

BTS
MAINTENANCE ET EXPLOITATION
DES MATÉRIELS AÉRONAUTIQUES

ÉPREUVE E 3

SOUS ÉPREUVE U 31

THERMODYNAMIQUE
&
THERMOPROPULSION

SESSION 2005

Durée : 4 h

Coefficient : 2

Calculatrice non programmable autorisée

BTS MAINTENANCE ET EXPLOITATION DES MATERIELS AERONAUTIQUES

Sous Epreuve U 31

SESSION 2005

Partie THERMODYNAMIQUE

Durée conseillée : 2 heures

Coefficient : 1

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

Barème : Problème 1 : 13 points

Problème 2 : 7 points.

Lors de la correction, il sera tenu compte de la clarté du raisonnement et du fait que la totalité du raisonnement et des calculs apparaît ou non sur la copie, surtout lorsque le résultat est suggéré.

DONNEES :

- * Constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$.
- * Pour un gaz parfait diatomique : $\gamma = C_p / C_v = 1,4$.
- * Masse volumique normale de l'air : $\mu_0 = 1,3 \text{ kg.m}^{-3}$.
- * Volume molaire normal de l'air : $V_0 = 22,4 \text{ L.mol}^{-1}$.
- * Chaleur latente de vaporisation l'eau : $L_v = 2450 \text{ J.g}^{-1}$ à 27°C
- * $1 \text{ Ch} = 736 \text{ W}$.
- * Pression de vapeur saturante de l'eau : $p_s = 37 \text{ hPa}$
- * Masse molaire de l'eau $M_{\text{H}_2\text{O}} = 18 \text{ g.mol}^{-1}$.
- * Pouvoir calorifique du carburant : 48000 kJ.kg^{-1}

PROBLEME 1 : Etude théorique d'un turbomoteur.

A :

Le fonctionnement théorique d'un turbomoteur peut être décrit à l'aide du cycle de Joule, composé de deux adiabatiques séparées par deux isobares. Le fluide décrivant le cycle est l'air qui sera considéré ici comme un gaz parfait. Il subit les transformations suivantes :

- Une compression adiabatique réversible (dans les deux compresseurs) fait passer l'air de l'état A (P_1, V_1, T_1) à l'état B (P_2, V_2, T_2). $P_1 = 1 \text{ bar}$; $T_1 = 0^\circ\text{C}$.
- Un échauffement isobare fait passer l'air de l'état B (P_2, V_2, T_2) à l'état C (P_3, V_3, T_3) lors de la combustion du carburant qui est injecté dans la chambre de combustion. On prendra $T_3 = 1504^\circ\text{C}$
- L'air se détend ensuite de façon adiabatique réversible en actionnant la turbine. Il passe ainsi de l'état C (P_3, V_3, T_3) à l'état D (P_4, V_4, T_4).
- L'air subit enfin un refroidissement isobare qui l'amène de l'état D à l'état A. Tout se passe comme si l'air subissait un refroidissement isobare pour rentrer dans le cycle en cédant au milieu extérieur une quantité de chaleur irrécupérable. En réalité, c'est de l'air frais qui est utilisé.

Question A-1 :

Représenter le cycle dans un diagramme en coordonnées de Clapeyron : , puis dans un diagramme entropique : . Préciser ce que représentent les aires de ces deux cycles.

Question A-2 :

- Etablir l'expression du rendement théorique de ce cycle en fonction des températures T_1, T_2, T_3, T_4 .
- En déduire l'expression de ce rendement théorique en fonction de $x = P_2 / P_1$ et de $\gamma = C_p / C_v$. On prendra $\gamma = 1,4$. (C_p et C_v sont les capacités calorifiques molaires du gaz, respectivement à pression constante et à volume constant. Elles seront supposées indépendantes de la température et de la pression).

Question A-3 :

- Calculer le rendement théorique de ce cycle pour $x = 24$.
- Calculer le rendement réel sachant qu'il est égal à 52 % du rendement théorique.

Question A-4 :

On appelle d le débit du turbomoteur (c'est la masse d'air qui traverse le turbomoteur en une seconde) $d = 75 \text{ kg.s}^{-1}$.

- Après avoir calculé T_2 , calculer la quantité de chaleur reçue par l'air en une seconde au cours de la phase BC du cycle.
- En déduire la puissance développée par le moteur, l'exprimer en unités du système international et en Ch.
- Calculer la consommation horaire de ce moteur

B :

Ce turbomoteur possède maintenant un système de postcombustion. Le cycle décrit par le fluide devient :

- $A' \rightarrow B'$: transformation identique à la transformation AB précédente.
- $B' \rightarrow C'$: transformation identique à la transformation BC précédente.
- $C' \rightarrow E$: détente adiabatique réversible. Les grandeurs caractérisant les états A', B', C' sont les mêmes que celles caractérisant les états A, B, C . Les grandeurs caractérisant l'état E sont : $P_5 > P_1, V_5, T_5$
- $E \rightarrow F$: nouvel échauffement isobare dans une deuxième chambre de combustion où l'on a injecté du carburant (postcombustion). Les grandeurs caractérisant l'état F sont : $P_6 = P_5, V_6, T_6 = T_3$
- $F \rightarrow G$: deuxième détente adiabatique réversible qui augmente encore la vitesse d'éjection des gaz. Les grandeurs caractérisant l'état G sont : $P_7 = P_1, V_7, T_7$.
- $G \rightarrow A'$: transformation équivalente à un refroidissement isobare

Question B-1 :

- Représenter le nouveau cycle dans un diagramme en coordonnées de Clapeyron : .
- Indiquer les avantages que présente un tel turbomoteur par rapport à celui étudié dans la partie A du problème. Justifier brièvement sans faire de calculs.

Question B-2 :

- **Etablir** l'expression du rendement théorique de ce deuxième cycle en fonction des températures T_1, T_2, T_3, T_5, T_7 , puis en fonction de $T_1, T_3, x = P_2 / P_1, y = P_2 / P_5$ et $\gamma = C_p / C_v$.
- On montre que la puissance est maximale quand $y = \sqrt{x}$. **Calculer** ce rendement théorique avec la valeur de P_5 qui vérifie cette condition.

Question B-3 :

- **Calculer** la température T_5 .
- **Calculer** la quantité de chaleur reçue par le fluide en un seconde. . Le débit d est égal à 75 kg.s^{-1} .
- **Calculer** la consommation en carburant de ce turbomoteur. Elle sera exprimée en kg.h^{-1} .

Question B-4 :

Le turbomoteur fonctionne dans les conditions évoquées ci-dessus. La puissance délivrée est alors égale à $\mathcal{P} = 39500 \text{ kW}$.

- **Calculer** le rendement réel du turbomoteur.
- Les résultats confirment-ils les remarques faites à la question **B-1** ? Comparer les rendements de ces deux moteurs .

PROBLEME 2 : Etude d'un mélange air / eau.

Dans un récipient cylindrique, fermé par un piston, on a introduit de l'air considéré comme gaz parfait diatomique et, un gramme d'eau. A l'état A, l'ensemble est en équilibre, la pression du mélange dans le cylindre est égale à $P_1 = 1 \text{ bar}$, le volume du mélange est $V_1 = 0,100 \text{ m}^3$ et sa température est $T_1 = 27 \text{ }^\circ\text{C}$.

On supposera dans tout l'exercice que :

- Le volume occupé par l'eau liquide, si elle est présente dans le cylindre, est négligeable devant le volume occupé par la phase gazeuse.
- La vapeur d'eau, sèche, se comporte comme un gaz parfait.

Question 1 :

Quelle est la composition du mélange dans l'état A ? On donnera les quantités de matière en moles et on précisera si possible les masses de chacun des constituants dans chacune des phases.

Question 2 :

On enfonce lentement le piston jusqu'à ce que le volume devienne égal à $V_2 = 10 \text{ L}$. C'est l'état B. Le mélange a ainsi subi une compression isotherme réversible. Quelle est la composition du mélange dans l'état B ? On donnera les quantités de matière en moles et on précisera si possible les masses de chacun des constituants dans chacune des phases. Calculer P_2 .

Question 3 :

Calculer le travail et la quantité de chaleur échangés entre le mélange et le milieu extérieur lors de la transformation.

Question 4 :

Calculer les variations d'énergie interne et d'entropie subies par le mélange au cours de cette transformation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
MAINTENANCE ET EXPLOITATION DES MATÉRIELS AÉRONAUTIQUES

SESSION 2005

Sous épreuve U 31

THERMODYNAMIQUE - THERMOPROPULSION

Partie THERMOPROPULSION

Durée conseillée: **2h00**

Coefficient : **1**

Tous documents interdits
Calculatrice totalement inutile

Le sujet porte sur l'analyse d'un incident survenu en 1984 à un B737 de la compagnie allemande Gutflied au cours de son décollage de l'aéroport de Frankfort sur le Rhin.

Vous trouverez, pour répondre aux questions posées, un compte-rendu d'incident et le rapport d'expertise du moteur incriminé.

Les questions sont indépendantes, il est donc possible d'y répondre dans un ordre quelconque, à conditions toutefois, d'identifier clairement le numéro de la question traitée.

INCIDENT

survenu à l'avion de type B737 immatriculé D-ABFW

Evénement :	Décollage interrompu avant V_1 .
Cause identifiée :	Ingestion de FOD dans le moteur n°2.

Conséquences et dommages : Moteur n°2 sérieusement endommagé, vol annulé.

Type d'aéronef : BOEING type 737, modèle -200.

Date et heure : 21 mai 1984.

Propriétaire : Compagnie Gutfliieg.

Lieu : Frankfort, piste revêtue 070, LDA : 3200m.

Nature du vol : Commercial à destination de Varsovie.

Personnes à bord : 72 passagers + 6 membres d'équipage.

Conditions météorologiques : vent 030° / 10 à 15 kt, visibilité supérieure à 10 km, SCT à 4000 pieds, FEW à 9000 pieds, température 23°C.

Circonstances

Environ 10 secondes après la mise en puissance des deux moteurs, l'équipage a indiqué avoir ressenti une nette secousse dans l'appareil, suivie de deux autres moins fortes avant de perdre la poussée du moteur n°2. Les secousses étaient accompagnées de détonations sourdes caractéristiques d'un pompage moteur. L'événement s'étant produit avant V_1 , le pilote en fonction a interrompu le décollage et a effectué un arrêt d'urgence sans inversion de poussée. L'avion s'est immobilisé avant le bout de piste et il n'a été dénombré aucun blessé à bord.

Le retour au parking s'est fait sur le moteur n°1 uniquement puisque le moteur n°2 a été stoppé par le pilote non en fonction après l'arrêt de l'avion sur la piste 070.

Les paramètres du moteur n°2, relevés au cours de l'événement, furent une élévation brutale de l'EGT, une chute de l'EPR, une diminution du N_1 ainsi qu'un niveau de vibration important sur le moteur concerné. Le pilote en fonction a procédé à une réduction des gaz compte tenu de la persistance des détonations. Il a ensuite été décidé d'éteindre le moteur n°2 dont l'EGT, le Fuel Flow et les vibrations étaient restés anormalement élevés malgré les conditions de ralenti.

RAPPORT D'EXPERTISE MOTEUR PRATT & WHITNEY JT8D 15 A DU B737 LFT D-ABFW

INSPECTION VISUELLE

L'inspection visuelle du moteur n°2 du B737 immatriculé D-ABFW a été effectuée par des techniciens de la compagnie dans l'heure qui a suivi l'incident de décollage.

Il a été constaté, au niveau de l'entrée d'air, des dégâts importants concernant la grille de prérotation, le premier étage du fan et les parois intérieures de l'entrée d'air. De même, des restes de plumes ont été retrouvés collés sur les panneaux acoustiques. De façon détaillée, il est fait état des dégradations suivantes :

- Le cône central d'entrée compresseur est enfoncé et présente des traces de frottement.
- Les 2 aubages de prérotation situés entre 4h et 5h sont tordus et enfoncés. L'un d'eux a visiblement perdu de la matière par arrachement au niveau de son bord de fuite (frottement sur la grille mobile du premier étage du fan).
- Toutes les ailettes mobiles du premier étage du fan sont marquées d'impacts plus ou moins profonds, les bords d'attaque sont entaillés et 4 ailettes présentent des profils nettement déformés.

INSPECTION ENDOSCOPIQUE

Une inspection endoscopique a, de ce fait, été réalisée afin de compléter les informations déjà acquises. Celle-ci a mis en évidence les points suivants :

- Le deuxième étage du fan présente des traces évidentes de passage de corps durs avec érosion des bords d'attaque et quelques ailettes déformées mais aucune séparation de matière.
- Les 4 étages du compresseur basse pression présentent des traces évidentes de passage de corps durs, des bords d'attaques entaillés mais aucune séparation de matière.
- Les 7 étages du compresseur haute pression présentent des traces évidentes de passage de corps durs, des bords d'attaques entaillés mais aucune séparation de matière.
- Le tube à flamme présente un encrassement anormal mais aucune crique apparente ni pertes de matière.
- L'étage de la turbine haute pression présente des marques profondes d'impacts et la perte partielle d'une aube de stator ainsi que de deux ailettes mobiles côte à côte. Les orifices de circulation d'air des ailettes mobiles sont plus ou moins encrassés voire obstrués. De nettes traces de surchauffe apparaissent en surface de plusieurs ailettes.
- Les trois étages de la turbine basse pression sont sérieusement marqués au niveau du bord d'attaque des ailettes mobiles et fixes, côté carter.

CONCLUSION

Le moteur JT8D 15 A, qui est équipé d'une régulation tachymétrique à boucle basée sur le N₂, a visiblement été victime d'un impact d'origine aviaire, suivi d'une ingestion, ayant provoqué de nombreuses dégradations frontales et internes. Le décollage a été interrompu à juste titre ainsi que le vol.

QUESTIONS A TRAITER

I – GENERALITES ET DEFINITIONS

1. Donner un schéma du moteur JT8D 15 A à l'aide de toutes les indications fournies dans le rapport d'incident et le compte rendu d'expertise. Préciser ses caractéristiques générales.
2. Donner la signification des sigles suivants ainsi qu'une explication succincte :
 - FOD,
 - EGT,
 - EPR,
 - N_1

II – ANALYSES DE L'INCIDENT

1. Pourquoi l'ingestion d'un oiseau peut-elle déclencher le pompage d'un turboréacteur ?
2. Expliquer le phénomène du pompage en général.
3. Justifier l'évolution des paramètres du moteur n°2 pendant l'incident relaté précédemment.
4. Pourquoi le pilote a-t-il procédé à une réduction des gaz lorsqu'il a constaté la persistance des détonations du moteur en défaut, et quelle action supplémentaire aurait-il pu effectuer ?
5. Quel peut être l'effet majeur, sur l'écoulement qui traverse le compresseur, d'une ailette déformée, tordue et dont le bord d'attaque est entaillé ? Un schéma peut être utilisé pour éclairer vos explications.
6. Quelles sont les deux options offertes pour remédier aux entailles relevées au niveau du bord d'attaque d'une ailette mobile de compresseur ?
7. Quel est le rôle des orifices de circulation d'air sur les ailettes mobiles de la turbine haute pression ? Justifier votre réponse.
8. A partir du rapport, émettre des hypothèses sur la ou les causes de l'EGT et des vibrations anormalement élevées que l'équipage a relevées lorsque le moteur tournait au ralenti après l'incident ?
9. Quelle est votre décision quant à l'avenir de ce moteur ?

III – QUESTIONS TECHNIQUES

1. Quels sont les rôles d'un tube à flamme ?
2. Comment lubrifie-t-on un roulement dans une turbomachine ? Donner le principe à l'aide d'un schéma légendé.
3. Comment est-on informé d'une rupture de l'arbre d'entraînement de la pompe d'alimentation du circuit d'huile en vol ? Donner l'emplacement de cette pompe et son mode d'entraînement.