

EXEMPLE de DEVOIR SURVEILLE
BTS AERONAUTIQUE

PARTIE THERMODYNAMIQUE
et
TECHNOLOGIE DES TURBOMACHINES

Lors de la correction, il sera tenu compte de la présentation de la copie, de la présence et de la clarté des raisonnements précédant l'écriture des résultats.

Données :

Constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J / mol / K}$

Constante de Mayer : $r = C_p - C_v = 287 \text{ J / kg / K}$

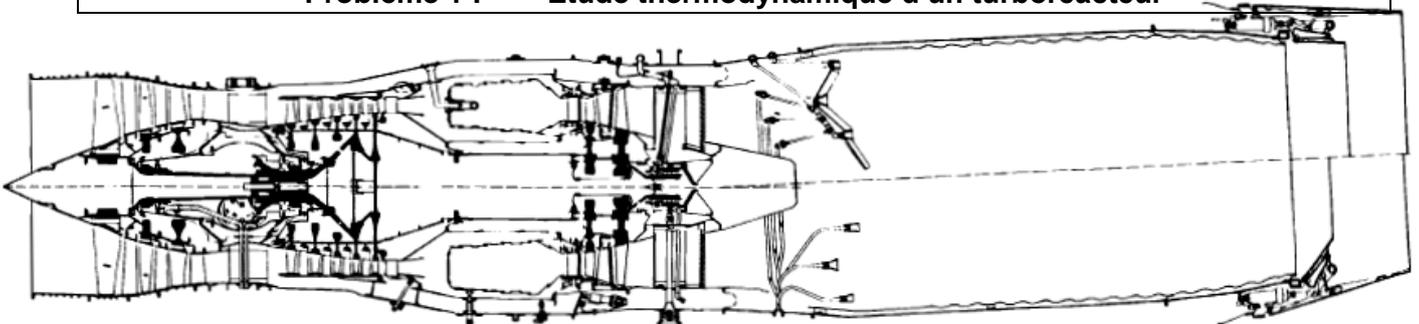
Masse volumique de l'air en conditions ISA : $\mu_{\text{air}} = 1,225 \text{ kg / m}^3$

Pouvoir calorifique du kérosène : $P_{ci} = 44\,000 \text{ kJ / kg}$

Masse volumique du kérosène : $\mu_{\text{kéro}} = 790 \text{ kg / m}^3$

Pour un gaz parfait diatomique : $\gamma = C_p / C_v = 1,4$; $C_p = 1000 \text{ J / kg / K}$; $C_v = 713 \text{ J / kg / K}$

Problème 1 : Etude thermodynamique d'un turboréacteur



Le fonctionnement théorique de ce turboréacteur double flux à postcombustion peut-être décrit suivant le cycle suivant :

(les gaz seront considérés parfaits et les conditions extérieures conformes au standard ISA excepté en terme de température $T_1 = -30^\circ\text{C}$)

→ Compression adiabatique réversible (huit étages compresseur BP et HP)

Evolution de l'état 1 ($P_1 = 1 \text{ bar}$; V_1 ; $T_1 = -30^\circ\text{C}$) à l'état 2 ($P_2 = 15 \text{ bars}$; V_2 ; T_2)

→ Combustion isobare dans la chambre amenant les gaz à l'état 3 ($P_3 = P_2$; V_3 ; T_3)

La stœchiométrie propre à la combustion sera considérée idéale (1/15 combustion et 1/35 dilution pour refroidissement au sein de la chambre soit un dosage total de 1/50) Ces proportions sont données en masse.

→ Détente adiabatique réversible (deux étages turbines) amenant à l'état 4 (P_4 ; V_4 ; T_4)

→ Nouvelle combustion isobare (réchauffe) amenant à l'état 5 ($P_5 = P_4$; V_5 ; T_5)

→ Refroidissement isobare ramenant les gaz à l'atmosphère extérieure via le canal de postcombustion et la tuyère d'échappement. L'état de retour à l'atmosphère équivaut à l'état 6, identique à l'état 1.

Le débit massique au sein du flux chaud (primaire) est de 45 kg/s, alors qu'il est de 60kg/s dans le flux froid (secondaire).

Question 1-1

Tracer qualitativement le diagramme P,V du cycle complet (flux primaire seulement)
 Calculer le taux de dilution de ce moteur.
 Calculer le nombre de moles qui transitent dans chaque flux en considérant un temps de 1s.

Question 1-2

Calculer la température T2 à la sortie du compresseur HP.
 Préciser sur le diagramme PV de la question précédente ce que représente le travail équivalent à la compression. Calculer ce travail.

Question 1-3

Calculer la température des gaz en fin de combustion en ne considérant que l'apport calorifique du carburant. (rappel : chaleur massique de l'air = 1000 J/kg/K)

Question 1-4

Si le taux de détente en turbine équivaut à 70% du taux de compression des étages compresseur, déterminer la température T4.

Question 1-5

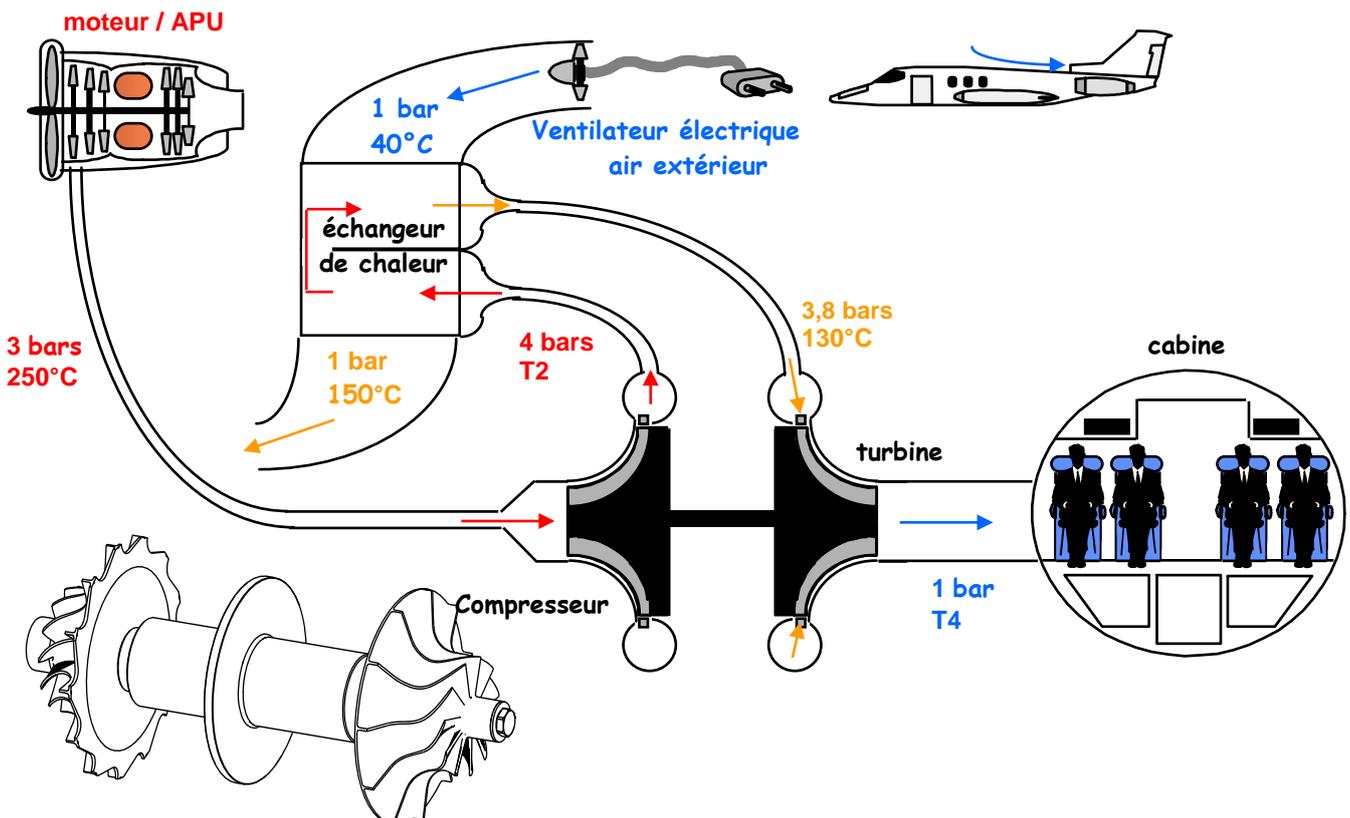
Si la variation d'enthalpie (d'énergie) au niveau de la postcombustion est $\Delta H = H_5 - H_4 = 40,33 \cdot 10^6 \text{ J}$
 Déterminer la chaleur transmise aux gaz lors de cette phase . En déduire T5. Justifiez vos calculs.

Question 1-6

Calculer les consommations suivantes (débits massiques en kg/s) en considérant les stœchiométries évoquées dans l'énoncé :

$$Q_{c1} \text{ (primaire)} ; Q_{c2} \text{ (réchauffe)} \quad \text{et} \quad Q_c \text{ totale} = Q_{c1} + Q_{c2}$$

Problème 2 : Etude théorique d'un Bootstrap de conditionnement d'air FALCON



Le cycle étudié dans ce problème correspond à celui de l'air prélevé sur le turbofan. On le désigne également sous le nom de prélèvement « Bleed ». Ce cycle permet le conditionnement d'air de la cabine via une turbomachine et par conséquent la pressurisation de l'aéronef.

Voici les étapes de cette évolution qui ne comporte aucune combustion.

- Prélèvement isobare amenant la masse d'air à l'entrée du compresseur.
($P_1 = 3$ bars ; V_1 ; $T_1 = 250^\circ\text{C}$)
- Compression isentropique amenant l'air en sortie compresseur aux conditions :
($P_2 = 4$ bars ; V_2 ; T_2)
- Passage dans un échangeur de chaleur amenant l'air à l'entrée turbine aux conditions :
($P_3 = 3,8$ bars ; V_3 ; $T_3 = 100^\circ\text{C}$) L'échange thermique est considéré isochore.
Le rendement de l'échange sera supposé égal à 60%.
- Détente isentropique en turbine amenant l'air vers la cabine.
($P_4 = 1$ bar ; V_4 ; T_4)

Remarque : le débit massique du prélèvement « bleed » est de 8 kg/s,

Question 2-1

Tracer qualitativement le diagramme P,V de cette évolution.

Expliquer comment la pression cabine est maîtrisée, notamment quel est le rôle des vannes de pressurisation installée dans le fond de la cabine. Proposez des schémas de principe.

Question 2-2

Déterminer la température T_2 . Justifier.

Question 2-3

Préciser pourquoi la pression a chuté lors du passage dans l'échangeur thermique.

Déterminer le travail équivalent à cette chute de pression. ($\Delta p = 0,2$ bars)

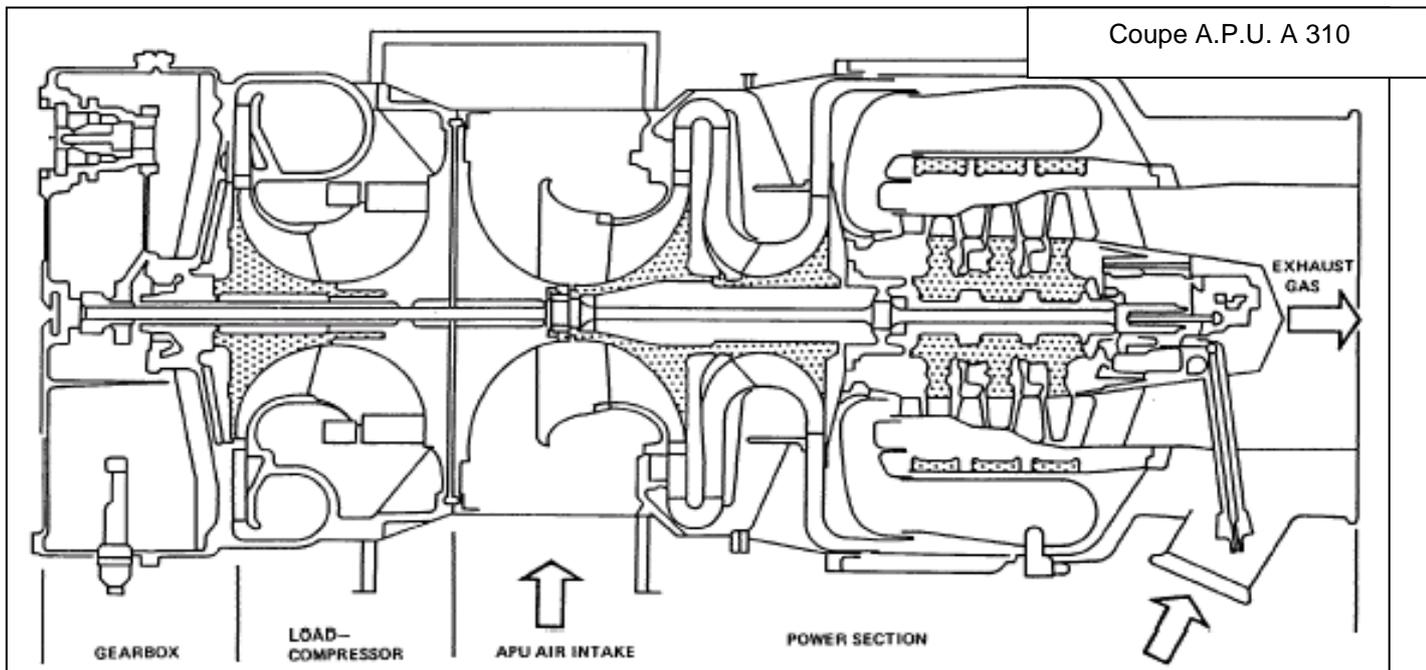
Considérer des temps de 1 seconde.

Question 2-4

Avec les conditions précédentes et si le débit massique du prélèvement « bleed » est de 8 kg/s, déterminer le débit massique correspondant à l'écoulement dans la rampe air (air extérieur) engendré par la roue ventilateur.

On prendra l'hypothèse que l'échange thermique s'effectue en conditions moyennes (avec un rendement de 60%)

Problème 3 : Etude d'un APU A310 (Honeywell)



Question 3-1

A partir de la figure ci-dessus : Expliquer la fonction de chacun des trois compresseurs centrifuges

Question 3-2

Caractériser par un croquis significatif l'écoulement de l'air dans la chambre de combustion.

De quel type de chambre s'agit-il ?

Que représente la dilution au sein de cette chambre ?

Question 3-3

L'APU est-il un élément propulsif de l'aéronef ? Expliquer.

Comment s'appelle la poussée qu'il peut fournir ?

Question 3-4

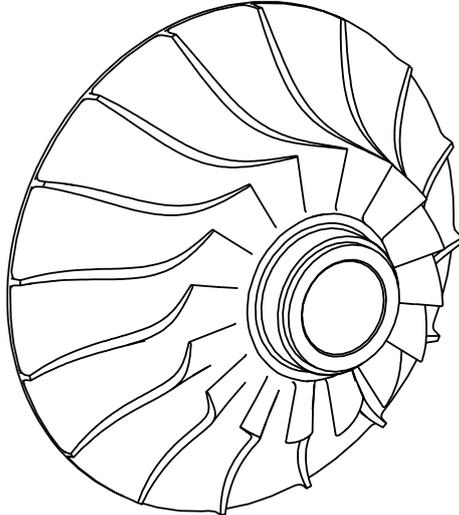
Que représente l'E.G.T. ? Est-ce un paramètre de conduite important de l'APU ? Justifiez.

Question 3-5

Caractériser les variations de direction de l'écoulement d'air dans un compresseur centrifuge ainsi que dans le stator associé.

Représenter les différents vecteurs vitesse sur les figures appropriées.

Roue centrifuge (rotor)



Stator associé

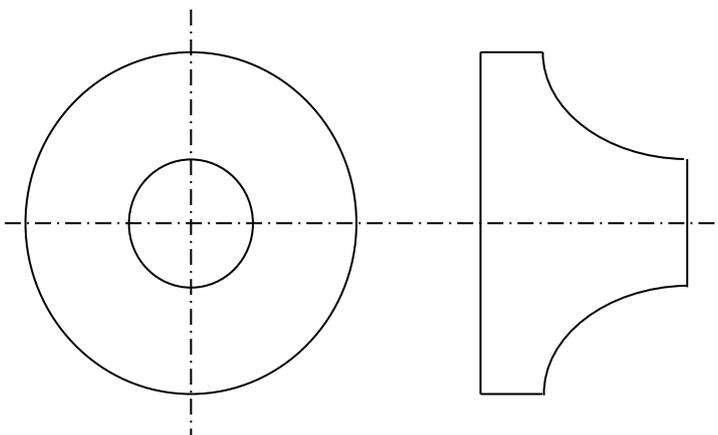


Pour cela, proposez une schématisation plane, dans laquelle vous montrerez clairement les vecteurs vitesses et notamment leurs directions respectives (axiales, radiales, tangentiels, etc...)

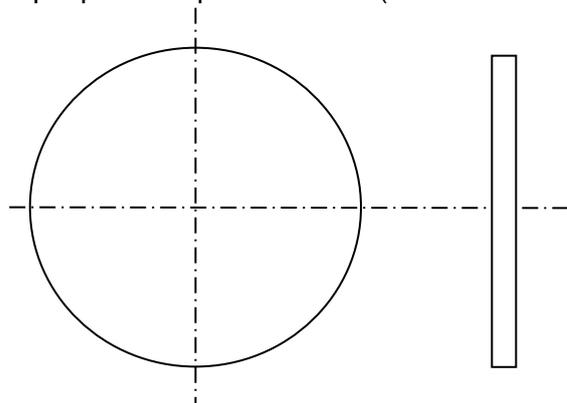
Faire deux vues pour le rotor et deux vues pour le stator. Soignez vos croquis.

Exemple possible pour le rotor

(à tracer et à compléter par la mise en place et la désignation des vecteurs sur votre copie)



Exemple possible pour le stator (à tracer et à compléter sur votre copie)



Problème 4 : Vocabulaire technique zone turbine

A partir de la figure ci-dessous,
proposer une désignation logique (un nom de pièce) pour les différents repères.

On donne le repère 20 : Chambre de combustion.

