

**BTS MAINTENANCE ET EXPLOITATION
DES MATERIELS AERONAUTIQUES**

Session 2007 – Sous épreuve U31

THERMODYNAMIQUE – THERMOPROPULSION

Durée 4 heures – Coefficient 2

Ce document comporte six pages numérotées.

THERMODYNAMIQUE - Durée conseillée : 2 heures, coefficient 1.

Le candidat doit traiter les deux problèmes.

Problème 1 \Rightarrow 10 points, Problème 2 \Rightarrow 10 points.

THERMOPROPULSION - Durée conseillée : 2 heures, coefficient 1.

Le sujet proposé concerne l'étude d'un turboréacteur GE CF34 – 3B1

Etude du Turboréacteur \Rightarrow 20 points

Tout document est interdit. Les calculatrices réglementaires sont autorisées.

Partie Thermodynamique :

Problème 1 : Etude d'une turbomachine.

On se propose d'étudier le fonctionnement et les performances d'une turbomachine dans laquelle un gaz que l'on supposera parfait décrit en circuit fermé les opérations réversibles suivantes :

- le gaz initialement dans l'état (P1, T1) traverse un compresseur dans lequel il subit une évolution adiabatique jusqu'à l'état 2 (P2, T2),
- il se trouve alors en contact avec une source chaude où il se réchauffe à pression constante P2 jusqu'à la température T3, il est alors dans l'état 3 (P2, T3).
- le gaz pénètre ensuite dans la turbine où il se détend de manière adiabatique jusqu'à la pression P1; en fin de détente il est dans l'état 4 (P1, T4),
- il achève de se refroidir à la pression P1, au contact d'une source froide jusqu'à la température T1 où il se trouve dans l'état 1.

1. Tracer en diagramme (P, V) le cycle théorique de cette machine et déterminer en fonction de P1, P2, T3, T1, les volumes V1, V2, V3, V4 d'une mole de gaz dans les états 1, 2, 3, 4 ainsi que les températures T2 et T4.
2. Préciser de manière littérale les quantités de chaleur Qf et Qc échangées par une mole de gaz avec les sources chaude et froide, ainsi que le travail global W de cette mole au cours du cycle.
3. Exprimer uniquement en fonction de $\Gamma = P2 / P1$ le rendement théorique (η_{th}) de cette machine. Le rapport Γ étant imposé par les limites de résistance de l'installation, avec lequel des trois gaz suivants obtiendra-t-on le meilleur rendement ?

- Argon $\gamma = 1,667$
- Air $\gamma = 1,4$
- Dioxyde de Carbone $\gamma = 1,31$

4. Calculer pour l'air les valeurs suivantes avec $\Gamma = 4$, $P1 = 10^5$ Pa, $T1 = 300$ K, $T3 = 900$ K, :
 - a) η_{th} ,
 - b) V1
 - c) V2
 - d) V3
 - e) V4
 - f) T2
 - g) T4
 - h) W
5. Comparer le η_{th} ainsi obtenu au rendement d'une machine fonctionnant selon le cycle de Carnot entre deux sources aux températures uniformes T1 et T3.

Problème 2 : Etude d'un système destiné à réfrigérer l'eau des avions en zone tropicale.

On effectue l'étude d'un système destiné à réfrigérer l'eau potable des avions de ligne. Le fluide subissant le cycle thermodynamique est du fréon. Le circuit est représenté en trait épais.

1, 2, 3, 4 sont les points du circuit correspondants aux entrées et sorties de chaque élément. Un ventilateur soufflant de l'air sur le condenseur assure le refroidissement du dispositif. L'évaporateur et le circuit d'eau sont mis en contact thermique par un échangeur de chaleur. Le circuit d'eau est représenté en trait fin.

La vapeur de fréon sera considérée comme un gaz parfait. On désigne respectivement par P et T sa pression et sa température.

Les caractéristiques thermodynamiques du fréon sont les suivantes :

- Masse molaire du fréon : $M = 121$ g.
- Chaleur latente massique de vaporisation du fréon : $L = 130$ kJ.kg⁻¹ à 310 K.

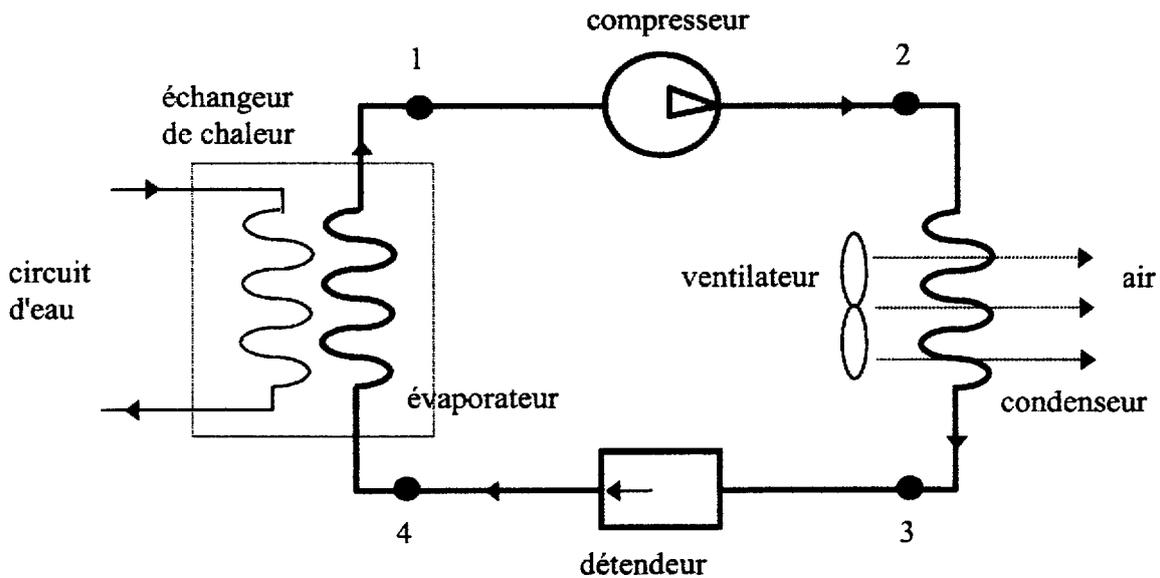
- Capacité thermique molaire à pression constante du fréon gazeux : $C_p = 49,9 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Rapport des capacités thermiques molaires à pression constante et à volume constant du fréon gazeux :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,2$$

- Constante d'état des gaz parfaits :

$$R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

- ▶ au point 1 le fréon est totalement gazeux : $P_1 = 1,9 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ à $T_1 = 272 \text{ K}$.
- ▶ au point 2 le fréon est totalement gazeux : $P_2 = 8,5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ à T_2 .
- ▶ au point 3 le fréon est totalement liquide : $P_3 = P_2$ à $T_3 = 310 \text{ K}$.
- ▶ au point 4 le fréon est partiellement gazeux : $P_4 = P_1$ à T_4



- 1) La masse de fréon circulant en un point du circuit en une minute est $m = 2,25 \text{ kg}$.
 - a) En déduire que le nombre de moles de fréon passant en un point du circuit en une minute est $n = 18,6$.
 - b) Quel volume V_1 ces n moles de fréon occupent-elles à l'état gazeux sous la pression $P_1 = 1,9 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ et à la température de $T_1 = 272 \text{ K}$? On exprimera le résultat en litres.
- 2) On suppose que la transformation réalisée dans le compresseur est adiabatique et réversible. Calculer, en litres, le volume V_2 occupé par ces n moles de fréon à la pression P_2 . En déduire que T_2 est égale à 349 K .
- 3) Dans le condenseur, le fréon subit un refroidissement à l'état gazeux de T_2 à T_3 , puis une liquéfaction à la température T_3 .
 - a) Calculer la quantité de chaleur Q_a échangée par le fréon gazeux en une minute, lors de son refroidissement de T_2 à T_3 . Préciser le signe de Q_a
 - b) Calculer la quantité de chaleur Q_b échangée par le fréon, en une minute, lors de sa liquéfaction totale. Préciser le signe de Q_b .

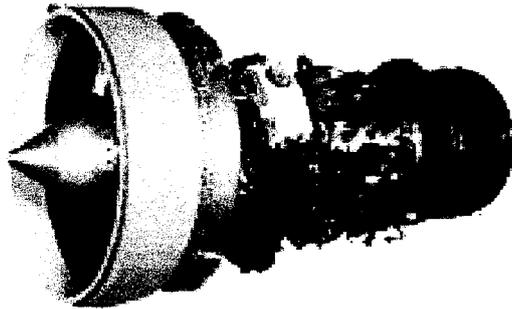
On rappelle que la chaleur latente massique de vaporisation du fréon est $L = 130 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ à 310 K .

 - c) En déduire la quantité de chaleur Q_{23} échangée par le fréon en une minute, dans le condenseur pour son refroidissement et sa liquéfaction.
 - d) Quel est le signe de Q_{23} ? Que représente ce signe ?
- 4) Dans l'évaporateur, la valeur algébrique de quantité de chaleur Q_{41} reçue par le fréon en une minute, est $Q_{41} = 240 \text{ kJ}$. En déduire le débit maximale de l'eau, si l'on veut abaisser la température de celle-ci de $5 \text{ }^\circ\text{C}$. On exprimera ce débit en litres par minute.

On donne : capacité thermique massique de l'eau : $C_{\text{eau}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Partie Thermopropulsion :

Les calculs seront effectués à 10^{-2} près, il ne sera pas admis de résultat sans explication préalable.

**Etude du turboréacteur CF34-3B1**

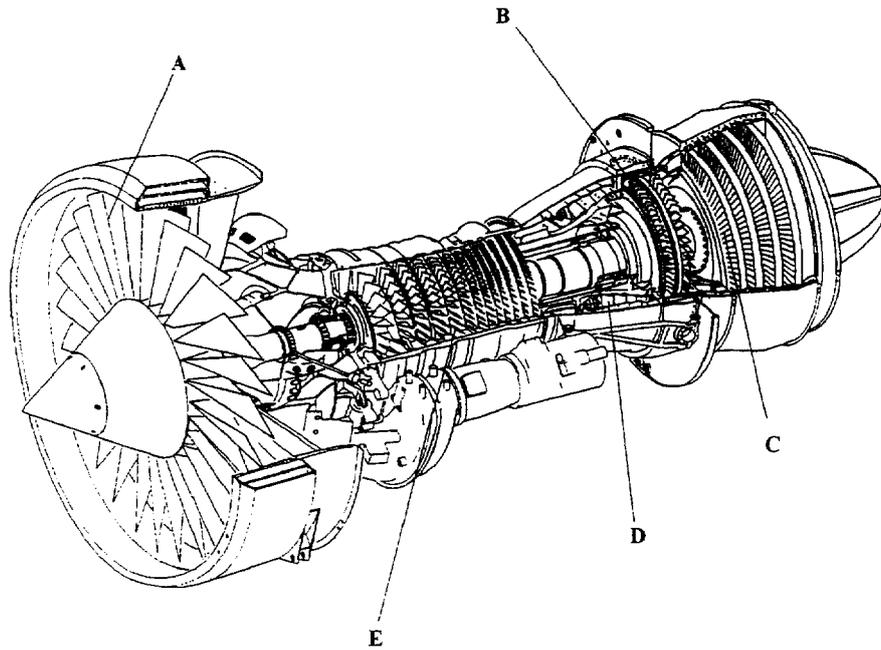
Le CF34-3B1 est une turbomachine conçue par « Général Electric » (GE) équipant les avions « Canadair Régional Jet » (CRJ).

Entré en service en 1992, il possède les caractéristiques suivantes :

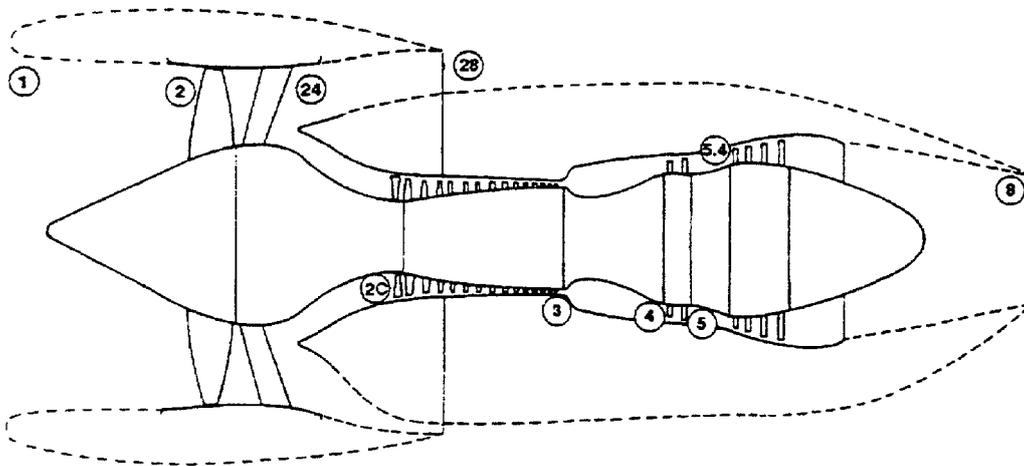
| PROPULSEUR | PARTICULARITES |
|--|--|
| Références du moteur : | CF34 -3B1 |
| Moteur de type : | Turbofan |
| Compresseur : | Axial |
| DESCRIPTION / PERFORMANCES EN CONDITIONS STANDARD (ISA) | |
| Température au sol : | $T_{s1} = T_{s2} = 15^{\circ}\text{C}$ (T° statiques des stations 1 et 2 page 5/6) |
| Pression au sol : | $P_{atm} = 101325 \text{ Pa}$ |
| Pouvoir calorifique inférieur du kérosène : | $P_{ci} = 44 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$ |
| Poussée au sol dans les conditions de fonctionnement : | 33269 N à 85 % de N_2 |
| Compresseur FAN : | 1 étage |
| Taux de compression du FAN : | 1,49 |
| Diamètre du FAN : | $\Phi = 1,26 \text{ m}$ |
| Taux de dilution : | $\lambda = 6.26$ |
| Compresseur haute pression : | 14 étages |
| Compression | Polytropique |
| Coefficient polytropique de compression | $\gamma = 1.47$ |
| Chaleur spécifique de l'air et des gaz brûlés à $P = \text{Cte}$ | $C_p = 1005 \text{ J/kg.K}$ |
| Taux de compression du compresseur HP : | 14 |
| Stators à calage variable : | 1 étage IGV (Inlet Guide Vane) 5 étages VSV (Variable Stator Vane) |
| Chambre de combustion : | Annulaire a faible émission de Nox (monoxyde d'azote) |
| Consommation spécifique : | $C_{sp} = 0,0363 \text{ kg/N.h}$ |
| Turbine basse pression (BP) | 4 étages entraînant le compresseur FAN |
| Turbine haute pression (HP) | 2 étages entraînant les 14 étages du compresseur HP |
| Vitesse initiale d'admission de l'air : | $V_0 = 98 \text{ m/s}$ |
| Rapport des vitesses d'éjection | $V_{25}/V_{15} = 68 \%$ |
| Particularités des tuyères primaires et secondaires : | Adaptées |

On demande :

1. A partir du schéma ci-dessous, nommer les parties constitutives référencées de A à E.

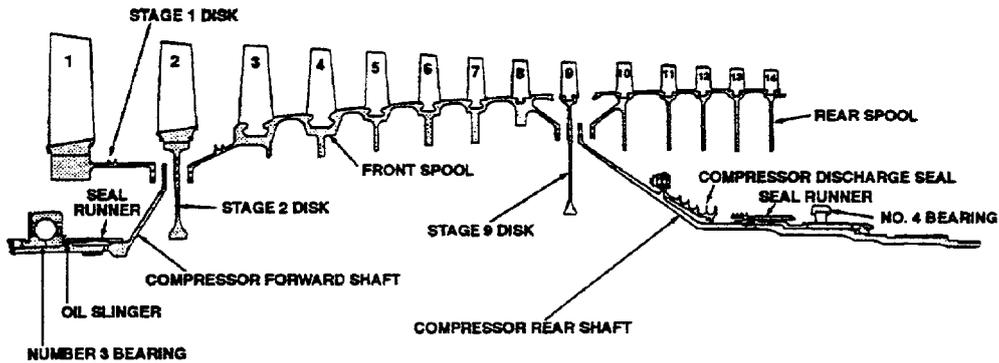


2. Calculer les débits massiques d'air Q_{ma1} et Q_{ma2} du Turbofan.
3. Calculer les consommations : horaire (Ch) et instantanée (Q_{mc}).
4. Déterminer les vitesses d'éjection de chaque flux d'air V_{15} (flux primaire) et V_{25} (flux secondaire).
5. Rappeler la notion de tuyère adaptée pour un GTR.
6. Calculer :
 - La puissance calorifique
 - La puissance de propulsion
 - Le rendement global. Que peut on dire de celui-ci dans les conditions de fonctionnement présentées ?
7. Calculer la puissance absorbée par le compresseur FAN et par le compresseur haute pression (à 85% de N_2) en tenant compte des numérotations des stations du schéma ci-dessous.



Engine Stations

8. Sur le schéma ci-dessous, justifier la diminution de la taille des ailettes du compresseur HP.



9. Définir le taux de compression par étage « Γ_e » du compresseur HP (Chaque étage possède un taux de compression identique) ainsi que le taux de compression global « Γ_g » de ce moteur.

10. A partir des éléments dont vous disposez :

- Identifier les systèmes « anti pompage » du CF34 – 3B1.
- Préciser la localisation probable sur le moteur de ceux-ci.

11. La turbine est dotée des dernières innovations technologiques et possède des aubes « monocristallines »

- Expliquer succinctement la particularité de ces aubages.
- Qu'apporte cette technologie innovante.

12. L'adaptation de la turbine au compresseur définit une courbe appelée « courbe d'adaptation » qui est le lieu géométrique des points pour lesquels la puissance fournie par la turbine égale celle absorbée par le compresseur.

(Γ_g représente le taux de compression global du compresseur et Q_{ma} le débit massique de l'air absorbé par la machine)

Représenter dans un graphe $\Gamma_g = f(Q_{ma})$ les éléments suivants :

- La courbe d'adaptation turbine / Compresseur.
- Les « iso vitesses » de rotation.
- Les différentes zones limitatives de la machine que vous placerez sur votre schéma.

13. Indiquer les moyens utilisés par le constructeur pour limiter des régimes transitoires à l'extérieur de ces zones.

14. Ce GTR est piloté par un régulateur FADEC.

- Expliquer succinctement cette technologie.