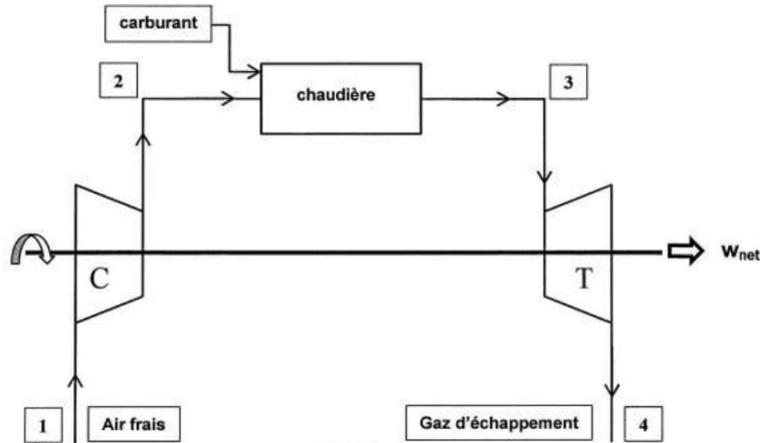


DM 9 – Étude d'une turbine à gaz

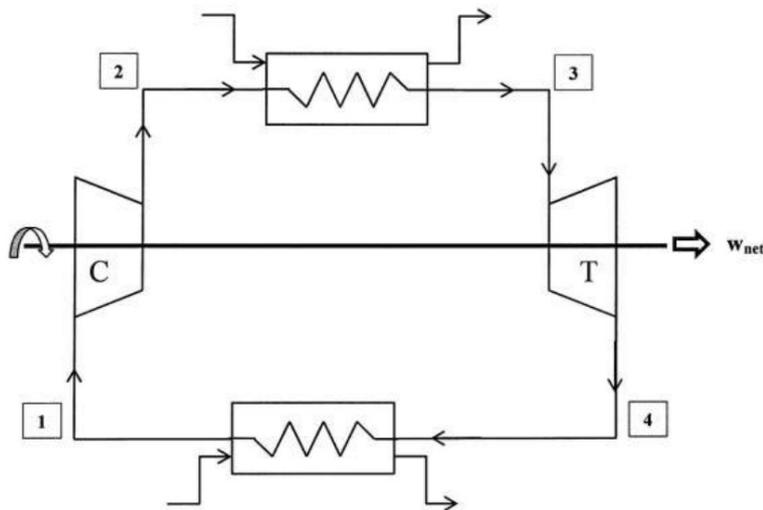
Ce problème étudie le fonctionnement d'une turbine à gaz, dont le schéma de principe est le suivant :



L'air frais pris à l'atmosphère est comprimé à haute pression dans le compresseur (C), puis il est admis dans la chambre de combustion (chaudière). Les gaz chauds résultants de la combustion se détendent alors dans la turbine (T) avant d'être évacués dans l'atmosphère sous forme de gaz d'échappement.

Ceci permet donc, à partir d'énergie thermique fournie par la chaudière, de récupérer un travail sous la forme de la rotation de l'arbre de la turbine. Une partie de ce travail est utilisée pour entraîner le compresseur, l'autre partie, que l'on notera w_{net} , est utilisée selon les besoins pour lesquels la machine est conçue : par exemple pour entraîner un alternateur pour produire de l'électricité s'il s'agit d'une centrale thermique, ou pour entraîner une hélice de propulsion.

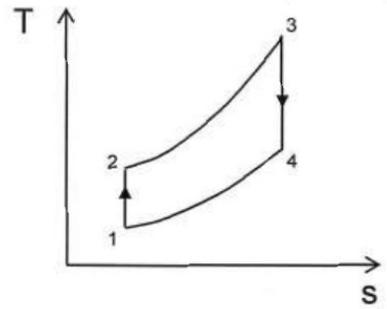
Le cycle ouvert présenté dans la première figure peut être modélisé par le cycle fermé suivant :



Les évolutions de compression et de détente restent inchangées. Le phénomène de combustion est remplacé par une évolution d'échange de chaleur à pression constante avec une source de chaleur externe. L'échappement des gaz brûlés et l'admission d'air frais est remplacé par une évolution d'échange de chaleur à pression constante avec le milieu extérieur.

On effectue un certain nombre d'hypothèses afin de pouvoir étudier simplement le cycle. En particulier, on suppose que l'air subit une succession de 4 évolutions réversibles au cours du cycle, qui sont également tracées sur le diagramme $T-s$:

- Au point 1 l'air entre dans le compresseur pour y subir une compression isentropique jusqu'au point 2.
- Entre les points 2 et 3 l'air échange de la chaleur avec un fluide extérieur dans un échangeur de chaleur isobare modélisant la chaudière.
- Au point 3 l'air entre dans la turbine pour y subir une détente isentropique jusqu'au point 4.
- Entre les points 4 et 1 l'air échange de la chaleur avec l'atmosphère dans un échangeur de chaleur isobare. L'air du cycle est ainsi refroidi.



On utilise le modèle du gaz parfait pour l'air. L'exposant adiabatique est $\gamma = 1.4$ supposé constant, et la capacité thermique massique à pression constante $c_p = 1.0 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ est également supposée indépendante de T .

Étude des différentes étapes

- 1 - Tracer l'allure du cycle dans le diagramme $p-v$. Les sens de parcours des cycles sont-ils cohérents ?
- 2 - Exprimer, en fonction des différentes températures des points 1, 2, 3 et 4 du cycle et de la capacité thermique massique de l'air :
 - a - Les transferts thermiques subis par l'air dans les deux échangeurs de chaleur que l'on notera respectivement q_{23} et q_{41} ;
 - b - le travail massique indiqué, noté w_{12} reçu par l'air en traversant le compresseur ;
 - c - le travail massique w_{34} reçu par l'air en traversant la turbine.
 - d - Exprimer le travail massique w_{net} (défini en début d'énoncé) en fonction des travaux w_{12} et w_{34} .
En déduire une expression de w_{net} uniquement en fonction des différentes températures des points 1, 2, 3 et 4 du cycle et de la capacité thermique massique de l'air.

Expression du rendement et optimisation

- 3 -
 - a - Définir le rendement de l'installation. L'exprimer en fonction des différentes températures des points 1, 2, 3 et 4 du cycle et de la capacité thermique massique de l'air.
 - b - Montrer qu'on peut le mettre sous la forme : $\eta = 1 - \frac{T_1}{T_2}$ (il faut d'abord montrer que $T_2 T_4 = T_1 T_3$).
- 4 - On introduit le taux de compression défini par : $\tau = \frac{p_2}{p_1}$.
 - a - Montrer alors que l'on peut mettre le rendement sous la forme : $\eta = 1 - \frac{1}{z}$ avec z que l'on exprimera uniquement en fonction de τ et du rapport des capacités thermiques à pression et volume constant γ .
 - b - D'après la question précédente, sur quelles grandeurs peut-on influencer pour augmenter le rendement ? Au cours d'une étude de conception du dispositif, quel autre élément faudra-t-il prendre en compte pour concevoir la turbine à gaz ?
- 5 - On choisit de faire fonctionner la turbine entre $T_1 = 300 \text{ K}$ (température de l'air extérieur admis), et $T_3 = 1000 \text{ K}$ (température maximale que peuvent supporter les aubages de la turbine). On choisit également un rapport de compression tel que $z = 2.0$.
On remarque que si on reprend les résultats précédents, on a les relations $T_2 = zT_1$ et $T_3 = zT_4$.
 - a - Donner la valeur numérique du rendement, ainsi que celle du travail massique w_{net} récupéré. Donner la valeur de la puissance correspondante si le débit massique est de 1.0 kg/s .
Cette turbine est utilisée pour produire de l'électricité. Sa puissance correspond-elle à une grosse installation ou un a une installation modeste ?
- 6 - (**question facultative**) À T_3 et T_1 fixées, montrer que le travail w_{net} est maximal pour une valeur de z que l'on déterminera en fonction de T_3 et T_1 . Faire l'application numérique avec les valeurs précédentes.