



TH122 – Cycle de Rankine d'une machine à vapeur (Côme / Antoine P)

On étudie en régime permanent la machine motrice à vapeur d'eau ci-contre dans laquelle l'eau décrit le cycle suivant :

- * Détente adiabatique et réversible dans la turbine T de $P_1 = 55 \text{ bar}$ à $P_2 = 0,2 \text{ bar}$.
- * Condensation totale à pression constante p_2 dans le condenseur Cd .
- * Compression adiabatique de l'eau liquide saturante dans la pompe P .
- * Chauffage et vaporisation totale à la pression constante p_1 dans la chaudière Ch : la vapeur est saturante sèche à sa sortie.

On fournit le diagramme entropique de l'eau.

1 – L'élévation de température de l'eau dans la pompe étant négligeable, justifier que le travail massique utile l'est aussi et que la compression est isenthalpique.

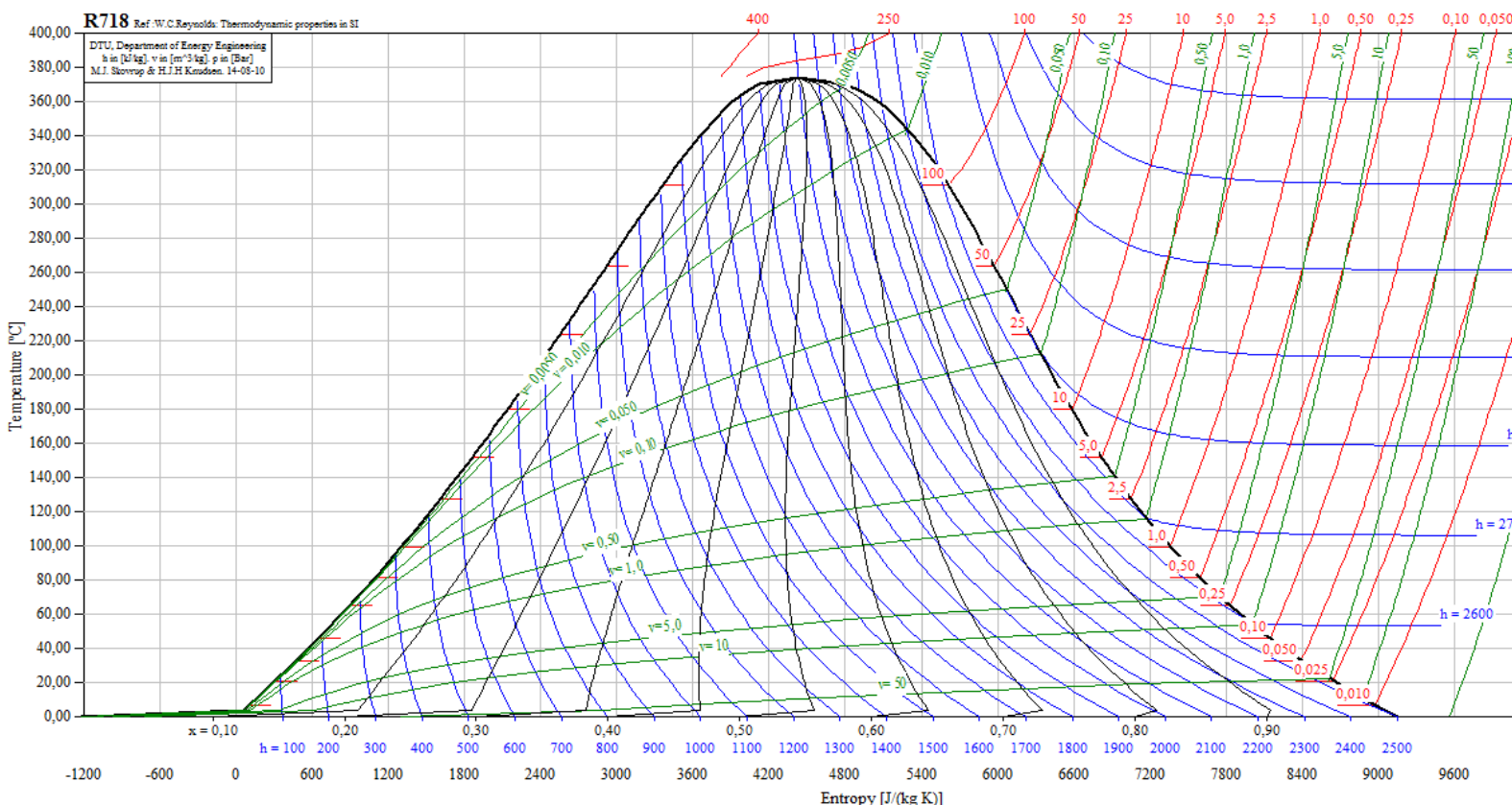
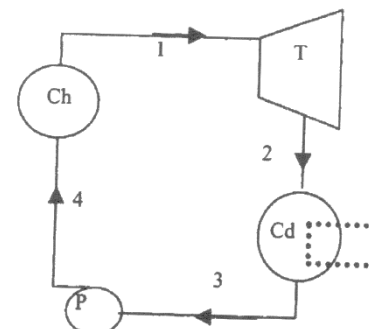
2 – Déterminer s_2 , le titre en vapeur x_2 , l'enthalpie h_2 au point 2.

3 – Déterminer : q_{Ch} : quantité de chaleur massique fournie à la chaudière à 1 kg d'eau

q_{Co} : quantité de chaleur massique cédée par 1 kg d'eau au condenseur

w_u : le travail massique utile w_u fourni dans la turbine.

r : le rendement de cette machine. Le comparer au rendement de Carnot associé à une machine idéale fonctionnant entre les mêmes températures extrêmes.



★ TH124 – Compresseur adiabatique (Guillaume)

Un compresseur amène de l'air de l'état 1 ($P_1 = 1 \text{ bar}$, $T_1 = 300 \text{ K}$) jusqu'à l'état 2 ($P_2 = 6 \text{ bar}$, T_2). La puissance P du moteur qui l'entraîne est de $1,5 \text{ kW}$ et le débit massique est de $D_m = 6,5 \text{ g.s}^{-1}$.

Pour l'air, assimilé à un gaz parfait : $c_p = 1,0 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ et $\gamma = 1,4$

- 1 – Calculer la température T_2 .
- 2 – Calculer l'entropie créée par unité de temps.
- 3 – Quel serait le débit si l'évolution de l'air était isentropique ?

★ TH126 – Profil d'une tuyère (Benjamin)

On suppose que l'écoulement du gaz dans une tuyère est unidimensionnel, stationnaire, adiabatique et isentropique.

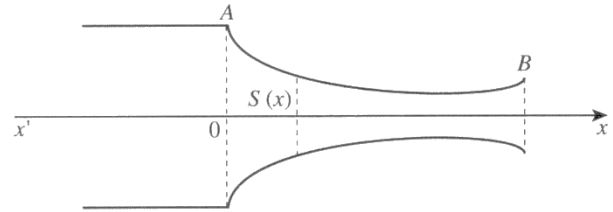
Le gaz entre dans la tuyère en $x = 0$, avec une vitesse $c(0)$ négligeable, une pression $p(0) = P_A$, une température $T(0) = T_A$ et une masse volumique $\rho(0) = \rho_A$.

Le gaz est supposé parfait, de masse molaire M et de coefficient isentropique γ .

La vitesse du son y a pour expression $c_s = \sqrt{\gamma RT/M}$.

On se place en régime stationnaire.

- 1 – Rappeler la relation entre le débit massique D et $\rho(x)$, $c(x)$ et $S(x)$ section de la tuyère de révolution.
- 2 – Ecrire une relation entre $h(x)$ et $c(x)$.
- 3 – Traduire l'hypothèse de transformation isentropique à l'aide d'une loi de Laplace.
- 4 – Exprimer la dérivée logarithmique de D et la simplifier à l'aide des relations précédentes, afin de renseigner un tableau de variation de $c(x)$ et de $S(x)$ permettant d'établir le profil de la tuyère permettant une accélération continue de l'écoulement.



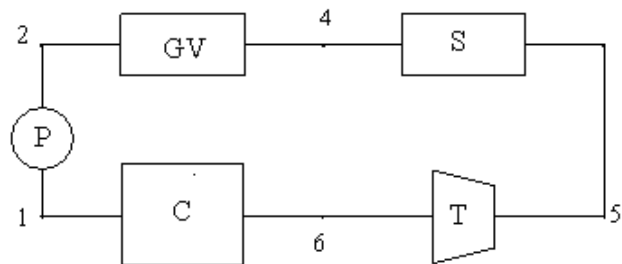
TH142 – Machine à vapeur avec surchauffe (Héloïse / Pierre-Alex)

La machine à vapeur de Watt présente l'inconvénient de fournir, après détente, un mélange de vapeur et de liquide. Il s'ensuit des pertes thermiques importantes.

Pour pallier cet inconvénient et augmenter le rendement, on a recours à une surchauffe de la vapeur.

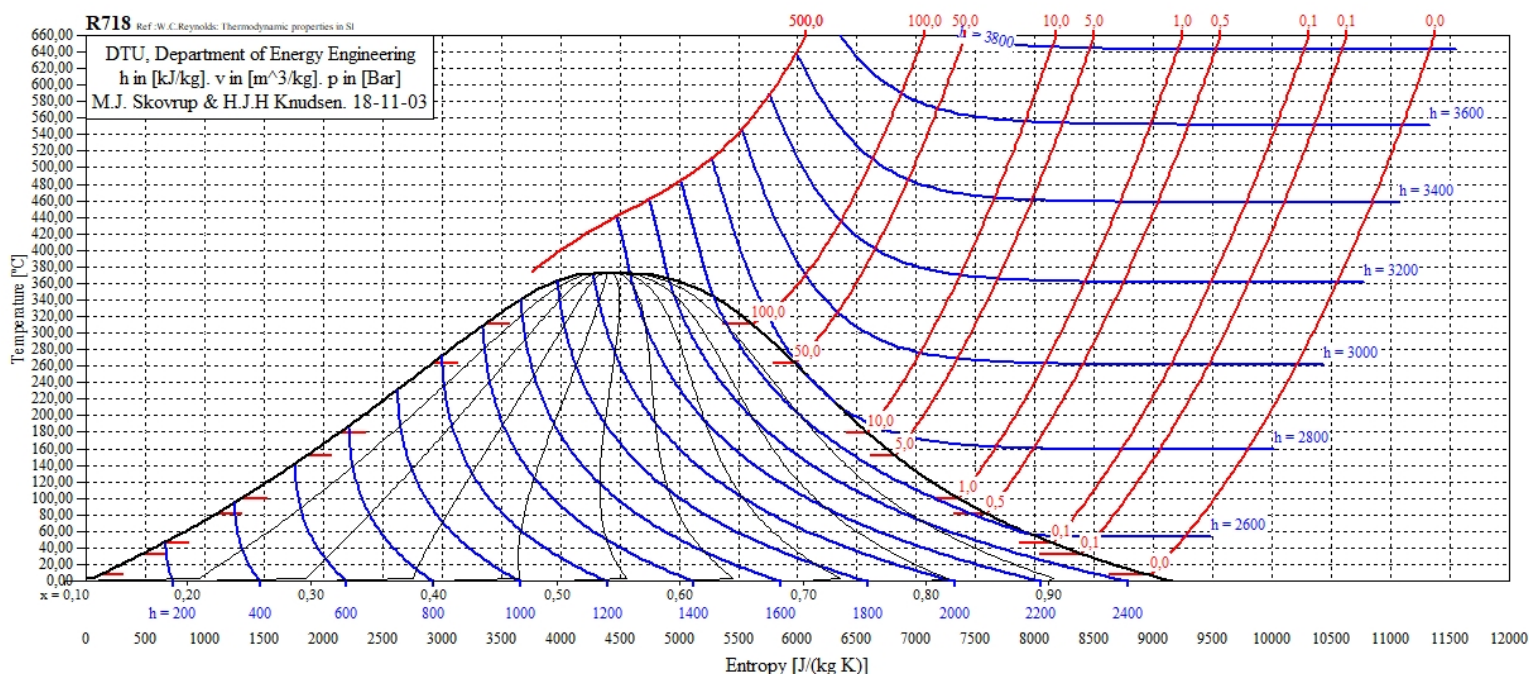
L'installation se compose des éléments suivants :

- * une **pompe (P)** qui réalise une **compression** supposée **isentropique** du liquide jusqu'à $P_2 = 50 \text{ bar}$.
- * un **générateur de vapeur (GV)** qui réalise un échauffement puis une évaporation isobares. Le fluide est à l'état de **liquide saturant en (3)** et de **vapeur saturante en (4)**.
- * un **surchauffeur (S)** qui chauffe la vapeur à **pression constante**. Cet échauffement est réalisé par échange thermique avec les gaz issus de la combustion.
- * une **turbine (T)** où le fluide subit une **détente isentropique** jusqu'à 1 bar, sans variation notable d'énergie cinétique, en fournissant du travail mécanique et en entraînant la pompe.
- * un **condenseur (C)** dans lequel le fluide se condense totalement de façon **isobare**.



- 1 – A l'aide du diagramme (T,s) , déterminer la température T_5 (sortie du surchauffeur), telle que le fluide, en fin de détente, soit constitué de vapeur saturante sèche.
- 2 – La condition précédente étant vérifiée, tracer l'allure du cycle dans le diagramme (T,s) .
- 3 – Déterminer la variation d'enthalpie massique échangée dans chaque partie de la machine et calculer le rendement du moteur.

Données : $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. $\rho_{\text{eau}} = 1,00.10^3 \text{ kg.m}^{-3}$.



TH144 – Climatisation de véhicule (Tancredè)

Dans une fiche technique, le fonctionnement de la climatisation de la Mégane Renault est décrit en fournissant le diagramme (P, h) du fluide frigorigène qui circule en régime stationnaire à travers quatre organes successifs :

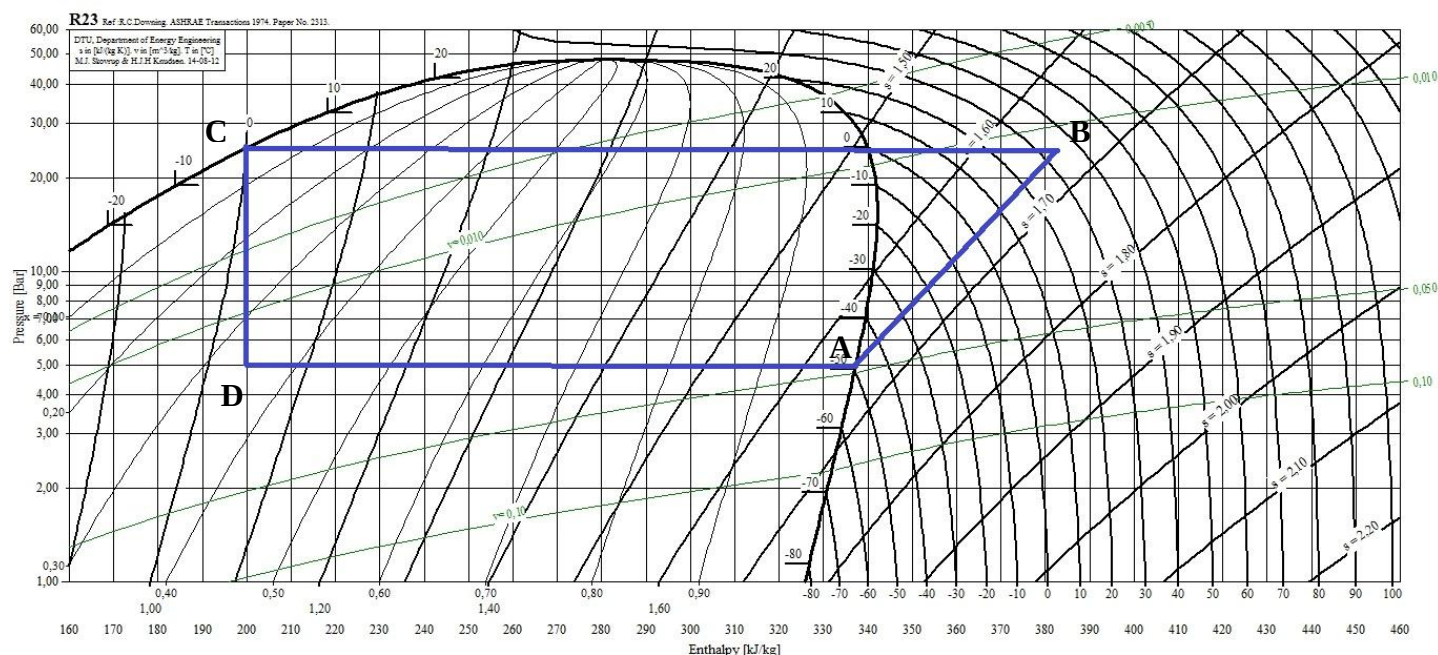
- le fluide subit la compression AB dans le compresseur, ce qui lui permet d'atteindre une température supérieure à celle de l'atmosphère extérieure $T_e = 35^\circ\text{C}$;
- puis, il circule dans le condenseur au contact de l'atmosphère extérieure et se liquéfie jusqu'à l'état C.
- puis le fluide se détend dans un détendeur, simple étranglement dans la conduite jusqu'à l'état D, ce qui lui permet d'atteindre une température inférieure à celle de l'habitacle $T_a = 20^\circ\text{C}$;
- enfin, il circule dans l'évaporateur au contact de l'air de l'habitacle et se vaporise, revenant ainsi à son état initial A.

Les variations d'énergie cinétique et potentielle sont négligeables. Le travail utile est nul sauf dans le compresseur. Le compresseur et le détendeur sont calorifugés.

1 – Justifier l'allure de l'évolution CD.

2 – Evaluer numériquement l'efficacité e du climatiseur. Comparer avec l'efficacité de Carnot en choisissant des températures de sources convenables.

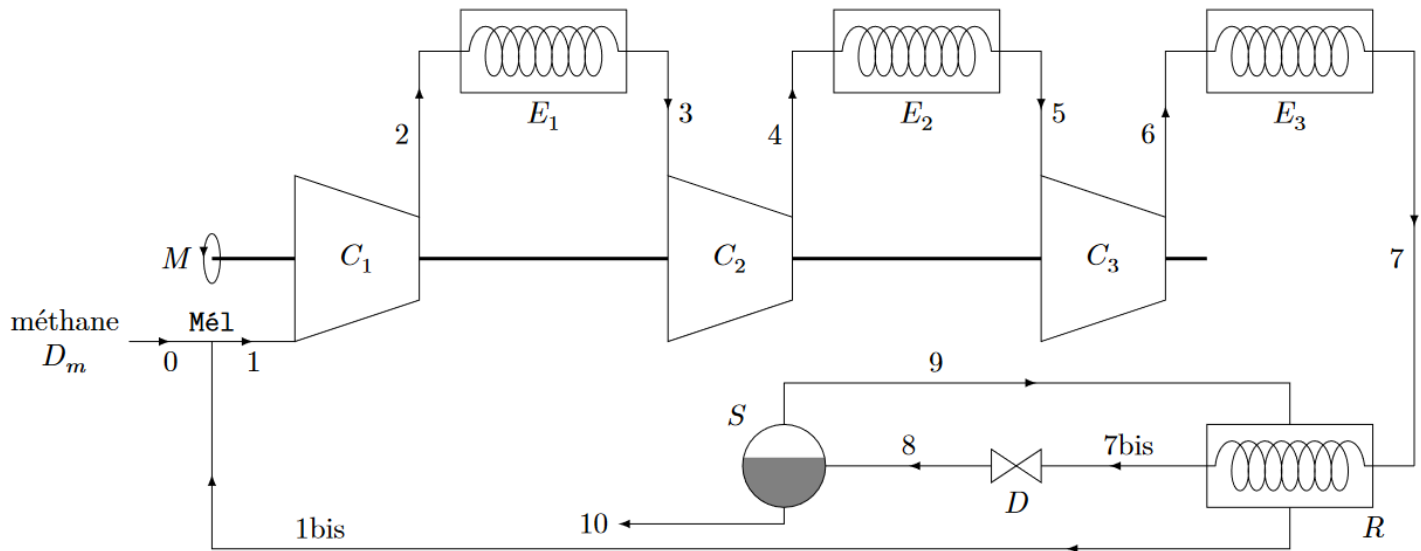
3 – La fiche technique indique que pour réguler la puissance du climatiseur, on choisit de réguler le débit massique dans la pompe plutôt que de la faire fonctionner en tout ou rien ce qui donnerait des «à coups» au moteur. Expliquer le rôle du débit massique.



★ TH146 – Cycle de Linde de liquéfaction du méthane (extrait Centrale-Supélec – TSI – 2017)

On désire étudier le procédé de Linde de liquéfaction du méthane, utilisé par exemple dans l'usine de Snøhvit

en Norvège, schématisé ci-dessous avec les différents états du fluide numérotés de 0 à 10, permettant d'obtenir un débit massique D_{m10} de méthane liquide saturant à la pression $P_{10} = 1 \text{ bar}$ à une température $T_{10} = -161,7^\circ\text{C}$



Pour cela, on introduit un débit massique $D_m = 1,0 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ de méthane gazeux à la température $T_0 = 7,0^\circ\text{C}$ et à la pression $P_0 = 1,0 \text{ bar}$ (état 0). Trois compresseurs (C_1), (C_2) et (C_3) fonctionnant de façon adiabatique et réversible, solidaires d'un même arbre entraîné sans perte par un moteur (M), ainsi que trois échangeurs de chaleurs isobares (systèmes de refroidissement) (E_1), (E_2) et (E_3) permettent d'obtenir en l'état 7 du gaz à la pression $P_7 = 100 \text{ bar}$ et à la température $T_7 = -63^\circ\text{C}$. Les pressions intermédiaires sont égales à $P_2 = 5,0 \text{ bar}$ et $P_4 = 25 \text{ bar}$. L'enthalpie massique du fluide dans l'état 3 est $h_3 = 866 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ et dans l'état 5, $h_5 = 840 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Un régénérateur, échangeur thermique globalement calorifugé et fonctionnant de façon réversible, permet de refroidir le gaz comprimé non plus à -63°C mais à -82°C (état 7bis). Ce gaz refroidi est détendu isenthalpiquement de 100 bar à 1 bar par le détendeur (D) jusqu'à l'état diphasé 8 de titre massique en vapeur $x = 0,61$. Les phases liquide et gazeuse sont séparées dans le séparateur isobare (S). La vapeur saturante sèche sortant du séparateur est recyclée dans le régénérateur (R). (Mél) est un mélangeur globalement calorifugé, sans partie mobile et fonctionnant de façon isobare. La pression en 1 vaut donc $P_1 = 1 \text{ bar}$.

On se place en régime permanent d'écoulement. On négligera toute variation d'énergie mécanique du fluide.

1 - On note respectivement les débits massiques de fluide D_{m1} et D_{m1bis} aux états 1 et 1bis. En utilisant le titre massique en vapeur dans le séparateur, établir une relation entre D_{m1} , D_{m1bis} et x . Après avoir traduit la conservation du débit massique au niveau du mélangeur, déterminer les valeurs des débits massiques D_{m1} et D_{m1bis} .

2 - Déterminer graphiquement les enthalpies massiques aux états 7 ($P_7 = 100 \text{ bar}$ et $T_7 = -63^\circ\text{C}$), 7bis ($P_{7bis} = P_7$ et $T_7 = -82^\circ\text{C}$) et 9 respectivement notées h_7 , h_{7bis} et h_9 . En effectuant un bilan énergétique au niveau du régénérateur (R) globalement calorifugé et ne comportant pas de partie mobile, déterminer l'enthalpie massique h_{1bis} .

3 - Justifier qu'au niveau du mélangeur (Mél), il y a conservation du débit d'enthalpie, conservation que l'on traduira par une relation. En déduire h_1 .

4 - La transformation au niveau du compresseur (C_1) étant supposée isentropique, déterminer graphiquement la valeur de l'enthalpie massique h_2 à l'état 2. En déduire la puissance P_{u1} fournie par le moteur au compresseur (C_1).

