

TD Thermo

1 Cycles Diesel et Rankine

1.1 Cycle Diesel

Dans le fonctionnement d'un moteur Diesel, tout se passe comme si un système fermé constitué de n moles de gaz parfait diatomique décrivait le cycle ABCD représenté sur le diagramme pression p , volume V de la figure ci-dessous.

- la partie AB du cycle correspond à une compression adiabatique réversible du gaz,
- la partie BC correspond à une détente isobare irréversible du gaz se produisant lors de la combustion du carburant,
- la partie CD correspond à une détente adiabatique réversible du gaz,
- enfin la partie DA correspond à un refroidissement isochore irréversible du gaz

On pose $\tau = \frac{V_A}{V_B}$ le taux de compression, $\delta = \frac{V_C}{V_B}$ $\alpha = \frac{P_B}{P_A}$ le rapport des pressions en B et A .

Le coefficient d'atmicité pour un gaz parfait diatomique vaut $\gamma = 1,4$

1. Tracer l'allure du diagramme de Watt-Clapeyron. Dans quel sens est parcouru le cycle ?
2. Exprimer le rendement ρ du cycle Diesel, défini par $\rho = \frac{-W_{\text{tot}}}{Q_{BC}}$ en fonction des transferts thermiques Q_{BC} et Q_{DA} uniquement.
3. En appliquant la loi de Laplace entre A et B , établir une relation entre α , τ et γ
4. Etablir une relation simple entre P_D , P_A et δ : on montrera que $\frac{P_D}{P_A} = \delta^\gamma$
5. Exprimer les transferts thermiques Q_{BC} et Q_{DA} en fonction des différentes températures T_A, T_B, T_C et T_D . Exprimer alors la rendement en fonction de ces températures (ainsi que de γ)
6. A l'aide de la relation des gaz parfaits, exprimer alors le rendement en fonction de τ , δ et γ .
7. Applications numériques : on donne les valeurs suivantes

	p	V	T
A	10^5 Pa	$2,49 \text{ L}$	300 K
B	$21,7 \cdot 10^5 \text{ Pa}$		
C			2176 K

- (a) Calculer la température T_B au point B
- (b) Calculer la température T_D en D
- (c) Calculer le transfert thermique Q_C reçu par le gaz lors de la phase de combustion BC
- (d) Calculer le transfert thermique Q_F reçu par le gaz lors de la phase de refroidissement DA
- (e) Calculer la valeur numérique du rendement.

1.2 Cycle de Rankine

On rappelle la relation de Zeuner pour un fluide en écoulement stationnaire : $D_m[h]_{\text{in}}^{\text{out}} = \mathcal{P}_{th} + \mathcal{P}_{meca}$ où D_m est le débit de masse (en kg/s) du fluide, h l'enthalpie massique du fluide, $\mathcal{P}_{th}$ est la puissance thermique reçue par le fluide entre l'entrée et la sortie de l'organe et $\mathcal{P}_{meca}$ est la puissance mécanique autre que la puissance des forces de pression reçue entre l'entrée et la sortie.

1. Que signifie « stationnaire » ?
2. Ecrire la relation de Zeuner en fonction des transferts thermiques massiques et travail utile massique.
3. L'eau suit un cycle de Rankine formé des étapes suivantes :
 - ★ $A \rightarrow B$: passage dans une pompe où l'eau est comprimée de manière isentropique
 - ★ $B \rightarrow C$: passage dans la chaudière où l'eau se vaporise à pression constante
 - ★ $C \rightarrow D$: passage dans la turbine où la vapeur d'eau se détend de manière adiabatique réversible, c'est-à-dire isentropique
 - ★ $D \rightarrow A$: passage dans le condenseur où l'eau redevient liquide de manière isobare.

En admettant que les points A et C se situent sur la courbe de saturation, tracer l'allure du cycle de Rankine dans le diagramme de Watt-Clapeyron. On justifiera pourquoi l'étape $A \rightarrow B$ est isochore.

4. La pompe fait passer l'eau d'une pression 1 bar à une pression de 50 bar. En vous aidant du diagramme $P - h$ de l'eau (fluide R718) que vous avez reçu en documents de cours, déterminer la température à laquelle la vapeur d'eau sort de la chaudière.
5. A partir du diagramme $P - h$, trouver la valeur de la chaleur latente de vaporisation de l'eau à 100°C.
6. Placer les 4 points A, B, C et D sur le diagramme $P - h$ donné en annexe. Le point D est un état diphasé : quel est le titre massique en vapeur $x_v(D)$ en ce point ?
Aide : pour les isentropes, on pourra les prolonger par extrapolation !
7. Définir le rendement du cycle de Rankine en fonction des enthalpies massiques aux différents points h_A, h_B, h_C et h_D .
8. Déterminer la valeur numérique de ce rendement. Faire un commentaire.
9. La machine à vapeur est parcourue par de l'eau avec un débit de 10 L/s. En déduire la valeur de la puissance thermique de la chaudière. Faire un commentaire.

2 Calorimétrie et surfusion du phosphore

On se propose d'étudier un phénomène de retard à la solidification : certains corps purs sont susceptibles d'exister à l'état liquide, sous une pression donnée, à une température inférieure à leur température de fusion. Ce phénomène porte le nom de surfusion. Il nécessite des conditions expérimentales particulières et peut cesser lors de l'introduction d'un cristal de solide, d'une impureté ou en cas d'agitation du récipient contenant le liquide surfondu. Soit un récipient calorifugé contenant une masse $m = 10$ g de phosphore liquide surfondu à la température $t = 34^\circ\text{C}$ sous la pression atmosphérique. On néglige tous les effets thermiques du récipient (ainsi, sa masse équivalente en eau vaut 0)

1. On fait cesser la surfusion et on observe un nouvel état d'équilibre diphasé du phosphore. On donne $T_f = 317$ K, $L_F = 20,9$ kJ/kg à P^0 , et $c_P(P_{liq}) = 0,795$ J/g/K. Pour cela, on répondra aux questions suivantes :
 - (a) Que signifie la masse équivalente en eau du récipient ?
 - (b) Que vaut ΔH du système "la masse m de phosphore" lors de la transformation ?
 - (c) Etablir un schéma avec une boîte pour l'état initial et une autre pour l'état final. Quelle est la température de l'état final ? Justifier.
 - (d) A quelle température fond le phosphore à pression ambiante ?
 - (e) Que vaut simplement la chaleur latente de solidification du phosphore en fonction de la chaleur latente de fusion ?
 - (f) Si une fraction massique x de la masse m de phosphore liquide change d'état, que vaut la variation de l'enthalpie du phosphore lors de cette transformation ?
 - (g) Il s'agit de trouver un chemin virtuel sur lequel on sait calculer ΔH . Pourquoi peut-on choisir un tel chemin ?
 - (h) On propose comme chemin virtuel le chemin suivant formé de 2 étapes :
 - Première étape : la masse m de phosphore liquide change de température et passe de 34°C à 44°C
 - Deuxième étape : une fraction du phosphore se solidifie.
 Compléter le schéma du (c) et déterminer la masse de chacune des phases.
2. Quel serait l'état final du système si on faisait cesser la surfusion d'une même masse de P initialement à $t' = 17,5^\circ\text{C}$? On donne $c_P(P_{sol}) = 0,840$ J/g/K. Dans ce cas, tout le phosphore est solide à la fin. On reprendra le raisonnement de la question précédente.

3 Résolution de problème

Le pouvoir énergétique du gaz de ville est de 10 kWh/m³. Un système de production d'eau chaude en continu est alimenté au gaz de ville. Il s'agit de déterminer la consommation instantanée de gaz (en m³/heure) lors du fonctionnement du chauffe-eau lors d'une douche. On donne la capacité thermique massique de l'eau : $c = 4,18$ kJ/K/kg.