

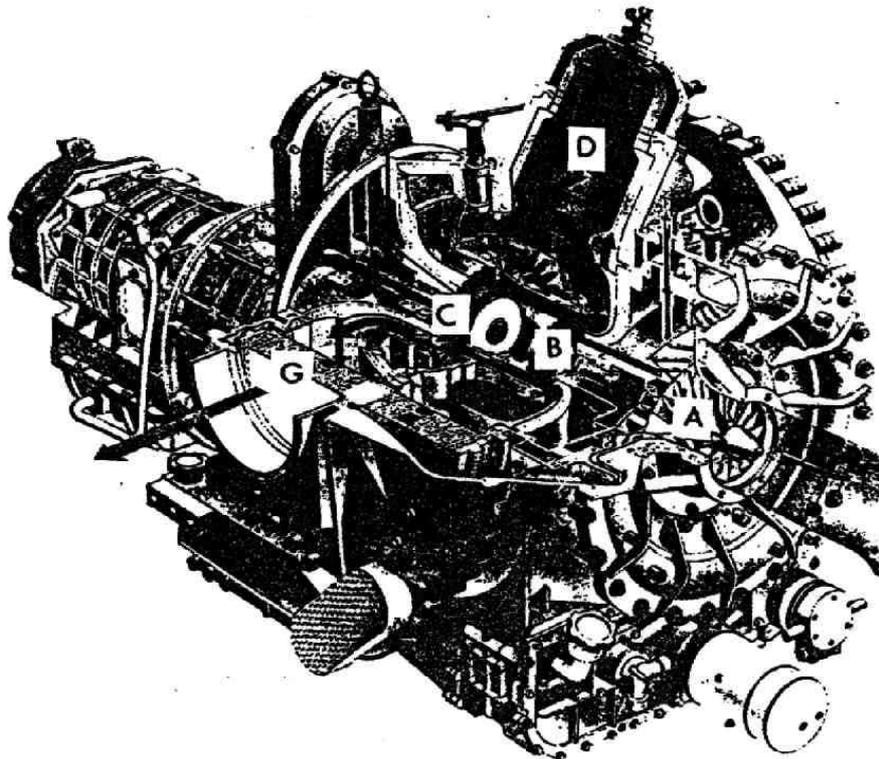
Etude d'une turbine à gaz.

Ce problème comporte 6 parties. Les parties 4, 5 et 6 peuvent être traitées indépendamment des autres.

Deux exemplaires du diagramme enthalpique de l'air sont fournis en annexe. L'un est destiné aux essais du candidat, l'autre est à rendre avec la copie.

La turbine GT 31 que l'on se propose d'étudier, sert à la propulsion d'un autocar.

L'air extérieur aspiré est comprimé par le compresseur axial A- Il est ensuite préchauffé par l'échangeur rotatif G, avant de pénétrer dans la chambre de combustion D. Porté à 1 050°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 traversé l'échangeur G.

**Caractéristiques et performances**

Régime nominal de la turbine: 54 000 tr /min.

Air aspiré : 1,5 kg /s à 15°C et 1 bar.

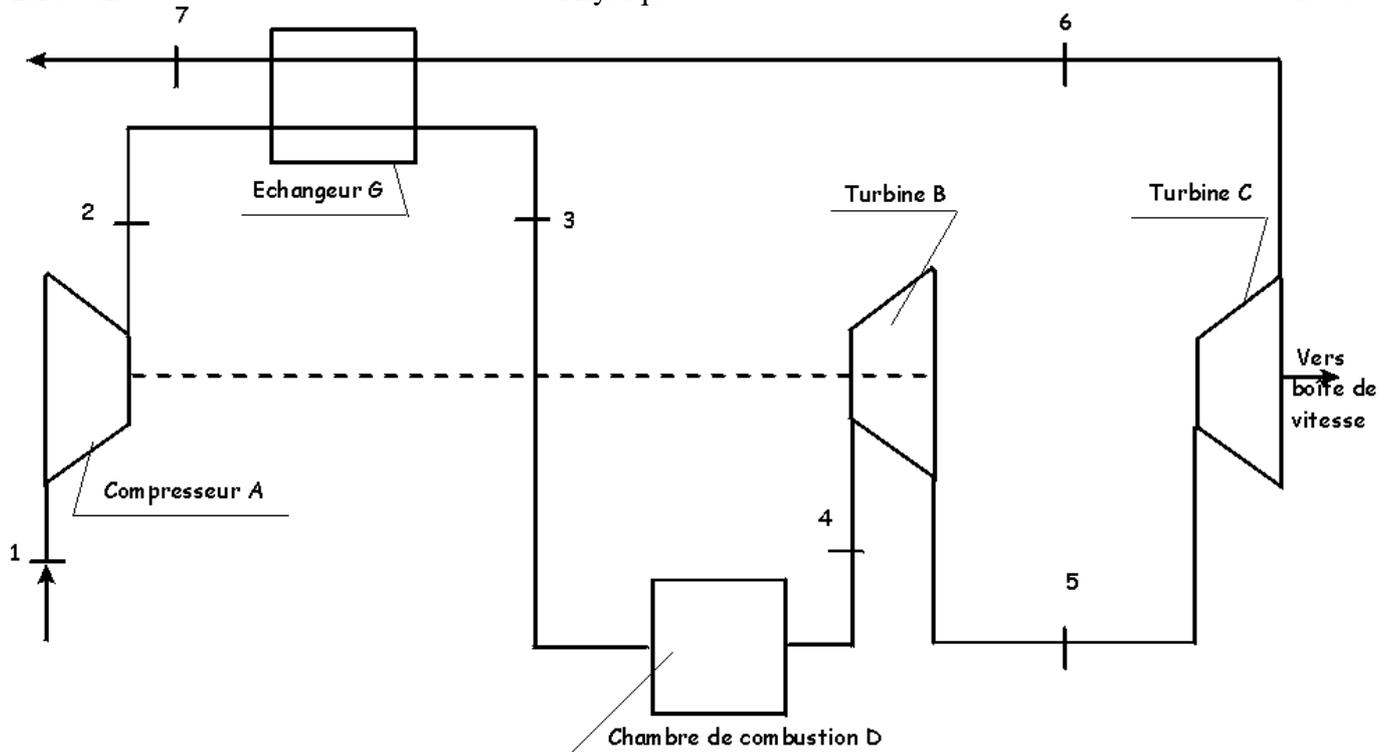
Taux de compression du compresseur A: 1 à 6.

Température de l'air en sortie échangeur et entrée chambre de combustion $T_3 = 400^\circ\text{C}$.

Température en sortie chambre de combustion et entrée turbine B : $T_4 = 1\ 050^\circ\text{C}$.

Température en sortie 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.



Description du cycle théorique de fonctionnement.

- 1-2 : Compression isentropique.
- 2-3 : Echauffement isobare dans l'échangeur G.
- 3-4 : Combustion isobare.
- 4-5 : Détente isentropique dans la turbine B.
- 5-6 : Détente isentropique dans la turbine C.
- 6-7 : Refroidissement isobare dans l'échangeur.
- 7-1 : Refroidissement isobare dans l'atmosphère.

ETUDE DE LA TURBINE GT 31.

1 - Cycle thermique

Tracer qualitativement ce cycle sur un diagramme (P, v) .

2 - Détermination des paramètres thermodynamiques.

2 - 1 - Tracer sur le diagramme enthalpique de l'air, en annexe, à rendre avec la copie, la compression 1 - 2. En déduire la température T_2 de l'air à la sortie du compresseur. Retrouver ce résultat par le calcul. On prendra pour cette question $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$.

2- 2 - Placer sur le diagramme les points 4 et 6. Relever la température T_6 .

2 - 3 - Placer les points 3 et 7 sur le diagramme enthalpique. Relever l'enthalpie de l'air aux différents points du cycle : $h_1, h_2, h_3, h_4, h_6, h_7$.

3 - Bilan thermique du cycle.

3 - 1 - Déterminer le travail massique de compression $w_{(1-2)}$.

3 - 2 - La turbine B entraîne uniquement le compresseur A. En supposant le système parfait (aucune perte), quel est le travail massique que doit prélever la turbine B sur les gaz de combustion ? En déduire l'enthalpie h_5 au point 5, et placer ce point sur le diagramme. Relever la température T_5 au point 5.

3 - 3 - Déterminer le travail massique récupéré par la turbine C: $w_{(5-6)}$.

3 - 4 - Déterminer la chaleur massique apportée par la combustion: $q_{(3-4)}$.

3 - 5 - Calculer le rendement théorique de cette machine.

4 - Calcul de la consommation de carburant.

En supposant que la combustion doit fournir 750 kJ /kg à l'air circulant dans la machine, déterminer la consommation horaire de carburant. On donne

- débit d'air au régime nominal : 1,5 kg /s

- pouvoir calorifique du carburant : 43 000 kJ /kg.

5- Puissance mécanique de la machine.

5 - 1 - En supposant que le travail massique récupéré par la turbine C est de 320 kJ /kg, déterminer la puissance théorique qu'elle fournit.

5 - 2 - Au banc d'essai, on mesure en sortie de boîte de vitesses un couple de 1 400 N.m à 2650 tr /min. Indiquer les causes mécaniques et thermiques de la différence avec le résultat du 5 - 1.

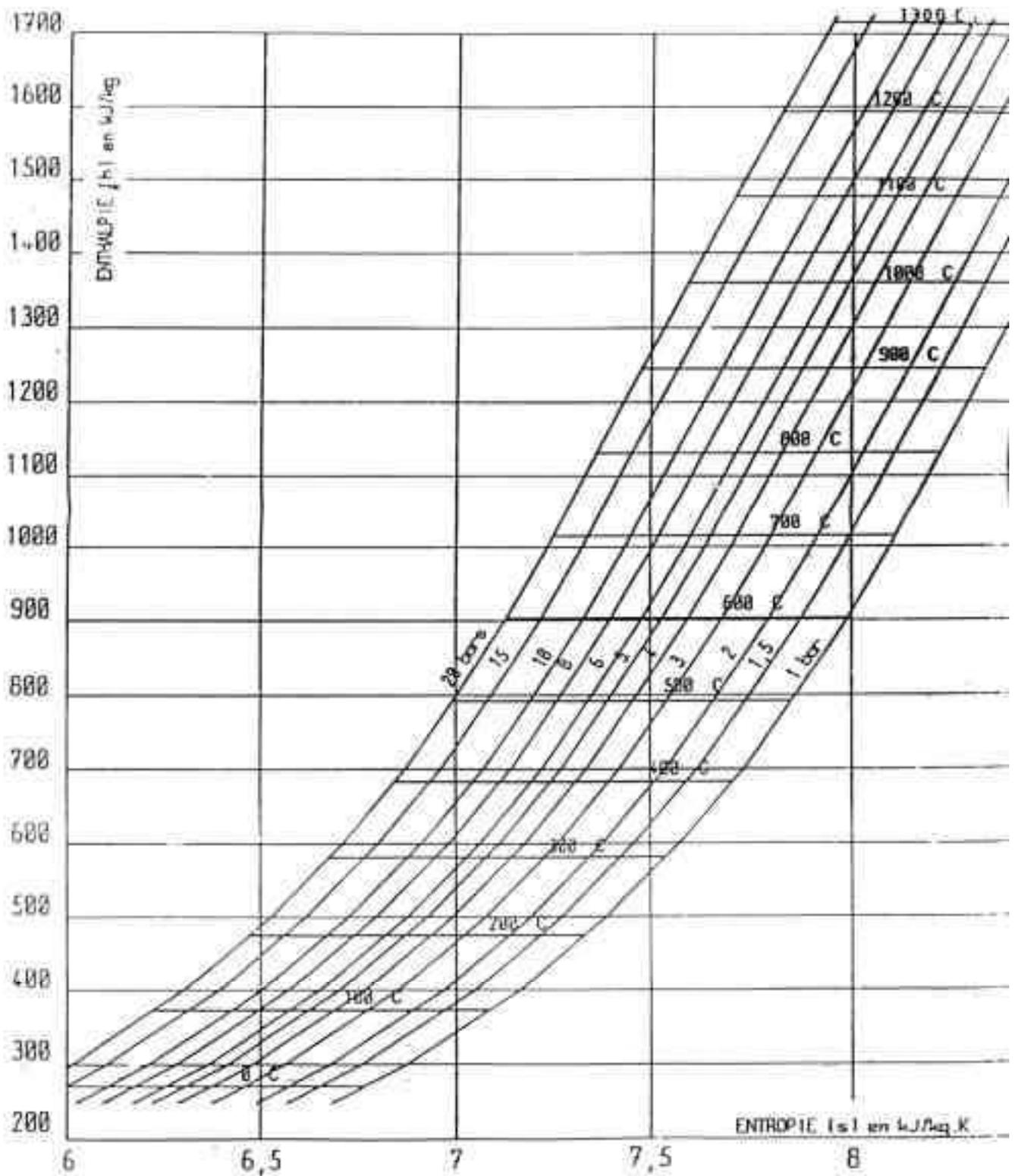
6 - Amélioration des performances.

L'acier utilisé pour les aubes de la turbine ne permet pas de dépasser 1 100°C dans la chambre de combustion. Un prototype fonctionne actuellement avec des aubes en céramique (nitrure de silicium). La nouvelle température du point 4 est $t'_4 = 1\ 300^\circ\text{C}$. Parallèlement, l'amélioration de l'efficacité de l'échangeur réalisé lui aussi en céramique, permet d'atteindre $t'_3 = 750^\circ\text{C}$ au point 3.

6 - 1 - Tracer le nouveau cycle sur le diagramme (annexe 1 à rendre avec la copie).

6 - 2 - Le rendement thermique ayant pour expression $\eta = (h'_5 - h'_6)/(h'_4 - h'_3)$, calculer ce nouveau rendement. Quelle est, en pourcentage, l'amélioration obtenue par rapport à la question 3-5 ?

6 - 3 - Calculer la nouvelle consommation horaire de carburant. Quelle est, en pourcentage, l'économie réalisée par rapport à la question 4 ?



1 - Acide-base et pH

On fait barboter du gaz ammoniac (NH_3) dans 500 cm^3 d'eau. On obtient une solution dont le pH est 10,9.

- 1 - Calculer les concentrations en ions H_3O^+ et OH^- de la solution obtenue.
- 2 - Ecrire l'équation de la réaction de l'ammoniac sur l'eau.
- 3 - Exprimer la relation traduisant l'électroneutralité de la solution. En déduire la concentration en ions ammonium : $[\text{NH}_4^+]$.
- 4 - Donner l'expression de la constante d'acidité K_a du couple ion ammonium/ammoniac. En déduire la concentration en ammoniac dissous $[\text{NH}_3]$.
- 5 - Ecrire l'équation traduisant la conservation de l'ammoniac (ou de l'élément azote N). On désignera par c la concentration initiale en ammoniac. Calculer c , puis le nombre de moles d'ammoniac gazeux nécessaire pour préparer cette solution. Calculer le volume V d'ammoniac gazeux correspondant (mesuré dans les conditions normales de température et de pression).
- 6 - A titre de vérification on dose 20 cm^3 de cette solution par une solution d'acide chlorhydrique (acide fort) à $0,04 \text{ mol.dm}^{-3}$. Il faut en verser $20,3 \text{ cm}^3$ pour obtenir l'équivalence. En déduire c , concentration initiale en ammoniac de la solution basique. Vérifier que le résultat est en accord avec celui de la question 5.

Données : $pK_a(\text{NH}_4^+/\text{NH}_3) = 9,2$

Volume molaire (conditions normales) $V_m = 22\,400 \text{ cm}^3$,

$K_e = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$

2 - Dureté de l'eau.

Une entreprise utilise de l'eau, pompée dans une rivière, pour une chaîne de fabrication d'un produit chimique.

La composition en corps dissous dans l'eau est la suivante :

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 324 \text{ g.m}^{-3}$ $\text{CaCl}_2 = 10,6 \text{ g.m}^{-3}$

$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 = 204 \text{ g.m}^{-3}$ $\text{CaSO}_4 = 68 \text{ g.m}^{-3}$

- 1 - Pour chaque produit, calculer la concentration en mol.m^{-3} et en mol.dm^{-3} (on écrira cette dernière sous la forme $X.10^{-4}$).
- 2 - En déduire les concentrations en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} .
- 3 - Donner la dureté totale de cette eau en titre hydrotimétrique total (*T.H.T.*).
1° *T.H.T.* équivaut à $10^{-4} \text{ mol.dm}^{-3}$ d'ions Ca^{2+} , ou Mg^{2+} .

Données : masses molaires en g.mol^{-1}

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 = 162$

$\text{CaCl}_2 = 111$

$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 = 146$

$\text{CaSO}_4 = 136$