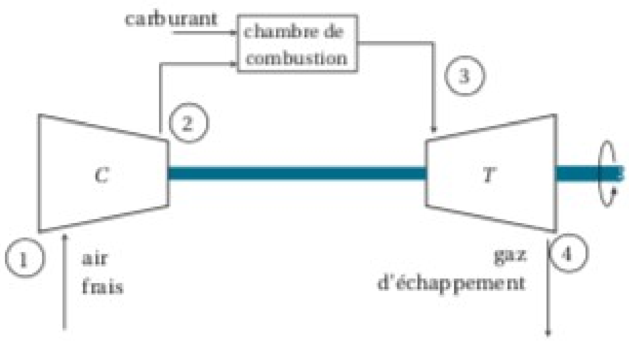
Exercice 6 : Cycle de Brayton

Nous étudions une turbine à gaz servant à la propulsion d'un navire dont le schéma synoptique est donné ci-dessous. Nous modélisons son fonctionnement par un cycle fermé appelé cycle de Brayton idéal.



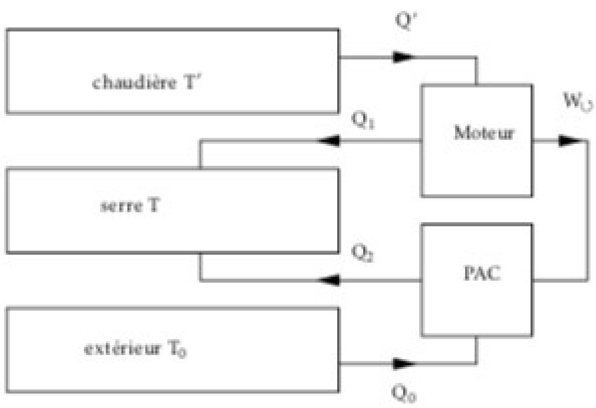
- Le fluide est de l'air.
- Étape $1 \to 2$: compression adiabatique réversible.
- Étape $2 \to 3$: chauffage isobare.
- Étape $3 \to 4$: détente adiabatique réversible.
- Étape $4 \to 1$: refroidissement isobare.

Données :
Température à l'entrée du compresseur : $T_1 = 300\,\text{K}$; pression à l'entrée du compresseur : $P_1 = 1{,}013\,\text{bar}$; pression à la sortie du compresseur : $P_2 = 10\,\text{bar}$; température à l'entrée de la turbine : $T_3 = 1300\,\text{K}$.

1. Déterminer la température de l'air en sortie du compresseur T_2.
2. Déterminer également la température de l'air en sortie de turbine T_4.
3. Déterminer le rapport du travail consommé par le compresseur au travail produit par la turbine.
4. Déterminer le rendement thermique de ce cycle.
5. Déterminer la capacité thermique massique de l'air, en observant qu'elle varie peu sur le domaine de températures considéré. Quelle valeur attendrait-on dans le modèle du gaz parfait ? Quelle serait pour un tel gaz l'équation d'une isotherme ? Ce modèle est-il ici pertinent ? On étudiera en particulier la validité de la loi de Laplace lors de la traversée du compresseur.

Exercice 11 : Couplage pompe à chaleur/moteur de Carnot

Pour maintenir une serre à la température constante T, l'extérieur étant à la température T_0, il faut fournir par jour la quantité de chaleur Q, par exemple par transfert direct depuis une chaudière à la température T'. On propose un autre mode de chauffage utilisant deux machines :



1. un moteur fonctionnant entre la chaudière à T' et la serre à T,
2. une pompe à chaleur entre l'extérieur à T_0 et la serre à T.

Définir et déterminer l'efficacité d'un tel dispositif en supposant que chaque machine fonctionne de manière réversible. On en donnera l'expression en fonction du rendement du moteur r du moteur et de l'efficacité e de la pompe à chaleur, puis en fonction des températures des sources. Comparer à l'utilisation de la chaudière seule.

5.9 Cuisson d'une brioche

Une brioche (B) considérée homogène, isotrope et sphérique (rayon R, centre O) est réchauffée dans un four à micro-ondes. La conductivité thermique de la brioche est notée λ. La conduction thermique est radiale (la seule variable est $r = OM$).

Le four délivre une puissance thermique totale P_{th} constante, entièrement absorbée par la brioche. La puissance volumique p (en $W.m^{-3}$) absorbée par le gâteau est uniforme et constante. La ventilation du four permet d'évacuer la puissance thermique sortant de la brioche dont la paroi externe est ainsi maintenue à la température constante T_0. On se place en régime stationnaire.

1°) Rappeler la loi de Fourier et la relation entre le flux thermique $\Phi_{th}(r)$ à travers la sphère de surface $S(r)$ et la densité de flux thermique $\boldsymbol{j}_{th}(r)$.

2°) Exprimer, en fonction de p et de r, la puissance thermique dP_{th} reçue par l'élément de volume compris entre les sphères de rayons r et $r + dr$. Faire un bilan des puissances thermiques pour cet élément.

3°) En déduire que l'équation différentielle vérifiée par $T(r)$ est de la forme suivante dans laquelle K_1 et K_2 sont des constantes : $\dfrac{dT}{dr} = K_1 r + \dfrac{K_2}{r^2}$.

4°) Quelle relation existe-t-il entre $\Phi_{th}(r)$ et P_{th} ainsi qu'entre p et P_{th}? En déduire K_2.

Changement d'état : L'histoire de Roméo et Juliette

Roméo est de glace : c'est une masse m1 = 70kg d'eau sous forme solide à la température T = 0°C et à la pression P = 1 bar

Juliette est légère : c'est une masse m2 = 10kg d'eau sous forme vapeur à la température T = 120°C et à la pression P = 1 bar

Ils souhaitent être ensemble jusqu'à la fin des temps (c'est-à-dire à l'équilibre thermodynamique) à la pression ambiante.

Où doivent-ils se retrouver ?

Chez les Montaigu (phase solide) ?
Chez les Capulet (phase gaz) ?
Chez le seigneur de Vérone (phase liquide) ?
Ou à une des frontières entre ces régions ?

Données : On prendra les valeurs des enthalpies de changements d'états et des capacités thermiques fournies au début des TD 8 et 9