

1 - Turbine d'autocar

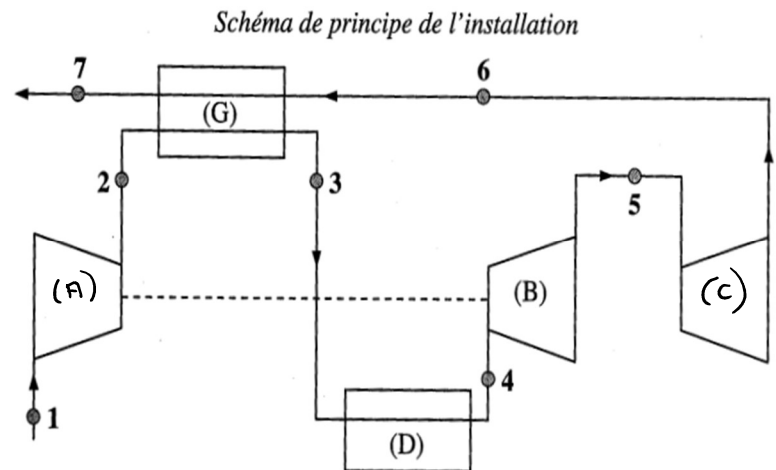
La turbine GT 31, que l'on se propose d'étudier, sert à la propulsion d'un autocar (le schéma du principe de fonctionnement est représenté ci-après).

L'air extérieur aspiré est comprimé par le compresseur (A). Il est, ensuite, préchauffé par l'échangeur (G) avant de pénétrer dans la chambre de combustion (D). Porté à 1050°C , il va, alors, actionner la turbine (B) qui entraîne uniquement le compresseur, puis la turbine (C) qui est accouplée à la boîte de vitesse du véhicule.

Enfin, il est rejeté à l'extérieur, après avoir retraversé l'échangeur (G).

Description du cycle théorique de fonctionnement :

- 1 – 2 : compression isentropique
- 2 – 3 : échauffement isobare dans (G)
- 3 – 4 : combustion isobare
- 4 – 5 : détente isentropique dans (B)
- 5 – 6 : détente isentropique dans (C)
- 6 – 7 : refroidissement isobare dans (G)
- 7 – 1 : refroidissement isobare dans l'atmosphère



Caractéristiques et performances :

- Régime nominal de la turbine : 54000 tr/min .
- Air aspiré : $1,5 \text{ kg.s}^{-1}$, à 15°C et 1 bar .
- Taux de compression du compresseur : 1 à 6.
- Température de l'air à la sortie de l'échangeur et à l'entrée de la chambre de combustion : $T_3 = 400^{\circ}\text{C}$.
- Température à la sortie de la chambre de combustion et entrée dans la turbine (B) : $T_4 = 1050^{\circ}\text{C}$.
- Température à la sortie de l'échangeur et avant rejet dans l'atmosphère : $T_7 = 250^{\circ}\text{C}$.
- Dans ces conditions, le moteur fournit, en sortie de boîte de vitesses, un couple de 1400 N.m au régime de 2650 tr/min .

Le compresseur multiplie la pression par 6. Placer sur le diagramme enthalpique de l'air (page 3) tous les points sauf le n°5. On pourra en déduire les valeurs des enthalpies pour chaque point que l'on reportera dans le tableau sous le diagramme. Certaines de ces valeurs seront nécessaires pour la suite. Dans cet énoncé, le terme « isentropique » est considéré comme synonyme de « adiabatique réversible ».

1. Déduire du graphique une valeur approchée de la température T_2 . Retrouver approximativement la valeur de T_2 par calcul, en considérant (seulement pour cette question !) l'air comme un gaz parfait de coefficient $\gamma = c_p / c_v = 1,4$. On rappelle que $0\text{K} = -273^{\circ}\text{C}$.

On raisonne dans la suite sur un kilogramme d'air.

- Déterminer le travail de compression W_{1-2} .

L'énergie récupérée par la turbine B sert uniquement à entraîner le compresseur A. On suppose que les transferts d'énergie sont parfaits (aucune perte).

- En déduire que $h_5 \approx 1230 \text{ kJ/kg}$ (enthalpie au point 5). Placer ce point sur le diagramme.
- Déterminer l'efficacité théorique η de ce moteur.

Le pouvoir calorifique du carburant (énergie dégagée par la combustion d'un kilogramme de carburant) vaut $PC = 43000 \text{ kJ/kg}$.

- En déduire le débit massique $\dot{m}_c$ de carburant utilisé et la puissance théorique P_{theo} de la turbine C.

La puissance mécanique P_{eff} effectivement récupérée (en sortie de boîte de vitesse) est le produit de la vitesse de rotation ω exprimée en radians par seconde et du couple Γ exprimé en N.m.

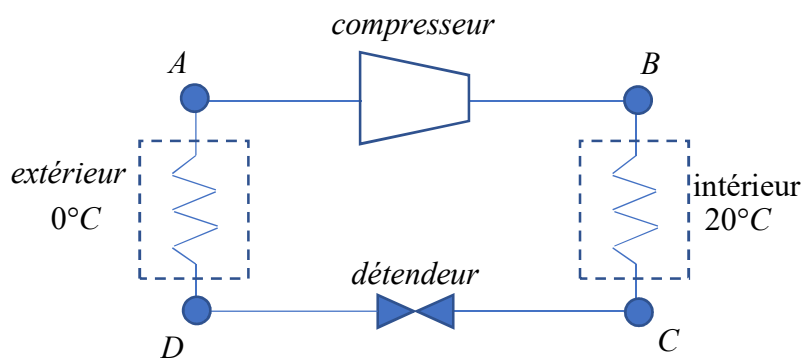
- Calculer P_{eff} et indiquer ce qui peut expliquer la différence avec P_{theo} .

Sur le diagramme on remarque que les isobares ont des allures de branches d'exponentielle.

- Justifier que c'est bien le cas si l'on considère l'air comme un gaz parfait.

2 - Pompe à chaleur

Une pompe à chaleur fonctionne en régime permanent entre une pièce à $T_0 = 20^\circ\text{C}$ et l'air extérieur à $T_{ext} = 0^\circ\text{C}$. Le fluide utilisé est de l'ammoniac, dont le diagramme entropique figure page 4. On donne les pressions de vapeur saturante : $P_s(0^\circ\text{C}) = 4,3 \text{ bar}$ et $P_s(20^\circ\text{C}) = 8,2 \text{ bar}$.



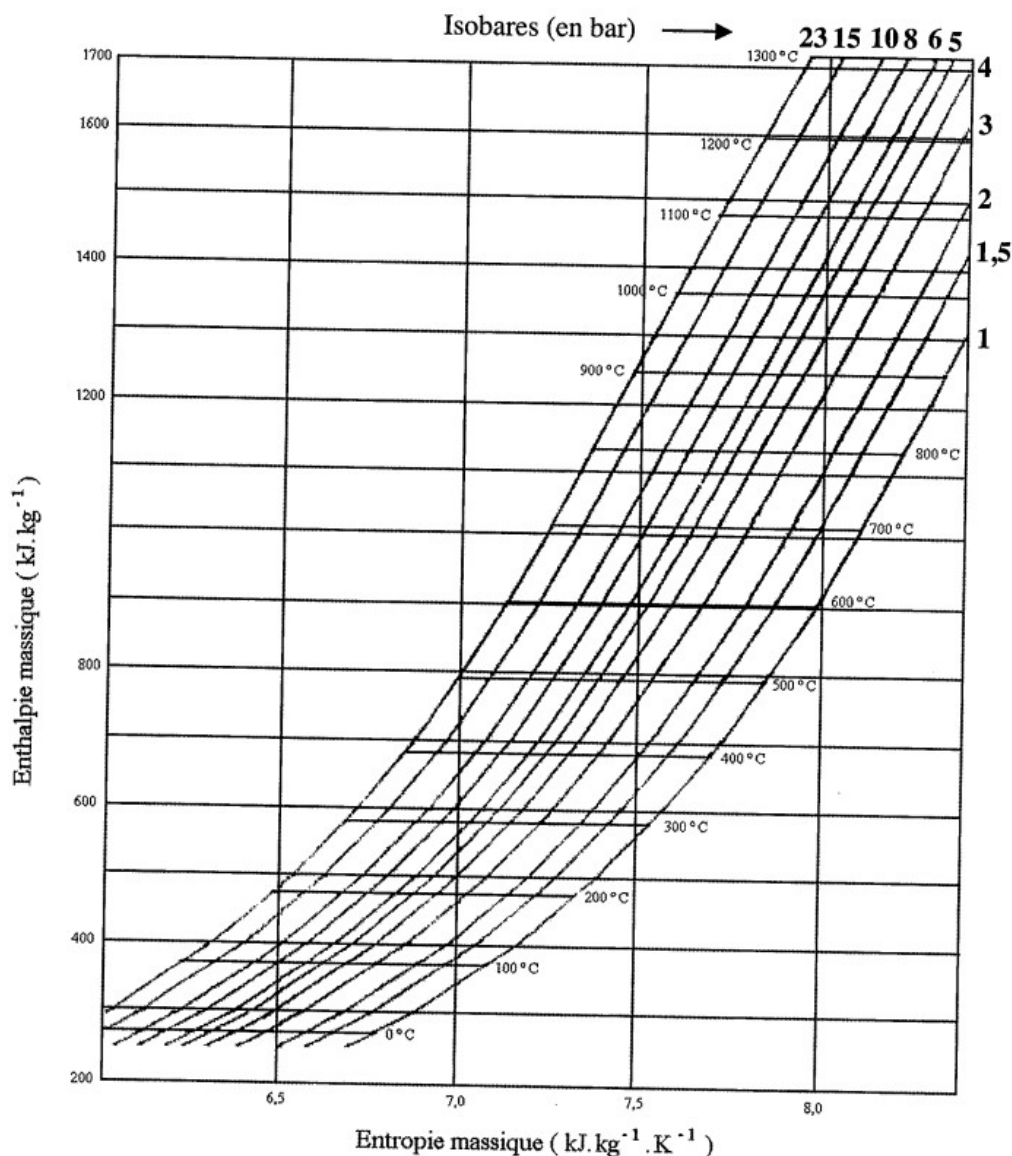
Au point A le fluide est sous forme de vapeur saturante à 0°C . Il rentre alors dans le compresseur qui fonctionne de manière adiabatique et réversible. Il en sort (point B) à la pression du condenseur. Dans celui-ci, le fluide est refroidi puis complètement liquéfié (liquide saturant), le tout de manière isobare (transformation B-C). En C la température du fluide est identique à celle de l'air intérieur. Dans le détendeur, le fluide subit alors une détente adiabatique sans apport de travail utile (transformation C-D). Le fluide est ensuite entièrement vaporisé à pression constante dans l'évaporateur (transformation D-A).

- Justifier que la détente C-D est isenthalpique.
- Tracer le cycle (en l'orientant) sur le diagramme entropique.
- Quelle est la fraction massique de vapeur x_v à la sortie du détendeur ?

4. Déterminer graphiquement, pour 1 kg d'ammoniac : le travail W fourni par le compresseur, la chaleur Q_c reçue par l'ammoniac dans le condenseur, la chaleur Q_f reçue dans l'évaporateur.
5. En déduire l'efficacité du cycle. Quel intérêt présente une telle installation par rapport à un chauffage électrique ?
6. Quelle serait l'efficacité maximale du cycle idéal fonctionnant entre les températures 0°C et 20°C ? Justifier et démontrer la formule utilisée.
7. Déterminer graphiquement la température T_B à la sortie du compresseur. En considérant l'ammoniac comme un gaz parfait, montrer que la constante $\gamma = c_p / c_v$ vaut

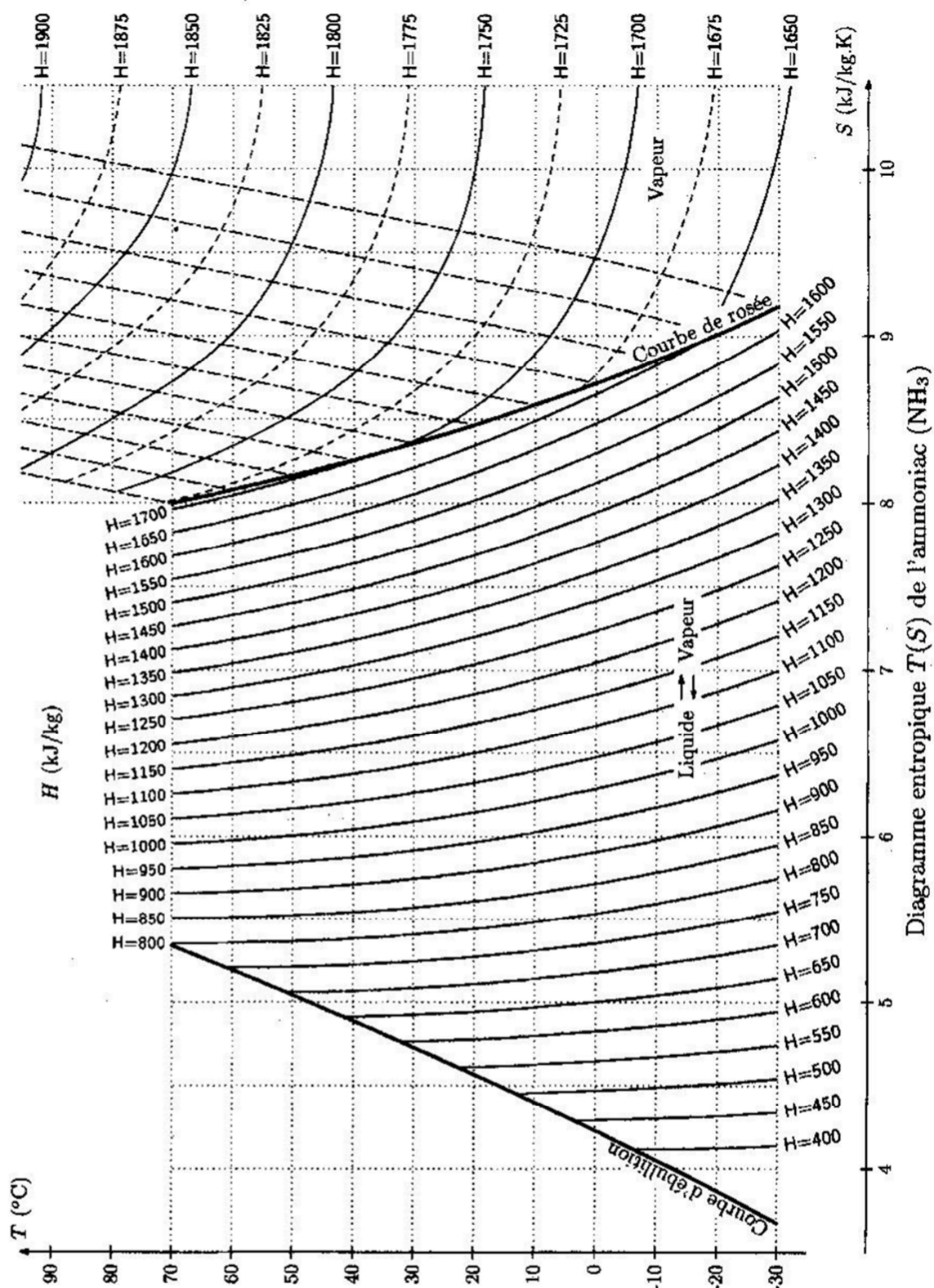
$$\gamma = \left[1 - \frac{\ln(T_A / T_B)}{\ln(P_A / P_B)} \right]^{-1}$$
 Application numérique : calculer γ pour l'ammoniac.
8. Déterminez à partir du graphique un ordre de grandeur de la capacité thermique à pression constante c_p de l'ammoniac gazeux.

Diagramme enthalpique de l'air pour l'exercice 1 :



Point	1	2	3	4	5	6	7
Enthalpie kJ/kg							

NOM : _____



Exercice 2 : Les valeurs de l'enthalpie massique notée H sur le diagramme sont données en kJ/kg. Dans le domaine de la vapeur seule, les isobares sont les courbes en pointillés presque verticales sur la droite du schéma. Merci de **rendre cette feuille, même si elle est vide**, avec votre copie.