

BTS

MAINTENANCE ET EXPLOITATION DES MATERIELS AERONAUTIQUES

EPREUVE E 3

SOUS EPREUVE U 31

**THERMODYNAMIQUE
&
THERMOPROPULSION**

SESSION 2008

Durée : 4 heures

Coefficient : 2

Calculatrice autorisée

BTS MAINTENANCE ET EXPLOITATION**DES MATERIELS AERONAUTIQUES****SOUS EPREUVE U 31
SESSION 2008****PARTIE THERMODYNAMIQUE****Durée Conseillée : 2 heures****Coefficient : 1**

Seules les calculatrices sont autorisées. Les deux problèmes sont indépendants.

Barème : Problème 1 : 10 points
 Problème 2 : 10 points

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

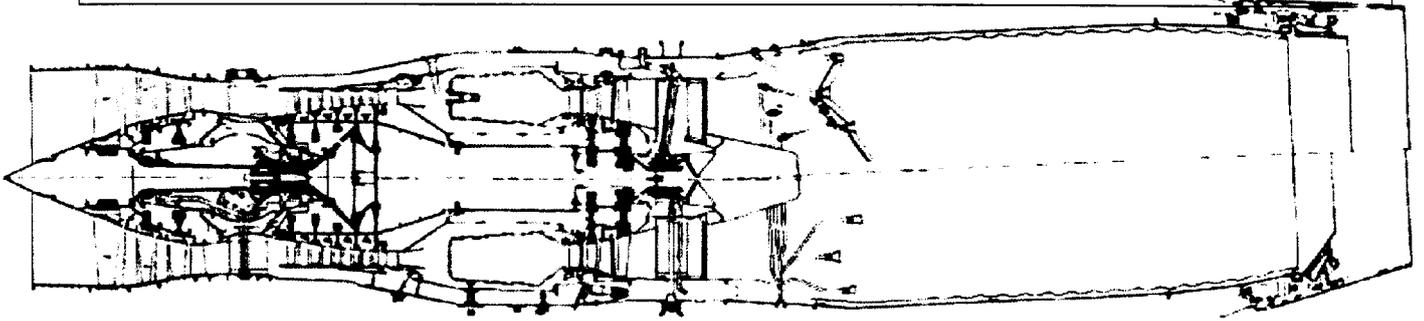
Masse volumique de l'air en conditions ISA : $\mu_{\text{air}} = 1,225 \text{ kg / m}^3$

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 théorique 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

2 Points

Tracer qualitativement le diagramme P,V du cycle complet (flux primaire seulement)

Calculer le nombre de moles qui transitent dans chaque flux en considérant un temps de 1s.

Question 1-2

1,5 Points

Calculer la température T_2 à la sortie du compresseur HP.

Préciser sur le diagramme PV de la question précédente ce que représente le travail équivalent à la compression.

Question 1-3

1,5 Points

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

1 Point

Si le taux de détente en turbine équivaut à 70% du taux de compression des étages compresseur, déterminer la température T_4 .

Question 1-5

2 Points

Si la variation d'enthalpie au niveau de la postcombustion est $\Delta H = H_5 - H_4 = 40,33 \cdot 10^6\text{ J}$

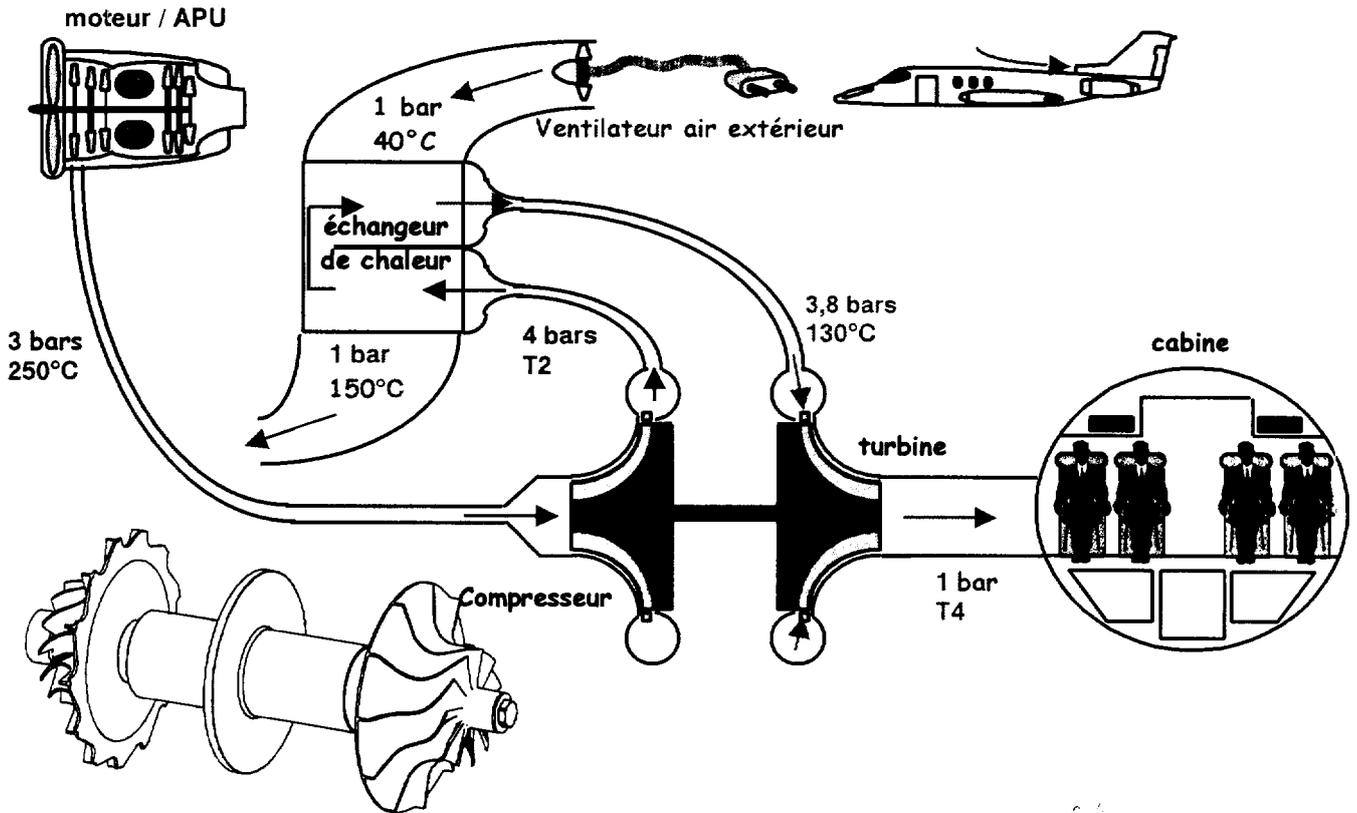
Déterminer la chaleur transmise aux gaz lors de cette phase . En déduire T_5 . Justifiez vos calculs.

Question 1-6

2 Points

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

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

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


Tirage du Noir et Blanc

Le cycle étudié dans ce problème correspond à désigne également sous le nom de prélèvement d'air de la cabine via une turbomachine et par cc

ent

Voici les étapes de cette évolution qui ne compo

- Prélèvement isobare amenant la masse d'air
($P_1 = 3 \text{ bars}$; V_1 ; $T_1 = 250^\circ\text{C}$)
- Compression isentropique amenant l'air en sc
($P_2 = 4 \text{ bars}$; V_2 ; T_2)
- Passage dans un échangeur de chaleur amenant l'air à l'entrée turbine aux conditions :
($P_3 = 3,8 \text{ bars}$; 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.
($P_4 = 1 \text{ bar}$; V_4 ; T_4)

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

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 : $\mu_{\text{air}} = 1,225 \text{ kg / m}^3$

Pour un gaz parfait diatomique : $\gamma = C_p / C_v = 1,4$

Question 2-1**2 Points**

Tracer qualitativement le diagramme P,V de cette évolution.
Tracer le diagramme entropique équivalent.

Question 2-2**1 Point**

Déterminer la température T2. Justifier.

Question 2-3**2 Points**

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**2 Points**

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 ram 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%)

Question 2-5**1 Point**

En partant de la relation d'adaptation turbine / compresseur et en considérant un rendement mécanique égal à 1 :
Déterminer la température T4. Justifier.
Risque t-on le givrage en sortie turbine.

Question 2-6**2 Points**

Si la cabine possède un volume de 90 m^3 , et en considérant que l'on s'y trouve à 28°C et que seul l'air chaud est évacué par les vannes de pressurisation, combien de temps se sera écoulé avant que la cabine soit régulée à 22°C .
On considèrera que les échanges de chaleur entre les masses d'air froides (T_4) et chaudes (28°C) sont parfaits (rendement = 1) et réalisés de façon homogène pour l'ensemble de la cabine.

Le débit massique du système de conditionnement d'air est maintenu constant à 8kg/s.

La régulation de la cabine peut-être considérée isobare et conforme à un calorimètre parfait.

BTS MAINTENANCE ET EXPLOITATION**DES MATERIELS AERONAUTIQUES****SOUS EPREUVE U 31
SESSION 2008****PARTIE THERMOPROPULSION****Durée Conseillée : 2 heures****Coefficient : 1**

Seules les calculatrices sont autorisées. Les deux problèmes sont indépendants.

Barème : Problème 3 : 13 points
 Problème 4 : 7 points

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.
Les croquis devront être soignés.

Problème 3 : Etude d'un turbofan

Représentation en coupe page suivante

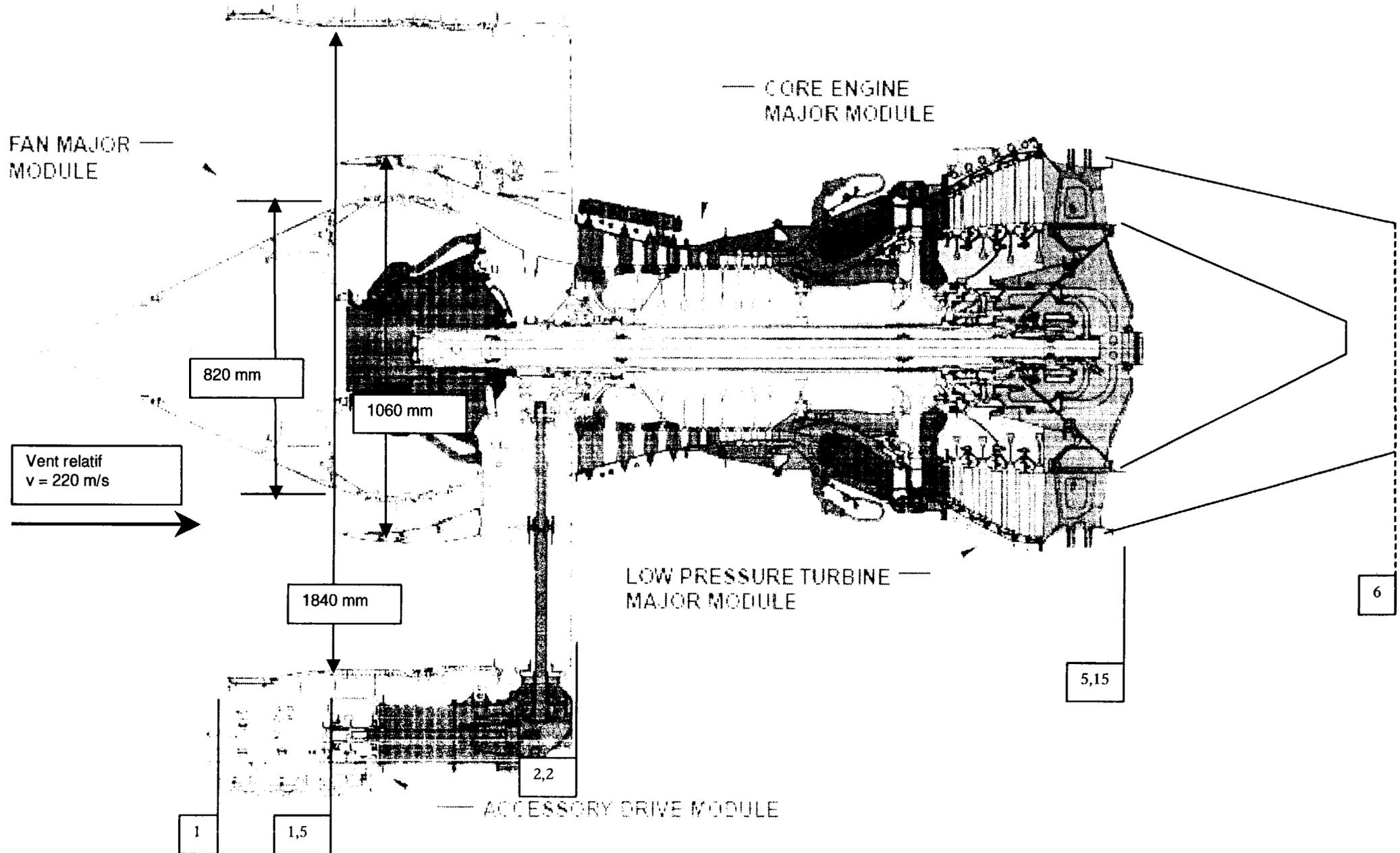
Données :

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 : $\mu_{\text{air}} = 1,225 \text{ kg / m}^3$

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



Question 3-1 **3 Points**

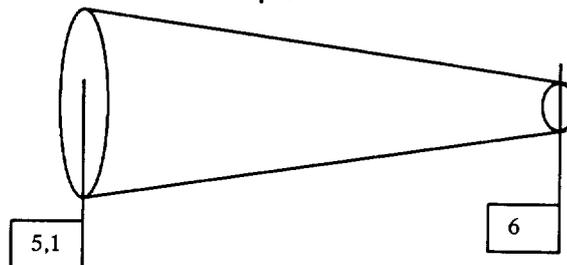
A partir du schéma précédent, déterminer les caractéristiques de base de ce turbofan, précisez notamment :
 - le nombre de flux
 - le nombre de corps
 - le nombre d'étages compresseur HP, BP et de turbines associées pour chaque corps.

Question 3-2 **2 Points**

En considérant que seul le vent relatif provoque l'entrée de l'air dans la turbomachine, calculer les débits massiques des différents flux ainsi que le taux de dilution correspondant.
 Utiliser les diamètres mentionnés sur le plan en coupe.
 On considèrera une masse volumique de l'air corrigée en fonction d'une altitude de vol de 30 000 pieds.

Question 3-3 **3 Points**

On donne les conditions aux différentes sections :
 Section 1 : P_{s1} équivalente à 30000 pieds ; $v_1 = 220$ m/s ; $T_1 = 228$ K
 Section 1,5 → séparation des flux.
 Section 2,2 → sortie secondaire $v_{2,2} = 270$ m/s
 Section 6 → sortie primaire équivalente à 420 m/s ; $T_{5.1} = 973$ K ; $S_6 = 282\,743$ mm²
 La tuyère convergente montée à l'arrière du moteur est telle que :



Calculer les termes réacteur et fusée de la poussée du flux primaire (chaud)
 Considérer $Q_c = 0,71$ kg/s (débit carburant)
 Calculer la poussée brute secondaire (flux froid)
 Calculer la poussée totale ainsi obtenue (poussée de culot négligée)

Question 3-4 **1 Point**

Donner la formulation de la poussée de culot avec ses unités.

Question 3-5 **1 Point**

Calculer la consommation spécifique dans les conditions ci-dessus (négliger toutefois la poussée de culot)

Question 3-6 **1 Point**

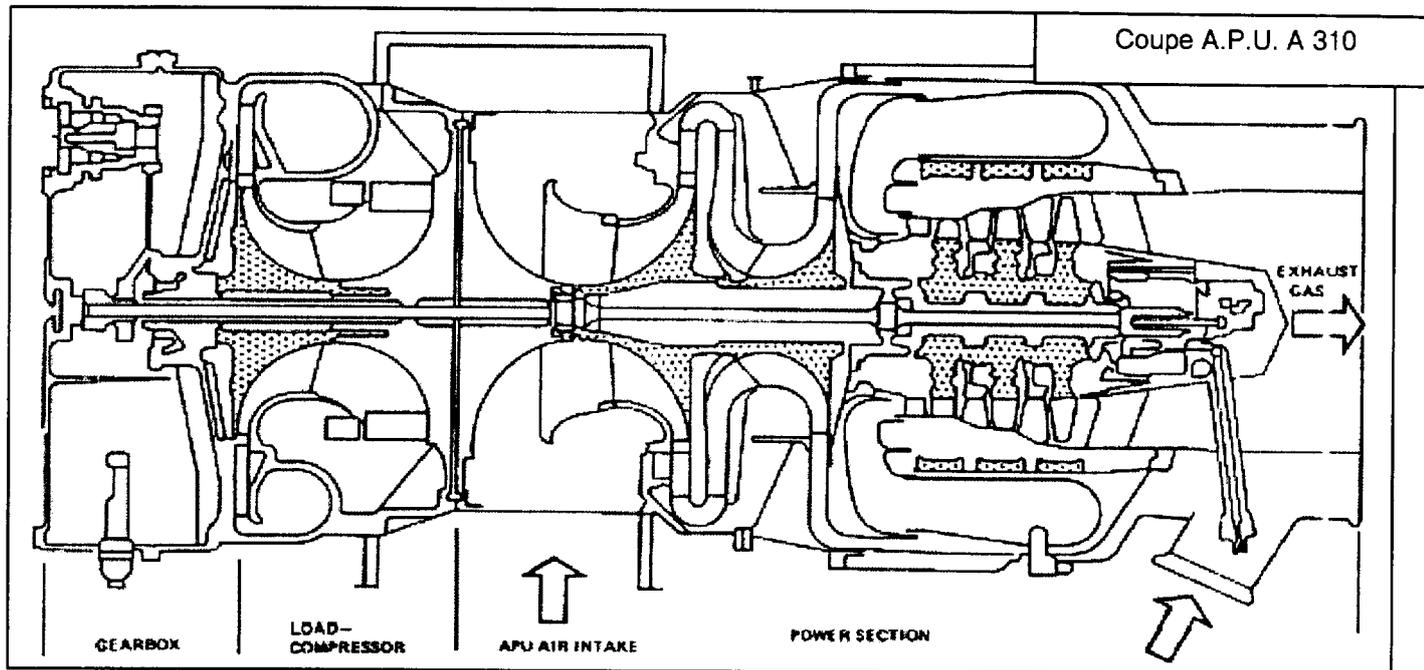
En considérant les conditions sol (atterrissage) justifiez la présence des inverseurs de poussée sur le flux secondaire froid uniquement.

Question 3-7 **2 Points**

Caractériser par un tableau intégrant la formulation et les unités, les différentes puissances et rendements d'une telle turbomachine (considérer les puissances calorifiques, thermodynamiques (théoriques), thermiques (réelles) et de propulsion ainsi que les pertes par tourbillons)

Evaluer le rendement global moyen d'un tel turbofan.

Problème 4 : Etude d'un APU

**Question 4-1****1 Point**

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

Question 4-2**1 Point**

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 4-3**1 Point**

L'APU est-il un élément propulsif de l'aéronef ? Expliquer.
Comment s'appelle la poussée qu'il peut fournir ?

Question 4-4**1 Point**

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

Question 4-5**1 Point**

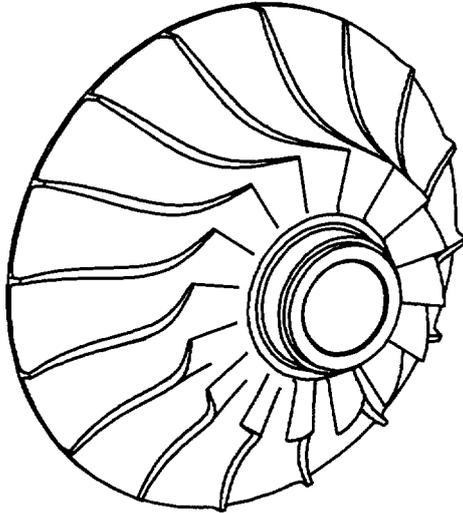
Qu'est-ce que le fluage ? Quel élément mécanique est fréquemment soumis au fluage dans une turbomachine ?
Quels sont les matériaux et les procédés d'obtention qui permettent de lutter contre ce fluage ?

Question 4-6 **2 Points**

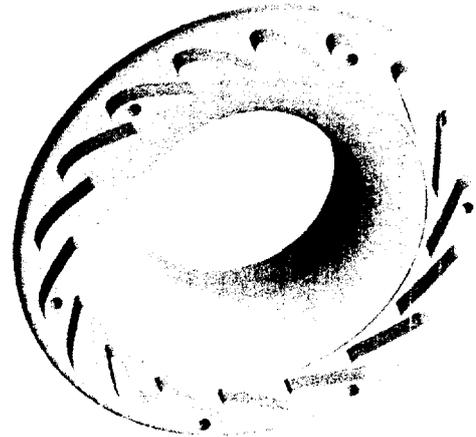
Caractériser les variations de direction de l'écoulement d'air dans un compresseur centrifuge ainsi que dans le stator associé.

Représenter les différents vecteurs vitesse sur des figures planes appropriées.

Roue centrifuge (rotor)



Stator associé

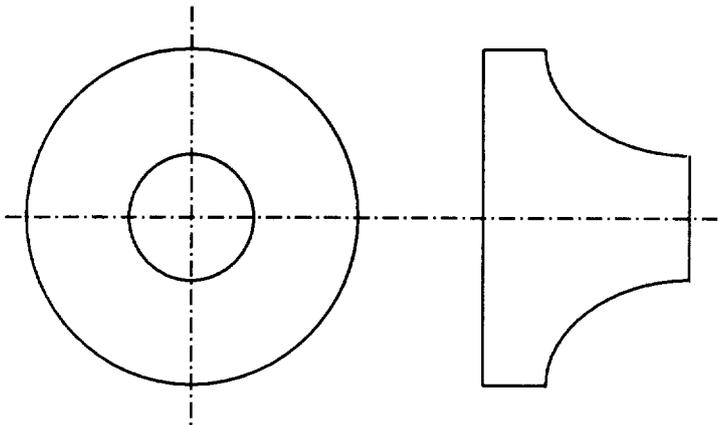


Pour cela, proposez une schématisation plane, dans laquelle vous montrerez clairement les vecteurs vitesses et notamment leurs directions respectives (axiales, radiales, tangentiels, etc...)

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)

