

3.2 Association de machines élémentaires vers une machine réelle

Version Résolution de problème

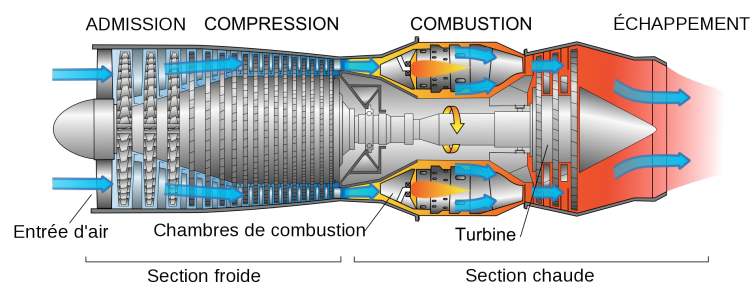
On observe la machine thermique exposée dans la photo de gauche ci-dessous



1. repérer les différents éléments qui composent cette machine thermique, en déduire son utilité
2. déterminer ses paramètres de fonctionnement

Version Problème guidé

Voici le schéma de principe du fonctionnement du turbo-réacteur



1. Faire un schéma de toutes les machines élémentaires qui composent le turbo-réacteur.
2. Tracer un diagramme $(\ln(p), h)$ (ou diagramme des frigoristes) sur lequel on repèrera à l'aide des questions suivantes les états de l'air qui s'écoule à travers le turbo-réacteur par les numéros 1, 2, 3, 4 et 5.

Placer par ordre croissant ces numéros avant, entre, et après les machines élémentaires dessinées à la question précédente.

3. A l'entrée du turbo-réacteur (état 1) :
 - Donner la pression p_1 et la température T_1 de l'air en unité S.I.
4. De l'état 1 à l'état 2 : l'air subit une compression adiabatique réversible jusqu'à une pression $p_2 = 10 \text{ atm}$.
 - Calculer la variation d'entropie de la transformation.
 - En faisant l'hypothèse que l'air est un gaz parfait diatomique, utilisez les lois de Laplace pour calculer sa température T_2 à l'état 2

- A l'aide du premier principe industriel relier la variation d'enthalpie au travail utile.
 - En utilisant la définition de la capacité thermique massique à pression constante $\delta q = c_p dT$ avec pour l'air $c_p = 1 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$, et que h ne dépend que de T pour un gaz parfait, calculer le travail utile de cette transformation.
5. A l'état 2 :
- Donner la pression p_2 et la température T_2 de l'air en unité S.I.
 - Tracer la transformation de 1 vers 2 et le point 2 sur le diagramme $(\ln(p), h)$
6. De l'état 2 à l'état 3 : l'air subit une combustion isobare jusqu'à une température $T_3 = 1200 \text{ K}$.
- A l'aide du premier principe industriel relier la variation d'enthalpie au transfert thermique.
 - Calculer le transfert thermique de cette transformation.
7. A l'état 3 :
- Donner la pression p_3 et la température T_3 de l'air en unité S.I.
 - Tracer la transformation de 2 vers 3 et le point 3 sur le diagramme $(\ln(p), h)$
8. De l'état 3 à l'état 4 : l'air subit une détente adiabatique réversible de manière à récupérer le travail utile pour effectuer la compression.
- A l'aide du premier principe industriel relier la variation d'enthalpie au travail utile.
 - A l'aide de la capacité thermique massique à pression constante, calculer la température de l'air T_4 dans l'état 4.
 - Calculer la pression de l'air p_4 dans l'état 4.
9. A l'état 4 :
- Donner la pression p_4 et la température T_4 de l'air en unité S.I.
 - Tracer la transformation de 3 vers 4 et le point 4 sur le diagramme $(\ln(p), h)$
10. De l'état 4 à l'état 5 : l'air subit une détente adiabatique réversible sans travail utile jusqu'à qu'il soit à l'extérieur.
- Calculer la variation d'entropie de la transformation
 - Trouver la pression p_5 de l'air dans l'état 5.
 - Calculer la température T_5 de l'air dans l'état 5.
 - Calculer la variation d'enthalpie de la transformation.
 - A l'aide du premier principe industriel dire à quoi sert cette transformation.
11. A l'état 5 :
- Donner la pression p_5 et la température T_5 de l'air en unité S.I.
 - Tracer la transformation de 4 vers 5 et le point 5 sur le diagramme $(\ln(p), h)$
12. Calculer numériquement le rendement r d'un tel réacteur.
13. Sachant que sa puissance est de 15 MW, calculer le débit massique d'air qui traverse le réacteur.
14. Sachant que l'enthalpie massique de combustion du kérosène est d'environ $\Delta h_{\text{comb.}} = 40 \text{ MJ.kg}^{-1}$, calculer le débit massique de kérosène consommé. Justifier pourquoi les vols commerciaux les plus longs ne dépassent pas les 20 h.
15. Démontrer la relation reliant le rendement r d'un tel réacteur uniquement au taux de compression de l'air par le compresseur. Justifier de l'intérêt d'avoir un taux de compression élevé.
16. Montrer que la puissance est proportionnelle à $(\eta - r)$ avec η le rendement de Carnot, expliquer pourquoi il faut trouver un compromis rendement/puissance lors du dimensionnement d'une machine thermique.