \text{ kJ/kg K}$, $C_v = 3.1156 \text{ kJ/kg K}$.

- 1) Déterminer la température finale de l'hélium.
- 2) Calculer la variation d'entropie de l'hélium par unité de masse.
- 3) Expliquer , sans faire de calculs, pourquoi le système devrait recevoir ou céder de la chaleur ?
- 4) Déterminer la variation nette d'entropie par unité de masse si l'environnement est à 25°C .
- 5) Si à partir du même état initial, la compression quasi-statique, jusqu'à 900 kPa, aurait été faite dans un cylindre isolé thermiquement, trouver:
 - a) La nouvelle température finale.
 - b) La variation nette d'entropie par unité de masse si l'environnement est à 25°C .
- 6) Représenter les deux évolutions sur un diagramme $T-s$ (représenter les deux isobares).

36 - Un gaz parfait de nature inconnue est détendu à l'intérieur d'un cylindre adiabatique, d'une manière quasi-statique. Sa température chute de 300 K à 189 K , tandis que le volume final est le double du volume initial. Le travail fourni au cours de l'évolution est de 576.4 KJ/Kg. En supposant des chaleurs spécifiques constantes, trouver le C_p , le C_v , de ce gaz et le rapport entre la pression initiale et la pression finale.

37 - Un type de réchauffeur d'eau d'alimentation, servant à préchauffer l'eau avant qu'elle entre dans une chaudière, fonctionne sur le principe du mélange de l'eau avec de la vapeur. Pour les états illustrés à la figure ci-dessous, calculez le taux d'accroissement d'entropie par seconde, en supposant que l'évolution est adiabatique et que l'écoulement est permanent.



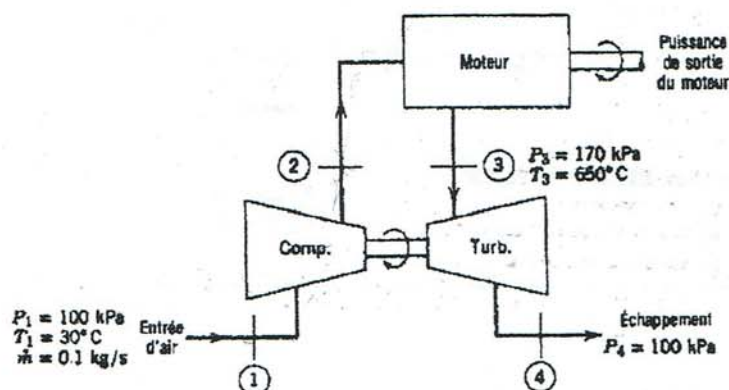
38 - De l'azote passe dans une tuyère avec un débit de 1 kg/s. Les conditions d'entrée sont de 400 kPa et 200°C ; la vitesse y est de 30 m/s et la pression de sortie est de 100 kPa. En supposant que l'évolution soit réversible et adiabatique, déterminez la vitesse de sortie de la tuyère.

39 - De la vapeur d'eau à 500 KPa et à 300°C entre à une faible vitesse dans une tuyère convergente - divergente. A la sortie de la tuyère, la pression de la vapeur est de 100 KPa. En précisant clairement les hypothèses adoptées :

- 1) Calculer la valeur maximale de la vitesse à la sortie de la tuyère. Calculer la température correspondante.
- 2) On mesure la température à la sortie de la tuyère et on trouve qu'elle est égale à 1360°C . Calculer la vitesse réelle à la sortie de la tuyère.
- 3) Calculer le rendement de cette tuyère.
- 4) Représenter les évolutions des questions 1) et 2) sur un diagramme T-s

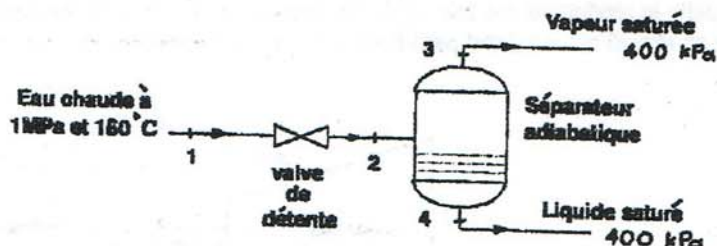
40 - On utilise un turbo- compresseur pour surcomprimer l'air admise dans un moteur d'automobile. Cet appareil consiste en une turbine entraînée par les gaz d'échappement et directement reliée à un compresseur d'air, comme l'illustre la figure ci-dessous. Pour une certaine charge du moteur, les conditions sont celles de la figure. On peut supposer que les propriétés des gaz d'échappement soient les mêmes que celles de l'air. Si on suppose aussi que la turbine et le compresseur soient tous les deux adiabatiques et réversibles, calculez:

- (a) la température de sortie de la turbine et la puissance fournie.
- (b) la pression et la température à la sortie du compresseur.
- (c) Répondez aux questions (a) et (b), mais en supposant que la turbine ait un rendement de 85% et le compresseur, un rendement de 80%.



41 - L'installation de la figure ci-dessous est utilisée pour produire en régime permanent de la vapeur saturée et du liquide saturé à 400 kPa. On désire obtenir 1000 kg/h de vapeur saturée.

- 1) Trouver le débit d'eau chaude.
- 2) Le processus est-il conforme au deuxième principe de la thermodynamique?
- 3) La vapeur saturée pénètre dans une turbine à vapeur adiabatique. La pression de sortie est fixée à 10 kPa. Le travail mesuré sur l'arbre de la turbine est de 415 kJ/kg. Le constructeur prétend que le rendement isentropique de la turbine est de 85%. Que pensez vous de sa prétention?



42 - On désire produire de la réfrigération dans un local. Une installation combinant une machine thermique et un réfrigérateur est utilisée pour cette fin (voir figure).

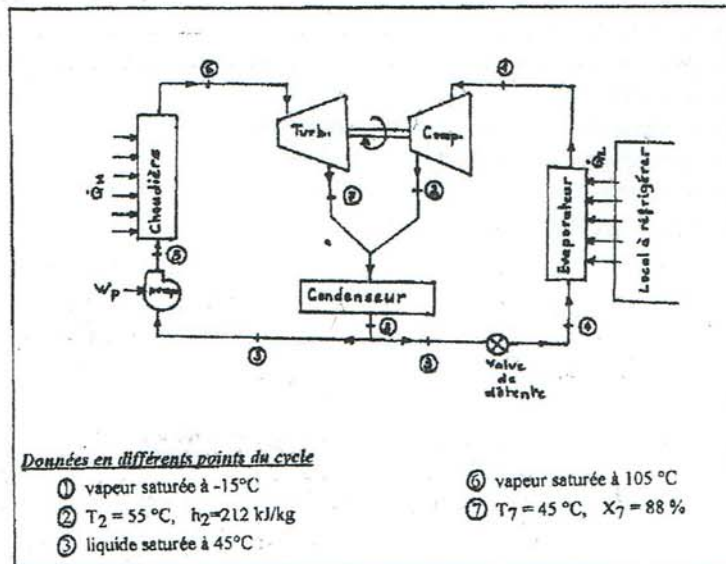
Les deux cycles utilisent du fréon12 comme fluide moteur. $\dot{M}$ et $\dot{m}$ sont respectivement les débits massiques du fréon 12 dans le cycle moteur et dans le cycle réfrigérateur. Tout le travail fourni par la turbine adiabatique est utilisé pour entraîner le compresseur adiabatique. Les deux écoulements, sortant

de la turbine et du compresseur se mélangent ensemble et entrent dans le condenseur. Le fluide sortant du condenseur est ensuite séparé en deux écoulements selon les proportions nécessaires. L'écoulement à travers la pompe est adiabatique avec un rendement isentropique de 0.85. Les données disponibles sont indiquées sur la figure. On demande de calculer:

1- Le rapport $\dot{m}/\dot{M}$.

2- Le taux de transfert de chaleur extrait du local à réfrigérer par unité de taux de chaleur fourni au niveau de la chaudière : $\dot{Q}_L/\dot{Q}_H$.

3- En justifiant votre réponse, dites si l'évolution à travers la turbine est possible ?



43 - L'installation motrice ci-dessous, utilise l'air (Gaz Parfait) comme fluide moteur. Une fraction du travail de la turbine adiabatique est utilisée pour entraîner le compresseur adiabatique; le reste est utilisé pour entraîner une génératrice. Pour tout le problème on prendra: $P_1 = P_4 = 100 \text{ KPa}$, $T_1 = 300 \text{ K}$, $P_2 = P_3$. Les rendements isentropiques du compresseur et de la turbine sont $C_p = 1.0035 \text{ KJ/(Kg K)}$, $C_v = 0.7167 \text{ KJ/(Kg K)}$

1- Si la pression de sortie du compresseur est $P_2 = 500 \text{ KPa}$, déterminer le rendement thermodynamique du cycle.

2- Représenter ce cycle sur un diagramme P-v et T-s (tracer les lignes isobares)

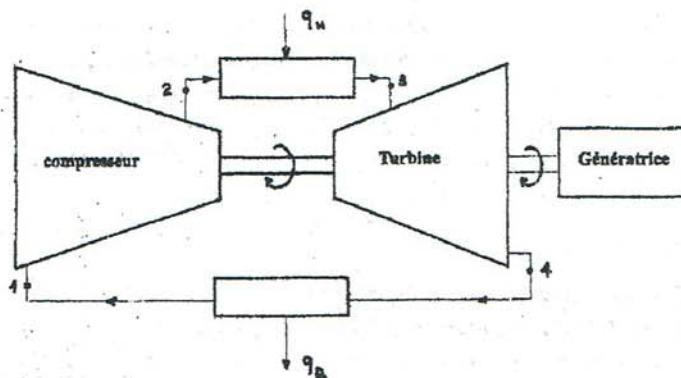
3- Si la pression de sortie du compresseur est $P_2 = 500 \text{ KPa}$, et la température maximale du cycle est de 1200 K , trouver:

a- La fraction du travail de la turbine utilisé par le compresseur ($W_{\text{comp}}/W_{\text{turb}}$).

b- La fraction du travail de la turbine utilisée par la génératrice.

c- Le travail net par Kilogramme d'air.

4- Si la température maximale est de 1200 K , déterminer la température à la sortie du compresseur pour laquelle le rendement est maximal. En déduire la pression correspondante. Cette température correspond-elle au travail net maximal par kilogramme d'air ? Justifier votre réponse.



- 44 On désire déterminer l'effet de la pression d'échappement de la turbine sur la performance d'un cycle de Rankine à vapeur d'eau. La vapeur entre dans la turbine à 3.5 MPa et 350°C. Calculez le rendement thermique du cycle et le titre de la vapeur à la sortie de la turbine pour des pressions d'échappement de 5 kPa, de 10 kPa, de 50 kPa et de 100 kPa. Tracez un graphique du rendement thermique en fonction de la pression d'échappement de la turbine pour les pressions et les températures d'entrée données.
- 45 On désire déterminer l'effet de la pression d'entrée de la turbine sur la performance d'un cycle de Rankine à vapeur d'eau. La vapeur entre dans la turbine à 350°C et en sort à 10 kPa. Calculez le rendement thermique du cycle et le titre de la vapeur à la sortie de la turbine pour des pressions d'entrée de 1 MPa, de 3.5 MPa, de 6 MPa, de 10 MPa et pour une vapeur saturée. Tracez un graphique du rendement thermique en fonction de la pression d'entrée de la turbine pour la température d'entrée donnée et pour la pression d'échappement donnée.
- 46 Soit un cycle à resurchauffe utilisant la vapeur d'eau comme fluide moteur. La vapeur entre dans la turbine à haute pression à 3.5 MPa et 350°C; elle se détend jusqu'à 0.8 MPa. Elle est ensuite resurchauffée jusqu'à 350°C, puis détendue jusqu'à 10 kPa dans la turbine à basse pression. Calculez le rendement thermique du cycle, la consommation spécifique et le titre de la vapeur à la sortie de la turbine à basse pression.
- 47 Soit un cycle à soutirage utilisant la vapeur d'eau comme fluide moteur. La vapeur entre dans la turbine à 3.5 MPa et 350°C; elle s'échappe vers le condenseur à 10 kPa. De la vapeur est extraite à 0.8 MPa et aussi à 0.2 MPa afin de réchauffer l'eau d'alimentation dans deux réchauffeurs à mélange. L'eau d'alimentation sort de chaque réchauffeur à la température de la vapeur qui s'y condense. Des pompes adéquates sont utilisées pour l'eau sortant du condenseur et des deux réchauffeurs. Calculez le rendement thermique du cycle ainsi que la consommation spécifique.
- 48 Soit un cycle combiné à resurchauffe et à soutirage utilisant la vapeur d'eau comme fluide moteur. La vapeur entre dans la turbine à haute pression à 3.5 MPa et 350°C; elle est extraite à 0.8 MPa pour alimenter le réchauffeur d'eau d'alimentation. Le reste de la vapeur est resurchauffé à cette pression jusqu'à 350°C et dirigé vers la turbine à basse pression. De la vapeur est extraite de la turbine à basse pression à 0.2 MPa pour alimenter un réchauffeur. La pression du condenseur est de 10 kPa et les deux réchauffeurs sont du type à mélange. Calculez le rendement thermique du cycle et le travail net par kilogramme de vapeur d'eau. *par kg de vapeur dans la turbine.*
- 49 On désire étudier l'influence du nombre de réchauffeurs d'eau d'alimentation sur le rendement thermique d'un cycle dans lequel la vapeur d'eau sort du générateur de vapeur à 17.5 MPa et 550°C; la pression du condenseur est de 10 kPa. Supposez que les réchauffeurs d'eau d'alimentation utilisés sont du type à mélange. Déterminez le rendement thermique de chacun des cycles suivants:
- sans réchauffeur d'eau d'alimentation.
 - un réchauffeur d'eau d'alimentation fonctionnant à 1 MPa.
 - deux réchauffeurs d'eau d'alimentation, l'un fonctionnant à 3 MPa et l'autre à 0.2 MPa.
- 50 Soit un cycle à vapeur d'eau idéal combinant le cycle à resurchauffe et le cycle à ^{soutirage} régénération. La puissance nette de sortie de la turbine est de 1 00 000 kW. La vapeur d'eau entre dans la turbine à haute pression à 8 MPa et 550°C. Après une détente à 0.6 MPa, une partie de la vapeur passe dans un réchauffeur à mélange et le reste est resurchauffé à 550°C, après quoi il est détendu jusqu'à 10 kPa.
- Tracez un schéma de l'appareil et représentez les états dans un diagramme T-s.
 - Quel est le débit massique de la vapeur dans la turbine à haute pression?
 - Quelle puissance de moteur est nécessaire pour entraîner chacune des pompes?
 - S'il y a une élévation de température de dix degrés dans l'eau de refroidissement, quel en est le débit dans le condenseur? $c_p = 4.18$
 - La vitesse de la vapeur s'écoulant de la turbine vers le condenseur est limitée à un maximum de 120 m/s. Quel est le diamètre du tuyau reliant les deux appareils?

- 51 Un mélange stoechiométrique de carburant et d'air a une enthalpie de combustion approximativement égale à $-2800 \text{ kJ/(kg de mélange)}$. Pour simuler un moteur réel à allumage par bougie utilisant un tel mélange, examinez un cycle d'Otto théorique auquel sont fournis 2800 kJ de chaleur par kilogramme d'air; celui-ci a un taux de compression de 8; au début de la compression, la pression est de 100 kPa et la température est de 15°C . Déterminez les quantités suivantes:
 les pressions et les températures maximales du cycle.
 le rendement thermique.
 la pression moyenne effective.
 Supposez que: $C_p = 1.0035 \text{ kJ/Kg K}$ $C_v = 0.7165 \text{ kJ/Kg K}$
- 52 On a découvert que la course motrice d'un moteur à combustion interne pouvait être représentée assez justement par une évolution polytropique dont la valeur de l'exposant n est légèrement inférieure au rapport k des chaleurs massiques. Refaites le problème 51 en supposant que la détente soit réversible et polytropique (plutôt qu'isentropique comme dans le cas du cycle d'Otto) et que la valeur de n soit égale à 1.25.
- 53 Dans un cycle d'Otto théorique, tout l'échange de chaleur q_H se produit à volume constant. Il serait plus vraisemblable de supposer qu'une partie de q_H se produise après que le piston ait commencé à descendre pour la détente. Par conséquent, examinez un cycle identique à celui d'Otto, sauf que la première moitié de q total se produit à volume constant et que la seconde moitié se produit à pression constante. Le q_H total est de 2400 kJ/kg . La pression et la température au début de la compression sont respectivement de 100 kPa et de 20°C ; le taux de compression est de 9 à 1.
 (a) Représentez ce cycle dans les systèmes de coordonnées $P-v$ et $T-s$.
 (b) Calculez la pression et la température maximales ainsi que le rendement thermique du cycle.
- 54 Un cycle de Diesel théorique a un taux de compression de 17. La pression au début de la compression est de 100 kPa et la température est de 15°C . La température maximale est de 2500 K . Déterminez le rendement thermique et la pression moyenne effective du cycle.
- 55 Considérez un cycle de puissance théorique constitué de trois évolutions; l'évolution 1-2 est une compression isotherme, l'évolution 2-3 est un chauffage à pression constante et l'évolution 3-1 est une détente isentropique. Si P_1 est égal à 100 kPa , T_1 à 20°C et P_2 à 600 kPa , déterminez:
 (a) le travail et la chaleur échangés pour chaque évolution ainsi que le rendement thermique du cycle.
 (b) Représentez le cycle dans les systèmes de coordonnées $T-s$ et $P-v$.
- 56 Examinez un cycle de puissance théorique formé de trois évolutions: l'évolution 1-2 est une compression isentropique, l'évolution 2-3 est un chauffage à pression constante et l'évolution 3-1 est un refroidissement à volume constant. Si $P_1 = 100 \text{ kPa}$, $T_1 = 330 \text{ K}$ et $P_2 = 800 \text{ kPa}$, déterminez:
 (a) le travail et la chaleur échangés pour chaque évolution ainsi que le rendement thermique du cycle.
 (b) Représentez le cycle dans les systèmes de coordonnées $T-s$ et $P-v$.
- 57 Le rapport de pression de part et d'autre du compresseur d'un cycle de Brayton théorique est de 4 à 1. La pression de l'air à l'entrée du compresseur est de 100 kPa et la

température est de 15°C . La température maximale du cycle est de 850°C . Le débit d'air est de 10 kg/s . Déterminez les quantités suivantes en supposant une chaleur massique constante:

le travail du compresseur, le travail de la turbine et le rendement thermique du cycle.

- 58 Un régénérateur idéal est incorporé dans le cycle de Brayton théorique du problème 57. Déterminez le rendement thermique du cycle ainsi modifié.
- 59 Une centrale thermique à turbine à gaz stationnaire fonctionne suivant le cycle de Brayton et fournit $20\,000\text{ kW}$ à une génératrice électrique. La température maximale est de 1200 K et la température minimale est de 290 K . La pression minimale est de 95 kPa et la pression maximale est de 380 kPa .
- Quelle est la puissance de la turbine?
 - Quelle fraction de la puissance de la turbine est utilisée pour entraîner le compresseur?
 - Quel est le débit massique d'air au compresseur? Quel est le débit volumique d'air au compresseur?
- 60 Refaites le problème 59 en supposant qu'un régénérateur, dont le rendement est de 75% , est ajouté au cycle et que le rendement du compresseur est de 80% alors que celui de la turbine est de 85% .
- 61 Soit une turbine à gaz avec deux étages de compression et deux étages de détente. Le rapport de pression pour chaque turbine et chaque compresseur est de 2. La température à l'entrée de chaque compresseur est de 15°C et la température à l'entrée de chaque turbine est de 900°C . Un régénérateur idéal est incorporé au cycle. Déterminez le travail du compresseur, le travail de la turbine et le rendement thermique. $P_1 = 100\text{ kPa}$.
- 62 Refaites le problème 61 en supposant que chaque compresseur ait un rendement de 80% , que chaque turbine ait un rendement de 85% et que le régénérateur ait un rendement de 60% .
- 63 Une turbine à gaz fonctionne suivant le cycle de Brayton. L'air entre dans le compresseur à 290 K et 100 kPa ; le rapport de pression de part et d'autre du compresseur est de 5 à 1 et la température maximale de l'air est de 1200 K .
- Si le moteur est utilisé dans une centrale électrique, combien de travail (par kilogramme d'air) est disponible pour entraîner la génératrice? Quel est le rendement thermique du moteur?
 - Si le moteur est utilisé dans un avion à réaction, à quelle pression l'air sort-il de la turbine? Si l'air sortant de la turbine est détendu jusqu'à 100 kPa dans une tuyère adiabatique, à quelle vitesse l'air sort-il de la tuyère?
- 64 Dans un cycle de réfrigération idéal, la température de la vapeur qui se condense est de 45°C alors que la température, pendant son évaporation, est de -15°C . Déterminez le

coefficient de performance de ce cycle pour les fluides moteurs suivants: le fréon 12 et l'ammoniac.

- 65 Dans un cycle de réfrigération conventionnel utilisant le fréon 12 comme réfrigérant, la température du fluide qui s'évapore est de -20°C . Il sort de l'évaporateur à l'état de vapeur saturée à -20°C et entre dans le compresseur. La pression dans le condenseur est de 1.2 MPa. Le liquide en sort et entre dans la soupape de détente à une température de 40°C .

On se propose de modifier le cycle comme le représente la figure ci-dessous. Dans ce cas, on ajoute un échangeur de chaleur additionnel où la vapeur froide sortant de l'évaporateur refroidit le liquide qui entre dans la soupape de détente. Comparez le coefficient de performance de ces deux cycles.

- 66 Examinez un cycle de réfrigération idéal à deux boucles et à source chaude (voir la figure ci-dessous). Il utilise du fréon 12. La vapeur saturée à 105°C sort de la chaudière et se détend dans la turbine jusqu'à la pression du condenseur. La vapeur saturée à -15°C sort de l'évaporateur et est comprimée jusqu'à la pression du condenseur. Le rapport des débits dans les deux boucles est tel que la turbine produit juste assez de puissance pour entraîner le compresseur. Les deux écoulements sortant se mélangent ensemble et entrent dans le condenseur. Le liquide saturé à 45°C sortant du condenseur est ensuite séparé en deux écoulements selon les proportions nécessaires. Calculez:
- le rapport entre le débit massique dans la boucle de puissance et celui de la boucle de réfrigération.
 - la performance du cycle en termes du rapport

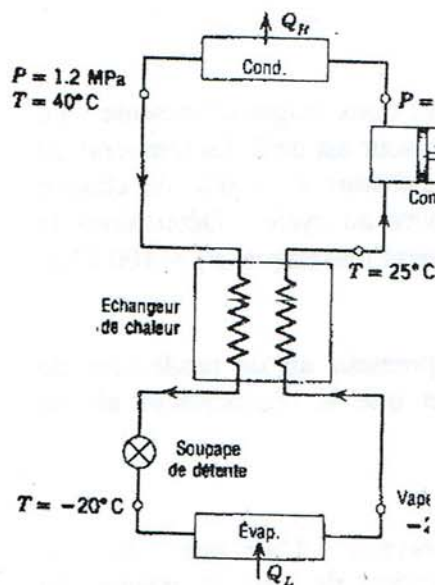


Schéma du problème 65

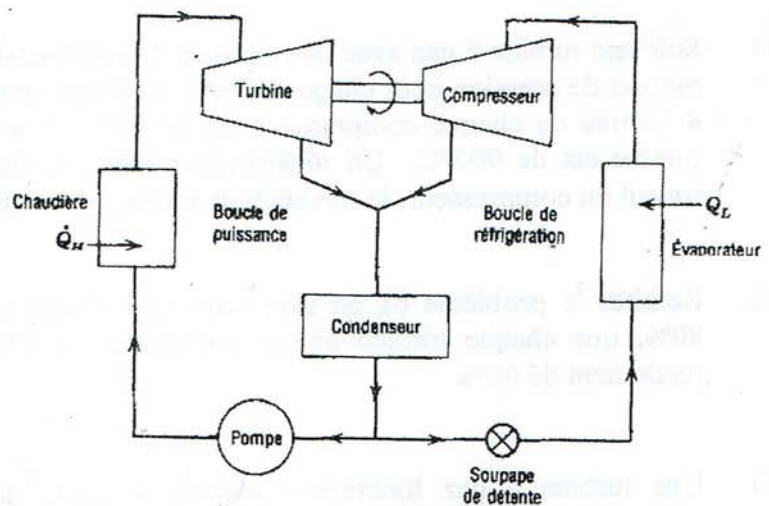


Schéma du problème 66