Séance 2 : thermodynamique

Exercice T.1 - Détente dans une turbine [$\star$]

Données :

état liquide	$h_L(T_1) = 909$ kJ/kg	$s_L(T_1) = 2,45$ J.K^{-1}.kg^{-1}
	$h_L(T_2) = 418$ kJ/kg	$s_L(T_2) = 1,30$ J.K^{-1}.kg^{-1}
état vapeur	$h_V(T_1) = 2801$ kJ/kg	$s_V(T_1) = 6,35$ J.K^{-1}.kg^{-1}
	$h_V(T_2) = 2676$ kJ/kg	$s_V(T_2) = 7,36$ J.K^{-1}.kg^{-1}

L'eau liquide a une capacité massique supposée constante : $c_{eau} = 4,18$ kJ.K^{-1}.kg^{-1}.

Une masse $m = 1$ kg d'eau subit une détente adiabatique réversible dans une turbine.

état 1 :	vapeur saturante à T_1	$P = P_{sat}(T_1) = 20$ bar
état 2 :	$T_2 = 373$ K	$P = P_{sat}(T_2) = 1$ bar

Représenter la transformation dans un diagramme (T, s). Calculer le titre massique en vapeur dans l'état final. Cette transformation correspond à une détente dans une turbine : déterminer le travail massique fourni par le fluide pendant cette détente.

Exercice T.2 - Cycle de Rankine [$\star\star$]

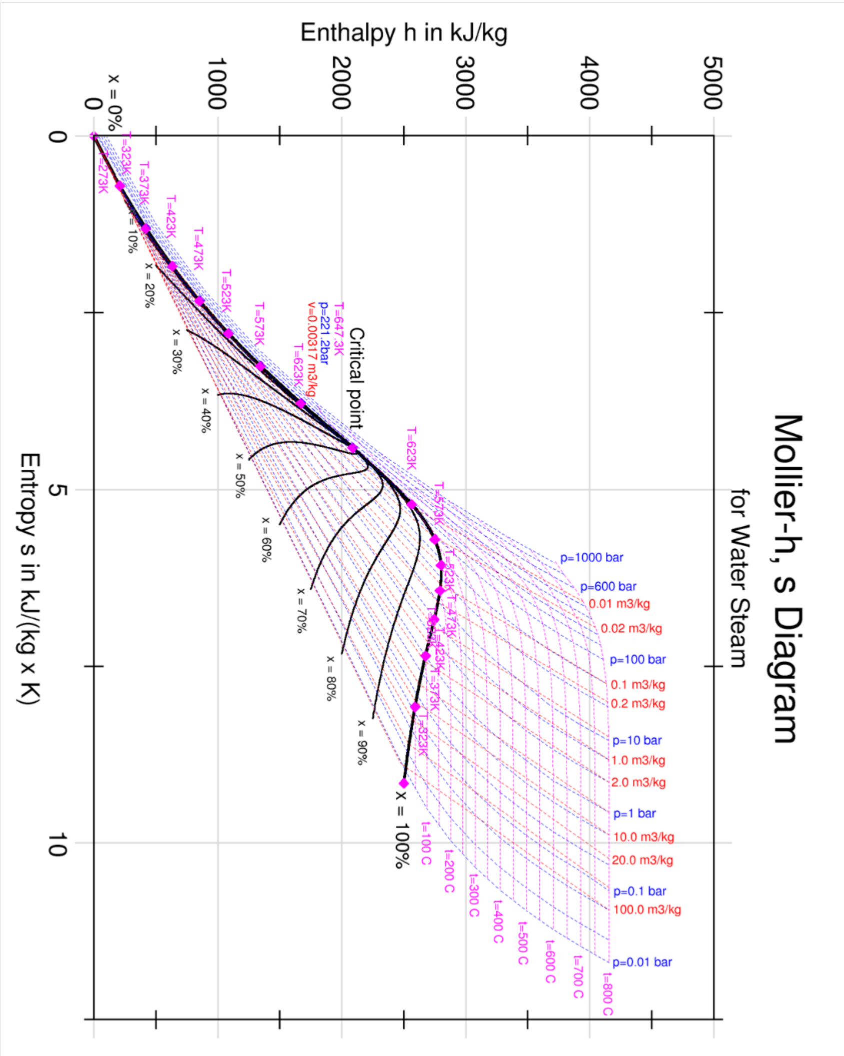
On étudie le cycle de Rankine $ABCD$: deux transformations adiabatiques réversibles BC et DA et deux transformations isobares AB à $P_1 = 40$ bar et CD à $P_2 = 0,5$ bar.
A est du liquide juste saturant et B de la vapeur juste saturante, C et D des mélanges diphasés.

On donne les températures de vaporisation aux deux pressions : À $P_1 = 40$ bar, $T_1 = 250$ °C et à $P_2 = 0,05$ bar, $T_2 = 45$°C.
On fournit aussi :

point	A	B	liquide à P_2 et T_2	Gaz à P_2 et T_2
h (kJ/kg)	1083	2796	188	?
s (J/K/kg)	2,80	?	0,627	8,15

1. Tracer l'allure du cycle dans le diagramme de Clapeyron. S'agit-il d'un moteur ou non ?
2. Pour les états D et C, calculer le titre en vapeur.

3. Calculer le travail w fourni par kilogramme d'eau et par cycle. Calculer la chaleur q_2 fournie par la source chaude à un kilogramme d'eau lors d'un cycle.
4. Définir et calculer le rendement.
5. Qu'est-ce que le diagramme de Mollier ? Comment trouve-t-on facilement w et q_2 sur ce diagramme ?
6. Placer les points sur le diagramme fourni connaissant leur pressions et températures et vérifier qu'on retrouve bien le même rendement.



Exercice T.3 - Fluctuation de température dans une cave [⋆⋆⋆]

1. Enoncer la loi de Fourier.
2. Retrouver l'équation de la chaleur pour une température $T(z,t)$ dans un matériau caractérisé par sa conductivité thermique λ, sa capacité thermique massique c et sa masse volumique ρ. Il n'y a pas de production interne de chaleur.
3. On cherche à évaluer la température dans le sol, à une profondeur z et un instant t. La température à la surface est $T(0,t) = T_0 + \theta_0 \cos(\omega t)$. On cherche une solution sous la forme $T(z,t) = T_0 + \theta(z)\cos(\omega t + \varphi(z))$. Trouver $T(z,t)$ en fonction de t, z, T_0, θ_0, ω, λ, c, ρ.

4. Pour le sol, on donne $a = \dfrac{\lambda}{\rho c} = 0,28.10^{-6}$ m².s-1. Les variations saisonnières en température ont une amplitude de 10°C. A quelle profondeur faut-il enterrer sa cave si on veut que le vin ne subisse pas de variations de température supérieures à ±2°C.

Exercice T.4 - Isolation d'un cabanon [⋆⋆]

Concours : Banque PT
Année du CR : 2024

On considère un cabanon fait en bois posé sur le sol à l'extérieur. Il est à l'état initial à la température $T_0 = 20$°C et à la pression $P_0 = 1$ bar. Le cabanon est hermétiquement fermé et l'air a l'intérieur peut être considéré comme un gaz parfait. La température extérieure est et reste à la température $T_{ext} = 5$°C. On suppose que le cabanon est isolé avec le sol.

1. Donner le nom du coefficient D_{th}. À l'aide d'une équation aux dimensions, déterminer sa dimension et donner son unité dans le SI.
2. On considère un mur du cabanon d'épaisseur e. En régime stationnaire déterminer le profil de la température à travers le mur. En déduire la résistance thermique.
3. La température à l'intérieur du cabanon évolue lentement. Déterminer le temps t_1 qu'il faut pour que la température à l'intérieur du cabanon atteigne la température 12°C. Donner uniquement l'expression, on ne demande pas d'application numérique.

On souhaite réduire les pertes énergétiques avec l'extérieur. Pour cela, on décider d'appliquer une épaisseur e' de laine de verre à l'intérieur du cabanon.

4. Déterminer le temps t_2 qu'il faut pour que la température à l'intérieur du cabanon atteigne la température 12°C. Donner uniquement l'expression, on ne demande pas d'application numérique. Selon vous, t_2 est-il plus grand que t_1 ?

Données :

- ▷ Équation de la diffusion de la chaleur en 1D cartésienne :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_{th} \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

- ▷ Conductivité du bois $\lambda_{bois} = 0,15$ W.m-1.K-1 et de la laine de verre $\lambda_{laine} = 0,04$ W.m-1.K-1
- ▷ $e = 90$ mm
- ▷ $e' = 10$ mm
- ▷ Constante des gaz parfaits $R = 8,314$ J/K/mol
- ▷ Dimensions du cabanon $L \times \ell \times h = 4$ m $\times 4$ m $\times 2,5$m