

DEVOIR SURVEILLE n° 3

Si au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, d'une part il le signale au chef de salle, d'autre part il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

AVERTISSEMENT

La **présentation**, la lisibilité, l'orthographe, la qualité de la **rédaction**, la **clarté** et la **précision** des raisonnements entreront pour une **part importante** dans l'**appréciation des copies**. En particulier, les résultats non justifiés ne seront pas pris en compte. Les candidats sont invités à encadrer les résultats de leurs calculs.

L'usage de calculatrice est autorisé pour l'ensemble de ce devoir.

Il est interdit d'arrêter de composer avant 17h00.

Vous devez traiter les 2 problèmes sur 2 copies différentes.

Si vous choisissez de ne pas traiter l'un des problèmes, vous devez tout de même me rendre une copie « blanche ».

	Barème	Ramassé à
Premier problème	50 %	15h00
Deuxième problème	50 %	17h00

Le 1^{er} problème est à traiter de 13h00 à 15h00 (ramassé à 15h00).

Le 2^{ème} problème est à traiter de 15h00 à 17h00.

Interdiction de commencer le 2^{ème} problème avant 15h00.

PREMIER PROBLEME : Etude d'une climatisation (d'après banque PT 2006)

L'usage de calculatrice est autorisé pour ce problème.

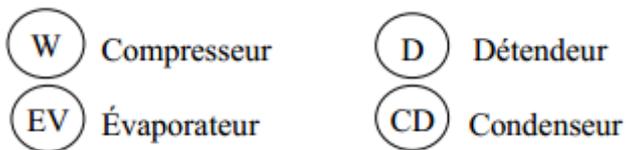
Chaque candidat reçoit, avec ce sujet, une feuille annexe (figure 3 : diagramme enthalpique du fluide R134A) à compléter et à rendre **avec la copie**.

Hormis les tableaux 1 et 2, les tableaux et figures sont regroupés en fin de cet énoncé.

Les conditions météorologiques exceptionnelles de l'été 2003 ont considérablement accru le développement du marché de la climatisation. La climatisation améliore la qualité de l'ambiance des locaux d'habitation ou collectifs, des bureaux, des laboratoires ou usines. Elle permet donc d'optimiser les conditions de travail ou de vie toute l'année. Climatiser c'est « mettre à bonne température », que ce soit en refroidissant ou en chauffant : d'un point de vue technique il ne faut pas dissocier « chauffage et climatisation » même si l'on n'étudie, dans ce problème, que la fonction refroidissement.

A - FONCTIONNEMENT D'UNE CLIMATISATION (20 % du barème de ce problème)

Un climatiseur se compose de quatre éléments principaux (voir figure 1) :



Dans toute l'étude, on suppose l'écoulement du fluide permanent, et on néglige toute variation d'énergie cinétique massique et d'énergie potentielle massique.

Le compresseur W aspire le fluide sous une basse pression, le comprime à l'aide d'un piston entraîné par un moteur et le refoule sous une haute pression. Pour simplifier, on considère que la compression est adiabatique et réversible. Dans toute la suite, on nomme « état 1 » l'état du fluide à l'entrée du compresseur.

Le détendeur D, calorifugé et sans pièces mécaniques mobiles, est muni d'un pointeau qui permet de réguler le débit du fluide. La chute de pression est due aux variations de section dans cet élément.

L'évaporateur et le condenseur sont des échangeurs thermiques isobares, dépourvus de pièces mécaniques mobiles qui ressemblent à des radiateurs, offrant ainsi une grande surface de contact thermique avec l'air du local à climatiser (pour l'un) et l'air extérieur (pour l'autre).

On suppose que les pressions sont uniformes dans chacune des deux parties du circuit (la partie haute pression et la partie basse pression), c'est-à-dire que l'on néglige les pertes de charge, sauf dans le détendeur (voir plus haut).

A-1 Indiquer, en le justifiant, le sens effectif des transferts thermiques dans le condenseur et dans l'évaporateur.

A-2 Recopier sommairement, sur la copie, la figure 1 et y indiquer le sens des transferts thermiques, le circuit haute pression et le circuit basse pression, et montrer sans calcul que, pour un climatiseur « producteur de froid », le local à climatiser est en contact thermique avec l'évaporateur.

Le développement de la climatisation se fait dans un contexte politique de maîtrise de l'énergie. De ce fait, la promotion de nouvelles technologies de climatisation à faible consommation d'énergie est indispensable ; on doit remarquer que plus les gaz à effet de serre réchauffent l'atmosphère, plus les besoins en climatisation sont importants et plus de CO₂ et de chaleur sont rejetés (directement ou indirectement), du fait de cette même climatisation : il faut donc être exigeant sur l'efficacité des climatiseurs.

A-3 Faire figurer, sur un schéma de principe, tous les transferts énergétiques et rappeler le principe d'une installation frigorifique ; rappeler la définition de son efficacité ε et expliquer pourquoi son augmentation va dans le sens des économies d'énergie.

Pour choisir le « bon » climatiseur, il convient d'abord de déterminer la puissance frigorifique du climatiseur.

B - BILAN THERMIQUE DE L'INSTALLATION A CLIMATISER (20 % du barème de ce problème)

Les installateurs de climatisations utilisent des logiciels, qui permettent d'évaluer le bilan thermique des pièces d'un appartement, pour le choix d'un appareil en fonction de nombreux paramètres :

- composition des murs, sols et plafonds, dimensions ;
- température des pièces voisines, variables ou non, orientation de l'habitation ;
- types de fenêtres, types de protections extérieures ou intérieures ;
- éléments en présence pouvant fournir de l'énergie, choix de lieux géographiques en France, types d'apports d'air extérieur, etc.

Ces logiciels calculent les flux thermiques entrants ou sortants, les énergies thermiques dégagées par les appareils électriques (four, ordinateur, etc) et en déduisent la puissance thermique à évacuer (ou à fournir) pour maintenir la température désirée.

Dans les questions qui suivent on détaille quelques étapes qui permettent, connaissant la composition, les dimensions et les conditions thermiques extérieures et intérieures, de déterminer la puissance thermique entrante par conduction et convection dans une des pièces de l'installation.

Description de l'installation à climatiser :

- mur extérieur périphérique de longueur totale 15 m et hauteur 3,50 m en brique creuse (largeur 12 cm) recouvert sur ses deux faces (intérieure et extérieure) de ciment sur une épaisseur de 2 cm ;
- on a, en outre, 3 fenêtres à double vitrage.

La température extérieure vaut $T_e = 33 \text{ }^\circ\text{C}$; la température intérieure vaut $T_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

La puissance thermique transmise par une paroi solide de surface S , de température T_p à un fluide de température T_f est donnée par la formule de Newton : $P = K S (T_p - T_f)$, où K est un coefficient qui dépend de la nature de la paroi, du fluide et de sa circulation.

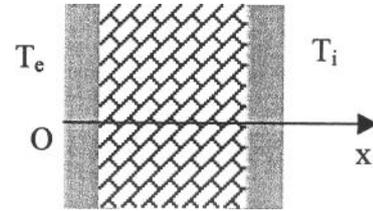
Les données numériques nécessaires sont regroupées dans les tableaux 1 et 2 ci-dessous.

Matière	Ciment	Briques creuses
Conductivité thermique $\lambda \text{ (W.m}^{-1}\text{.K}^{-1}\text{)}$	$\lambda_c = 0,02$	$\lambda_b = 0,5$
Épaisseurs	$e_c = 2 \text{ cm}$	$e_b = 12 \text{ cm}$

Interface	Air extérieur-mur	Mur-air intérieur
$K \text{ (W.m}^{-2}\text{.K}^{-1}\text{)}$	$K_{ac} = 16,7$	$K_{ai} = 9,1$

On note Ox un axe perpendiculaire au mur, **orienté de l'extérieur vers l'intérieur.**

On suppose le régime stationnaire.



B-4 Enoncer la loi de Fourier dans le cas d'un transfert unidirectionnel selon Ox dans un matériau de conductivité thermique λ . On note \vec{J}_{th} le vecteur densité de flux thermique.

B-5 Montrer qu'en régime stationnaire $J_{th}(x)$ est, en fait, uniforme dans tout le mur (que l'on soit dans la brique creuse ou dans le ciment).

En notant T_{pe} et T_{pi} les températures des parois externe et interne du mur, T' et T'' les températures des interfaces ciment-brique et brique-ciment, en déduire les trois relations entre :

- $J_{th}, \lambda_c, e_c, T_{pe}$ et T' ;
- $J_{th}, \lambda_b, e_b, T'$ et T'' ;
- $J_{th}, \lambda_c, e_c, T''$ et T_{pi} .

En déduire la relation entre l'écart $(T_{pe} - T_{pi})$, J_{th} , les conductivités thermiques et les épaisseurs.

Quelles sont, toujours en régime stationnaire, les deux relations entre le flux thermique J_{th} dans le mur, les températures T_e, T_{pe}, T_{pi}, T_i , et les constantes K_{ae} et K_{ai} ?

B-6 Déduire des résultats de la question B-5 l'expression de J_{th} , puis celle de la puissance P_1 transmise à travers le mur par l'air externe à la pièce, en fonction de l'écart $(T_e - T_i)$, des conductivités thermiques, des épaisseurs, de K_{ae}, K_{ai} , et de la surface S du mur.

B-7 En déduire, pour cette pièce, la puissance frigorifique P_f du climatiseur à installer si les « fuites thermiques » étaient uniquement dues au mur.

Faire l'application numérique.

En pratique, il faut également tenir compte des échanges à travers les fenêtres ; en outre, si l'orientation de l'installation fait qu'elle est très ensoleillée, on rajoute 10 % au résultat du calcul. On tient également compte de la puissance dégagée par les personnes présentes dans l'installation, et des appareils électriques en fonctionnement.

Globalement, le bilan thermique complet de cette installation détermine une puissance frigorifique P_f nécessaire de 3 kW.

C'est cette valeur de P_f que l'on prendra en compte dans la suite du problème.

C - ETUDE DU CYCLE DU FLUIDE FRIGORIGENE (30 % du barème de ce problème)

Le schéma de la Figure 2 représente l'allure du cycle décrit par le fluide frigorigène dans le diagramme enthalpique dit « des frigoristes » (enthalpie massique h en abscisse, **pression P en ordonnée, avec échelle logarithmique**), sans surchauffe après l'évaporation, ni sous-refroidissement après la condensation (*erreur d'énoncé : comprendre « liquéfaction »...*).

Aucune connaissance préalable de ce diagramme n'est requise.

C-8 Reproduire sommairement la figure 2 sur la copie et y reporter le sens de parcours du cycle.

C-9 Redémontrer le premier principe des systèmes ouverts en régime stationnaire dans le cas où l'on ne tient pas compte des variations d'énergies cinétiques et potentielles.

C-10 Préciser et justifier la nature des transformations du fluide (isobare, isotherme, isenthalpique ou isentropique) au cours du cycle.

C-11 Evaluer littéralement, en justifiant soigneusement les expressions obtenues, les transferts énergétiques massiques w_{ij} et q_{ij} en fonction des enthalpies massiques des points remarquables du cycle.

C-12 Donner l'expression de l'efficacité ε de l'installation en fonction des enthalpies massiques adéquates.

Le schéma de la Figure 3 (annexe à rendre avec la copie, après l'avoir complétée) représente le diagramme « des frigoristes » enthalpique du fluide R134A ; celui de la Figure 4 représente celui du fluide R22, qui n'est pas à rendre avec la copie. Sur cette dernière **Figure 4**, on a facilité le **repérage de quelques isentropiques et de quelques isothermes**. On rappelle que l'échelle des pressions de ces diagrammes est logarithmique.

C-13 Justifier, dans ce diagramme, l'allure des isentropiques à l'extérieur de la courbe de saturation pour la vapeur, assimilée seulement dans cette question, à un gaz parfait ; dans ces mêmes conditions, quelle devrait être l'allure des isothermes ? Commenter.

Quelle est la forme des isothermes à l'intérieur de la courbe de saturation ?

Montrer que, pour le liquide, les isothermes sont des verticales, dans ce diagramme.

Dans la suite, la basse pression est fixée à 2 bars et la haute pression à 10 bars.

C-14 Reproduire sur la copie le tableau 3 et le compléter pour le fluide R134A en s'aidant du diagramme enthalpique correspondant (figurant sur l'annexe). Calculer l'efficacité ε du cycle du climatiseur « réfrigérant », dans ce cas.

C-15 Redémontrer l'expression de l'efficacité ε_c du cycle de Carnot d'un climatiseur (on notera T_c la température de la source chaude et T_F la température de la source froide). Calculer numériquement l'efficacité du cycle de Carnot d'un climatiseur fonctionnant entre les deux sources proposées.

C-16 De même qu'au C-14, et en s'aidant cette fois du diagramme de la figure 4, calculer numériquement l'efficacité d'un climatiseur fonctionnant avec du fluide R22, selon le même type de cycle, avec une haute pression de 10 bars et une basse pression de 2 bars.

Afin de respecter les engagements de Kyoto, l'Europe doit réduire ses émissions de CO_2 . Les fluides sont caractérisés par leur indice ODP (potentiel de destruction de l'ozone) et leur indice GWP (contribution à l'effet de serre).

Fluide	R22	R134A
ODP	0,04	0
GWP	0,32	0,24

Dans la suite du problème on ne considère plus que le fluide R134A. Sur le diagramme de la figure 3, sont représentées, outre des isothermes et des isentropiques, des courbes isotitres, en gris très clair (afin d'éviter une confusion avec les isentropiques).

D - COMMENT AMELIORER L'EFFICACITÉ DU CYCLE (20 % du barème de ce problème)

On s'intéresse aux transformations au niveau de chaque élément du climatiseur.

On s'aidera pour répondre à ces questions de la Figure 3 de l'annexe, et on reportera au fur et à mesure les différents points représentatifs (1', 2', 3', 4') du cycle optimisé sur cette Figure 3. **L'annexe, ainsi complétée, sera ensuite rendue avec la copie en fin d'épreuve.**

Le compresseur aspire et refoule une même masse de fluide, imposant ainsi la conservation du débit massique du fluide.

I - L'EVAPORATEUR

A la sortie de l'évaporateur les vapeurs sont surchauffées de façon isobare à la température $T_{1'}$, avant d'être aspirées par le compresseur. On définit la « surchauffe à l'aspiration » par la valeur de la différence ($T_{1'} - T_1$). En fait il y a deux contributions à cette surchauffe, que l'on peut modéliser ainsi :

- une première surchauffe de 5 °C due à l'air de l'installation à rafraîchir
- une deuxième surchauffe, qui peut être due à l'air chaud extérieur à l'installation où se trouve le compresseur

D-17 En quoi la première surchauffe est-elle souhaitable ?

On cherche à minimiser le plus possible la seconde surchauffe : on isole donc la tuyauterie d'aspiration.

Dans la suite du problème, on ne considère donc plus que la surchauffe de 5 °C en sortie immédiate de l'évaporateur.

D-18 Reporter alors le point qui représente l'état correspondant, numéroté 1', du fluide sur la Figure 3 à l'entrée du compresseur et en déduire la position du point 2' représentatif de l'état du fluide à la sortie du compresseur. Donner les valeurs numériques $h_{1'}$, $h_{2'}$ et $T_{2'}$ correspondantes.

II - LE CONDENSEUR

A la sortie du compresseur le fluide circule dans le tuyau de refoulement qui mène au condenseur. Ce tuyau n'est pas calorifugé à dessein et le fluide se refroidit : soit une « désurchauffe » de 6 °C.

D-19 Pourquoi parle-t-on de désurchauffe ? Comment s'opère cette désurchauffe ? Quel peut être son intérêt ?

D-20 Quelle est la température à l'entrée du condenseur (après la désurchauffe de 6 °C) ? Sous quel état se trouve le fluide ? Reporter le point 2'' correspondant sur la Figure 3 et donner la valeur numérique de la température correspondante $T_{2''}$.

A la sortie du condenseur le fluide est sous-refroidi jusqu'à la température $T_{3'}$.

D-21 Quel est l'intérêt de ce sous-refroidissement ? Quelle valeur faut-il lui donner pour améliorer encore la puissance frigorifique de 5 %, par rapport à la situation étudiée à la question D-18, à valeur donnée du débit massique ?

En déduire $h_{3'}$, reporter le point qui représente l'état correspondant, numéroté 3', sur la Figure 3. En déduire $T_{3'}$.

Joindre l'annexe à la copie.

Dans la suite du problème on considèrera que $T_{3'} = 35$ °C.

III - LE DÉTENDEUR

Le rôle du détendeur est double :

- faire baisser la pression en perturbant l'écoulement du fluide
- réguler le débit du fluide (à l'aide d'un pointeau)

D-22 Indiquer, sans calcul mais en justifiant néanmoins la réponse, s'il faut augmenter ou diminuer le débit pour s'assurer que tout le liquide se vaporise bien dans l'évaporateur (ce qui évite que du liquide soit aspiré dans le compresseur et l'endommagement) et obtenir une surchauffe en sortie d'évaporateur ?

D-23 Quelle doit être la valeur du débit massique D_{mf} du R134A pour avoir la puissance frigorifique voulue 3 kW ?

On règle le détendeur pour que $D_{mf} = 0,020$ kg/s

IV - LE COMPRESSEUR

D-24 A quelle pression sont aspirés les gaz ? A quelle pression sont-ils refoulés ?

D-25 Quelle est la puissance P_{COMP} consommée par le compresseur ?

D-26 Calculer l'efficacité ε' du système optimisé.

Le compresseur utilisé est un compresseur à piston :

- à chaque course aller du piston le compresseur aspire une certaine masse de gaz ;
- à chaque course retour du piston le compresseur refoule cette même masse de gaz.

La cylindrée du compresseur est égale au volume balayé par le piston que multiplie le nombre de cylindres ; elle s'exprime usuellement en cm^3 . On suppose qu'à l'entrée du compresseur, le volume massique du fluide aspiré vaut $v = 0,12$ $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$.

D-27 Si le compresseur a une cylindrée $C = 200$ cm^3 , quelle est, en tours par minute, sa vitesse de rotation N ?

E - REFROIDISSEMENT DE L'AIR (10 % du barème de ce problème)

Pour assurer une température moyenne de 20 °C, l'air chaud intérieur à la température 23 °C est envoyé, à l'aide d'un ventilateur, sur l'évaporateur et ressort refroidi à 17°C.

E-28 A quelle température maximale doit s'effectuer le changement d'état dans l'évaporateur pour qu'un refroidissement soit possible ?

Cette condition est-elle remplie dans le cas étudié ?

E-29 Quelle doit être alors la valeur du débit volumique D_a , en m^3/h , de l'air au niveau de l'évaporateur ? On assimilera l'air à un gaz parfait diatomique ($\gamma = 7/5$) de masse volumique $\rho_a = 1,3$ kg/m^3 et de masse molaire $M = 29$ $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

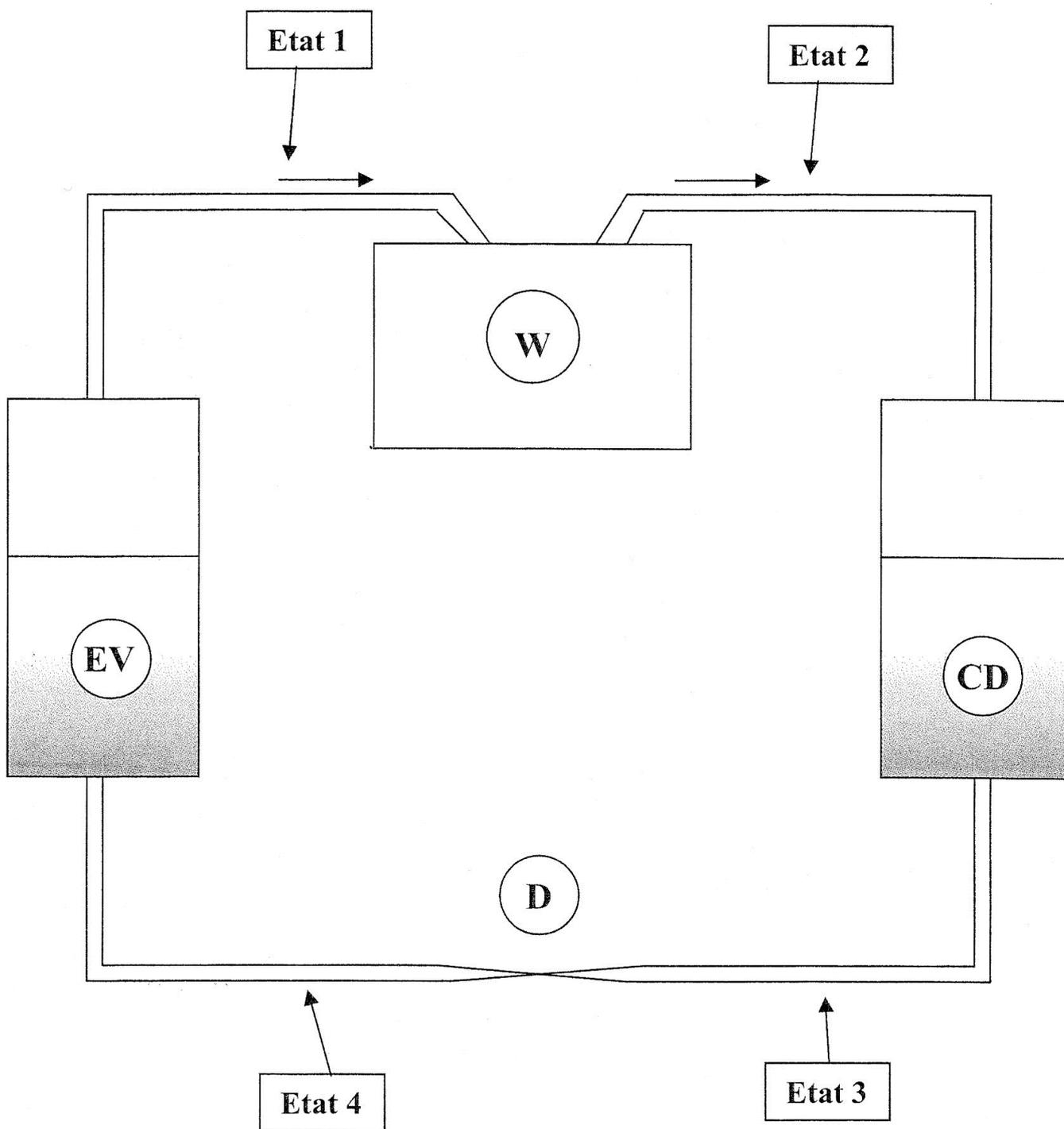


Figure 1 schéma de principe du climatiseur

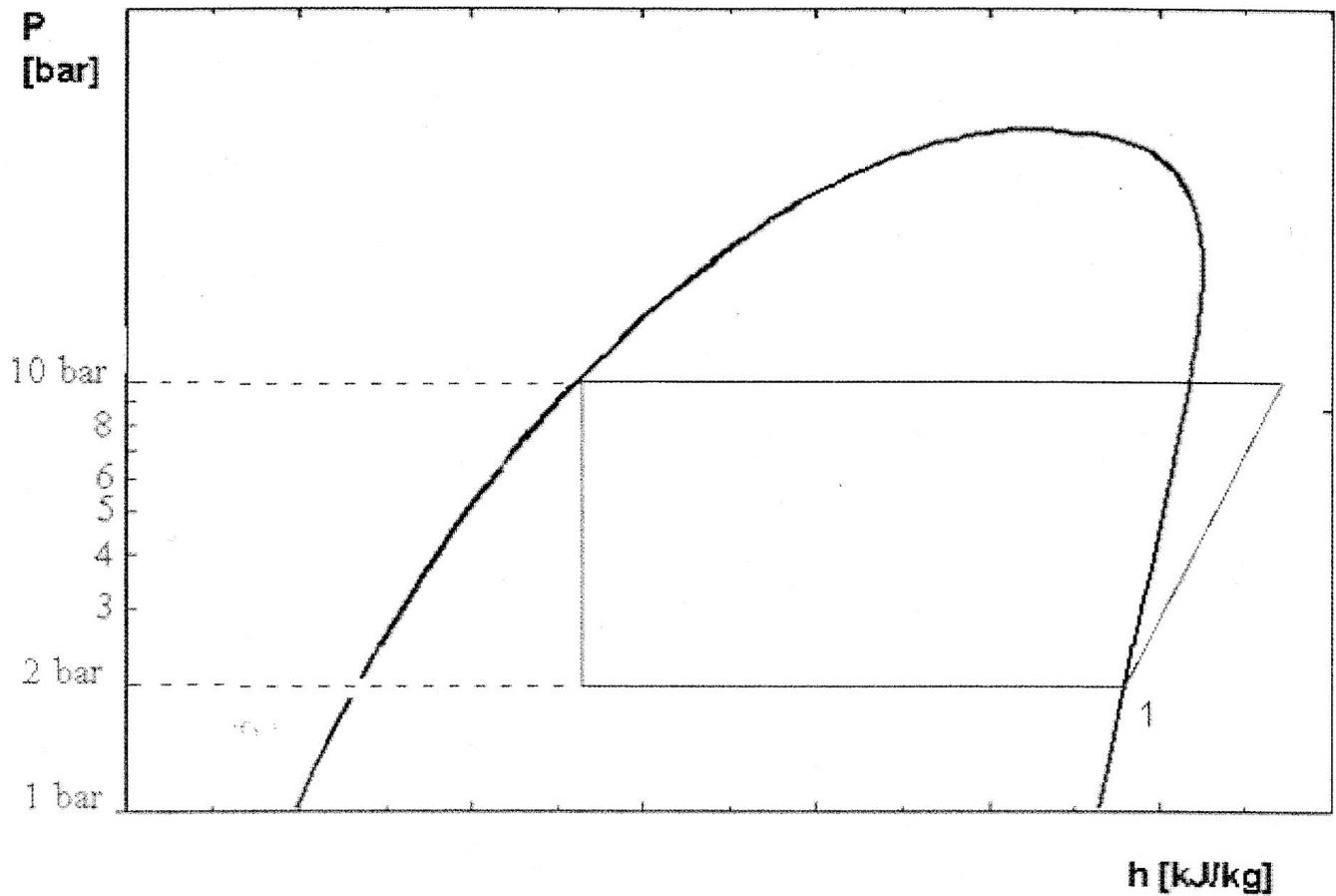


Figure 2 : allure du cycle du fluide frigorigène

ÉTAT du fluide	1	2	3	4
Pression (bar)				
Température (°C)				
Enthalpie massique (kJ.kg ⁻¹)				
Titre en vapeur				

Tableau 3 : à reproduire sur la copie et à compléter

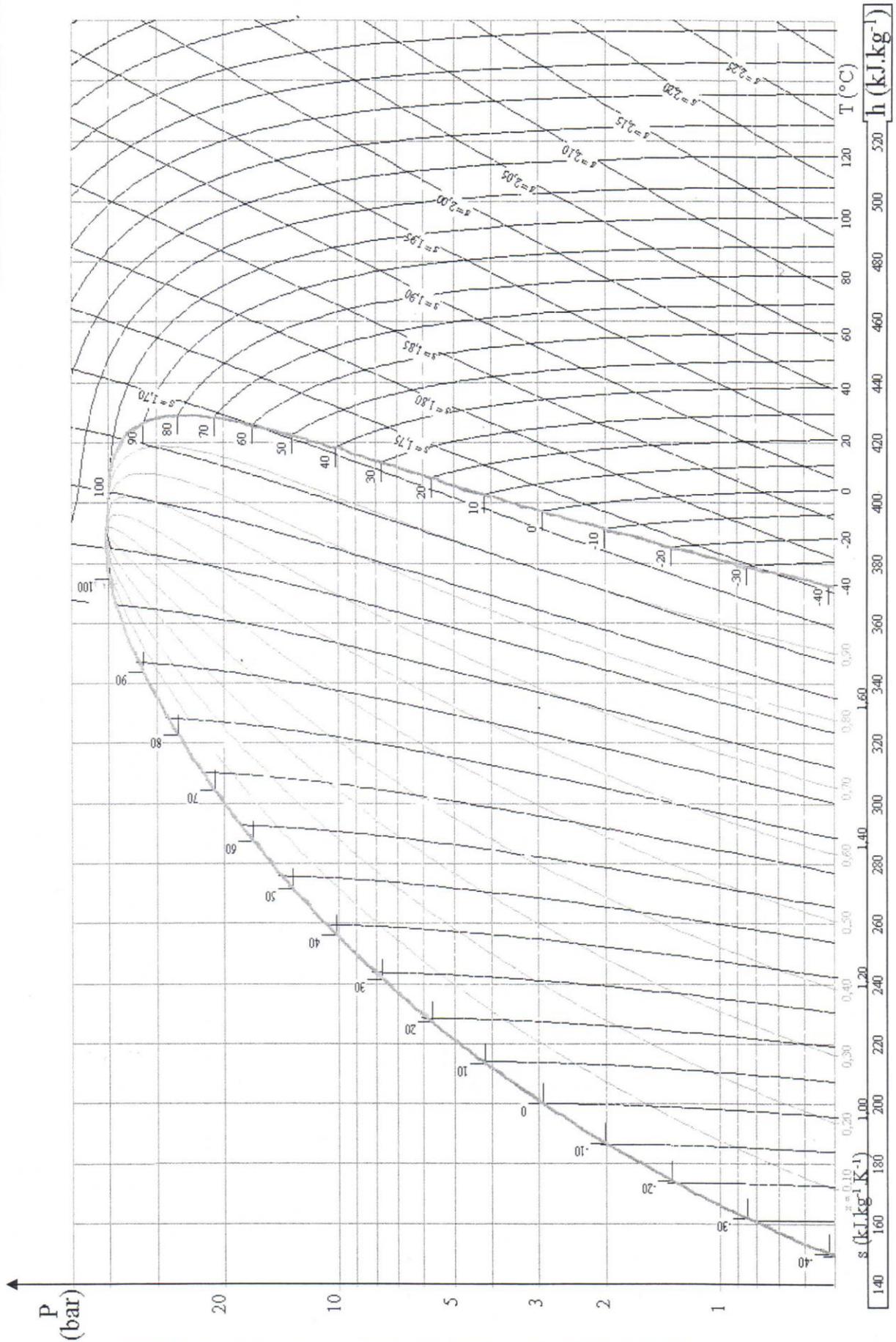


FIGURE 3 : DIAGRAMME ENTHALPIQUE DU FLUIDE R134A

A rendre avec la copie

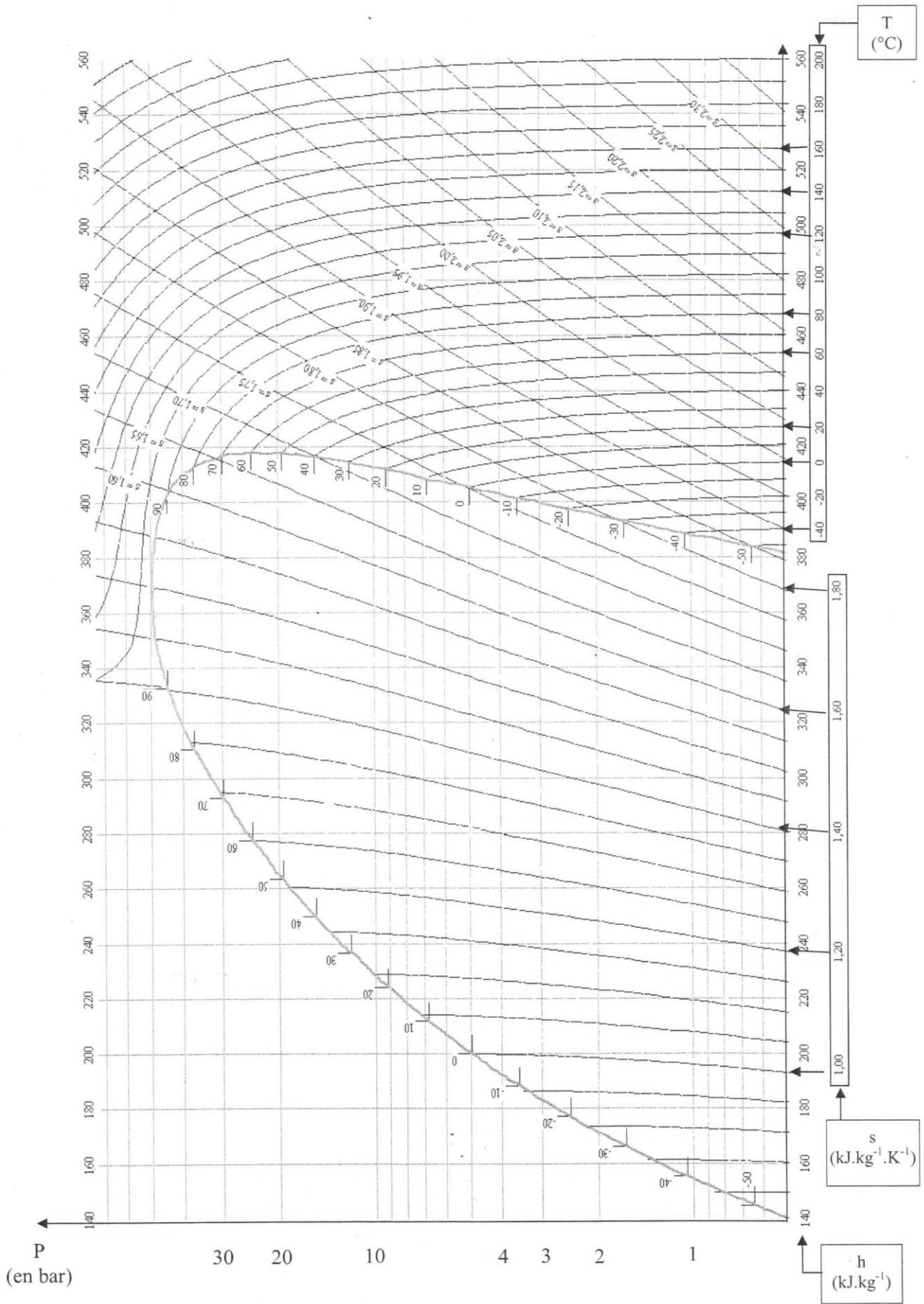


Figure 4 : diagramme enthalpique du fluide R22

DEUXIEME PROBLEME : Etude simplifiée des turboréacteurs (d'après banque PT 2005)

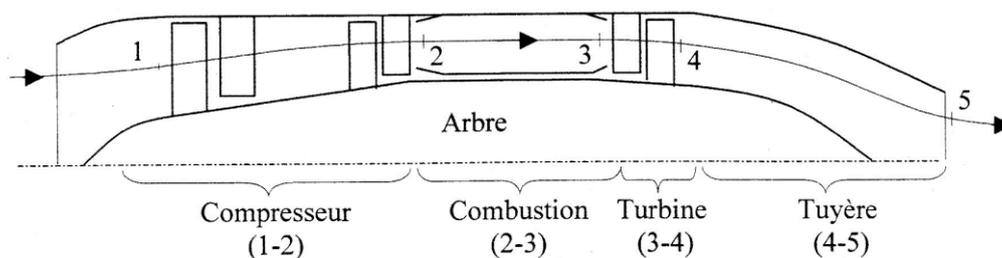
L'usage de calculatrice est autorisé pour ce problème.

On se propose d'étudier le fonctionnement de turboréacteurs en régime permanent. La fonction énergétique d'un turboréacteur est de transformer l'énergie thermique fournie à l'air lors d'une (ou des) combustion(s) en énergie cinétique. Les paramètres permettant de caractériser le fonctionnement d'un turboréacteur sont le rendement thermique (voir définition ultérieure) et la vitesse d'éjection de l'air.

Hypothèses générales :

- L'air est assimilé à un gaz parfait défini par sa capacité thermique massique à pression constante, notée c_p , et par son exposant isentropique γ . On donne $c_p = 1,00 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et $\gamma = 7/5 = 1,40$.
- On suppose que la (ou les) combustion(s) n'altère(nt) pas les caractéristiques de l'air (c_p et γ).
- L'énergie potentielle sera négligée dans tout ce problème.
- L'énergie cinétique sera négligée, sauf évidemment à la sortie de la (ou des) tuyère(s).
- Dans tout le problème, on suppose que le débit massique d'air aspiré (et donc refoulé) par le turboréacteur vaut $\mathbf{D_M = 1,00 \text{ kg.s}^{-1}}$.
- Le compresseur (ou la soufflante) aspire l'air ambiant défini par sa pression P_1 et sa température T_1 . **Dans tout le problème, $P_1 = 1,00 \text{ bar}$ et $T_1 = 288 \text{ K}$.**
- Les évolutions à l'intérieur des turbomachines (compresseurs et turbines) et des tuyères sont supposées adiabatiques, réversibles.
- Il n'y a pas de pièces mécaniques mobiles en dehors des turbomachines (compresseurs et turbines).
- On négligera les pertes de charge de l'air à l'intérieur des chambres de combustion : les évolutions y sont isobares.
- On négligera les pertes mécaniques au niveau des turbomachines.
- Dans les deux premières parties, on définit le rendement thermique du turboréacteur (noté η_{th}) comme étant le rapport entre l'énergie cinétique massique reçue par l'air, notée e_c , et la (ou la somme des) quantité(s) de chaleur massique(s) fournie(s) par la (ou les) chambre(s) de combustion, notée $q_{combustion}$.

Première partie : étude d'un turboréacteur mono flux, mono corps (25 % du barème de ce problème)



Le compresseur (ici axial) aspire l'air ambiant. Après compression, l'air est chauffé dans la chambre de combustion jusqu'à la température de 1250 K ($T_3 = 1250 \text{ K}$). Après détente partielle dans la turbine (ici axiale), l'air est envoyé dans la tuyère où la détente s'effectue jusqu'à la pression ambiante ($P_5 = 1,00 \text{ bar}$).

Le compresseur est uniquement entraîné par la turbine, qui lui transmet intégralement la puissance mécanique que lui fournit l'écoulement.

On rappelle que $P_2 = P_3$. On donne le taux de compression du compresseur : $P_2 / P_1 = 6,15$.

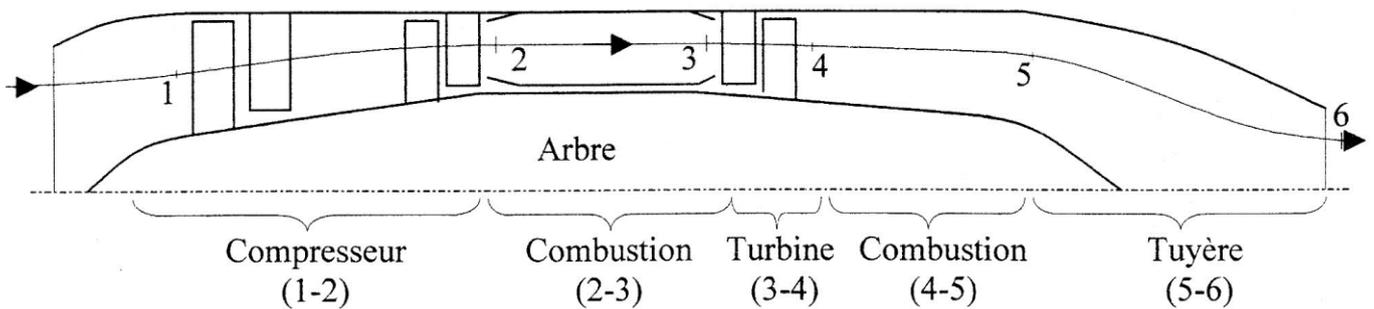
Question 1 : Donner les expressions littérales, puis les valeurs numériques :

- 1a. de la température T_2 (sortie du compresseur) et du travail indiqué massique de compression, noté w_{ic} ;
- 1b. de la température T_4 et de la pression P_4 à la sortie de la turbine ;
- 1c. de la température T_5 et de la vitesse c_5 à la sortie de la tuyère.

Question 2 :

- 2a. Donner l'expression littérale, puis la valeur numérique de la quantité de chaleur massique fournie à l'air lors de la combustion, notée $q_{2-3} = q_{\text{combustion}}$.
- 2b. Donner l'expression littérale, puis la valeur numérique de l'énergie cinétique massique de l'air à la sortie de la tuyère, notée e_c .
- 2c. En déduire la valeur du rendement thermique η_{th} de ce turboréacteur.

Seconde partie : étude d'un turboréacteur mono corps, mono flux à post combustion (15 % du barème de ce problème)



La configuration est identique à la précédente mais on insère une seconde chambre de combustion entre la turbine et la tuyère. Lors de cette seconde combustion, l'air est à nouveau chauffé jusqu'à la température de 1930 K ($T_5 = 1930$ K). La détente s'effectue ensuite dans la tuyère jusqu'à la pression ambiante ($P_6 = 1,00$ bar).

Comme précédemment la turbine entraîne le compresseur, le taux de compression est identique ($P_2 / P_1 = 6,15$) et la température de fin de première combustion aussi ($T_3 = 1250$ K).

On rappelle que $P_2 = P_3$ et que $P_4 = P_5$.

Question 3 : calculer les valeurs numériques de T_2 , T_4 et P_4 .

Question 4 : donner les expressions littérales, puis les valeurs numériques de la température T_6 à la sortie de la tuyère et de la vitesse c_6 à la sortie de cette tuyère.

Question 5 :

- 5a. Donner l'expression littérale, puis la valeur numérique de la quantité de chaleur massique fournie à l'air lors de la seconde combustion, notée q_{4-5} . En déduire la valeur numérique de la quantité de chaleur massique fournie globalement à l'air, notée $q_{\text{combustion}} = q_{2-3} + q_{4-5}$.
- 5b. Donner l'expression littérale, puis la valeur numérique de l'énergie cinétique massique de l'air à la sortie de la tuyère, notée e_c .
- 5c. En déduire la valeur du rendement thermique η_{th} de ce turboréacteur.
- 5d. Comparer les paramètres des deux turboréacteurs étudiés et conclure.

Troisième partie : étude d'un turboréacteur double corps, double flux, à tuyère unique (35 % du barème de ce problème)

Le compresseur basse pression (noté BP) aspire l'air ambiant. Puis ce flux se scinde en deux parties :

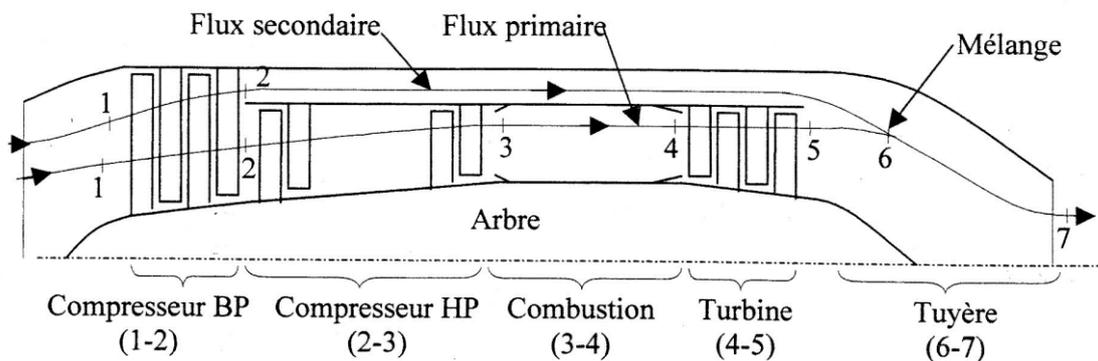
- *le flux primaire* (défini par un débit massique noté D_{M1}) qui passe dans le compresseur haute pression (noté HP) puis dans la chambre de combustion où l'air est chauffé jusqu'à la température de 1300 K ($T_4 = 1300$ K).
- *le flux secondaire* (défini par un débit massique noté D_{M2}) qui passe à la périphérie du turboréacteur sans pertes de charge, ni pertes thermiques.

Ces deux flux se mélangent à pression constante à l'entrée de la tuyère entre les points 5 et 6 (donc $P_2 = P_5 = P_6$), de façon irréversible puisque T_5 diffère de T_2 . La détente s'effectue ensuite dans la tuyère jusqu'à la pression ambiante ($P_7 = 1,00$ bar).

Dans cette troisième partie, *la turbine entraîne l'ensemble (compresseur basse pression – compresseur haute pression)*.

On rappelle que $P_3 = P_4$. On donne le taux de compression de chacun des compresseurs : $P_2 / P_1 = 2,40$ et $P_3 / P_2 = 4,00$.

Un tel turboréacteur est défini par son taux de dilution, noté λ , ainsi défini : $\lambda = D_{M2} / D_{M1}$.



Question 6 : calculer les températures T_2 (sortie du compresseur BP), T_3 (sortie du compresseur HP) et T_5 (sortie de la turbine) ; on rappelle que $P_5 = P_2$.

Question 7 :

7a. Calculer la valeur du travail indiqué massique du compresseur basse pression, noté w_{icBP} , du travail indiqué massique du compresseur haute pression, noté w_{icHP} et du travail indiqué massique de la turbine, noté w_{it} .

7b. Donner l'équation littérale permettant de calculer les débits massiques D_{M1} et D_{M2} caractérisant les flux primaire et secondaire. En déduire la valeur numérique de ces débits massiques et du taux de dilution ; on rappelle que $D_M = D_{M1} + D_{M2} = 1,00 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$.

Question 8 : Calculer les valeurs numériques :

8a. de la température T_6 de mélange de l'air à l'entrée de la tuyère ;

8b. de la température T_7 de l'air à la sortie de la tuyère et de la vitesse c_7 à la sortie de la tuyère.

Question 9 :

9a. Calculer la valeur numérique de la puissance thermique reçue par l'air lors de la combustion, et notée P_{therm} .

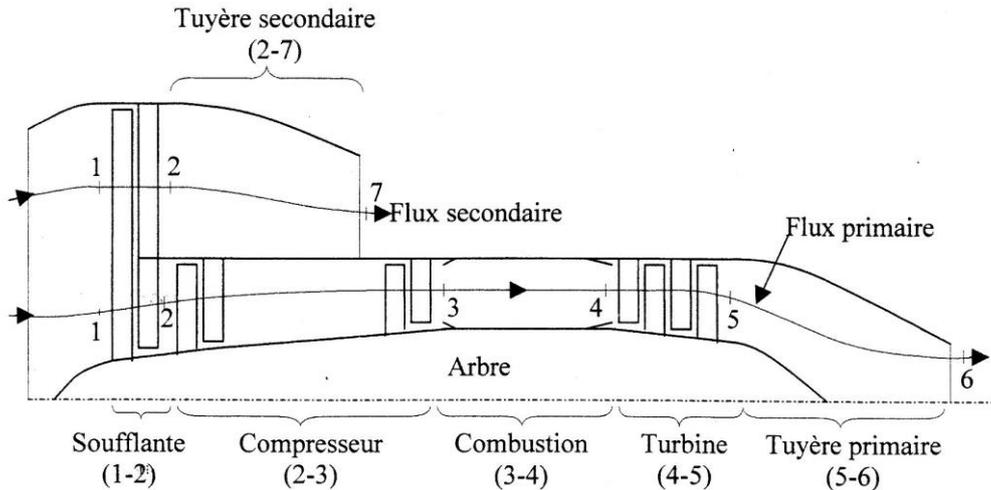
9b. Calculer la valeur numérique de la puissance cinétique $P_{\text{cin}} = D_M \cdot e_c$ de l'air à la sortie de la tuyère, e_c étant l'énergie cinétique massique.

9c. En déduire la valeur du rendement thermique η_{th} de ce turboréacteur, défini maintenant comme le quotient de P_{cin} par P_{therm} .

9d. Comparer les paramètres de ce turboréacteur à ceux des précédents. Conclure.

Quatrième partie : étude d'un turboréacteur double corps, double flux séparés (25 % du barème de ce problème)

Contrairement aux turboréacteurs précédents, la poussée est assurée par deux jets concentriques différents.



La soufflante (qui est un compresseur à faible taux de compression) aspire l'air ambiant. Puis ce flux se scinde en deux parties :

- *le flux primaire* (défini par un débit massique noté D_{M1}) qui passe dans le compresseur, puis dans la chambre de combustion où l'air est chauffé jusqu'à la température de 1450 K ($T_4 = 1450$ K). La détente s'effectue ensuite dans la tuyère primaire jusqu'à la pression ambiante ($P_6 = 1,00$ bar).
- *le flux secondaire* (défini par un débit massique noté D_{M2}) qui passe directement dans la tuyère secondaire où la détente s'effectue jusqu'à la pression ambiante ($P_7 = 1,00$ bar).

La turbine entraîne la soufflante et le compresseur. On rappelle que $P_3 = P_4$. On donne les taux de compression de la soufflante et du compresseur : $P_2 / P_1 = 1,90$ et $P_3 / P_2 = 13,7$.

Comme précédemment ce turboréacteur est défini par son taux de dilution, noté λ , ainsi défini : $\lambda = D_{M2} / D_{M1}$. On donne, **pour ce dispositif**, la valeur numérique de λ : $\lambda = 6,00$.

Question 10 : calculer les températures T_2 (sortie de la soufflante) et T_3 (sortie du compresseur).

Question 11 :

11a. Calculer la valeur du travail indiqué massique de la soufflante, noté w_{is} et du travail indiqué massique du compresseur, noté w_{ic} .

11b. Donner l'équation littérale permettant de calculer la température T_5 (sortie de la turbine). Calculer la valeur numérique de T_5 . En déduire la valeur de P_5 (pression à la sortie de la turbine) ; on rappelle que $D_M = D_{M1} + D_{M2} = 1,00 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ et que le taux de dilution λ est égal à 6,00.

Question 12 : calculer les valeurs numériques :

12a. de la température T_7 de l'air à la sortie de la tuyère secondaire et de la vitesse c_7 à la sortie de cette tuyère.

12b. de la température T_6 de l'air à la sortie de la tuyère primaire et de la vitesse c_6 à la sortie de cette tuyère.

Question 13 :

13a. Calculer la valeur numérique de la puissance thermique P_{therm} reçue par l'air lors de la combustion.

13b. Calculer la valeur numérique de la puissance cinétique totale P_{cin} de l'air à la sortie des tuyères ; la puissance cinétique à la sortie d'une tuyère a été définie à la question 9, dans la troisième partie.

13c. En déduire la valeur du rendement thermique η_{th} de ce turboréacteur.

13d. Comparer les paramètres de ce turboréacteur à ceux des précédents. Conclure.