

Thermodynamique

IV-3/4

Phs 2101

Automne 2001

<http://www.crm.umontreal.ca/~physnum>

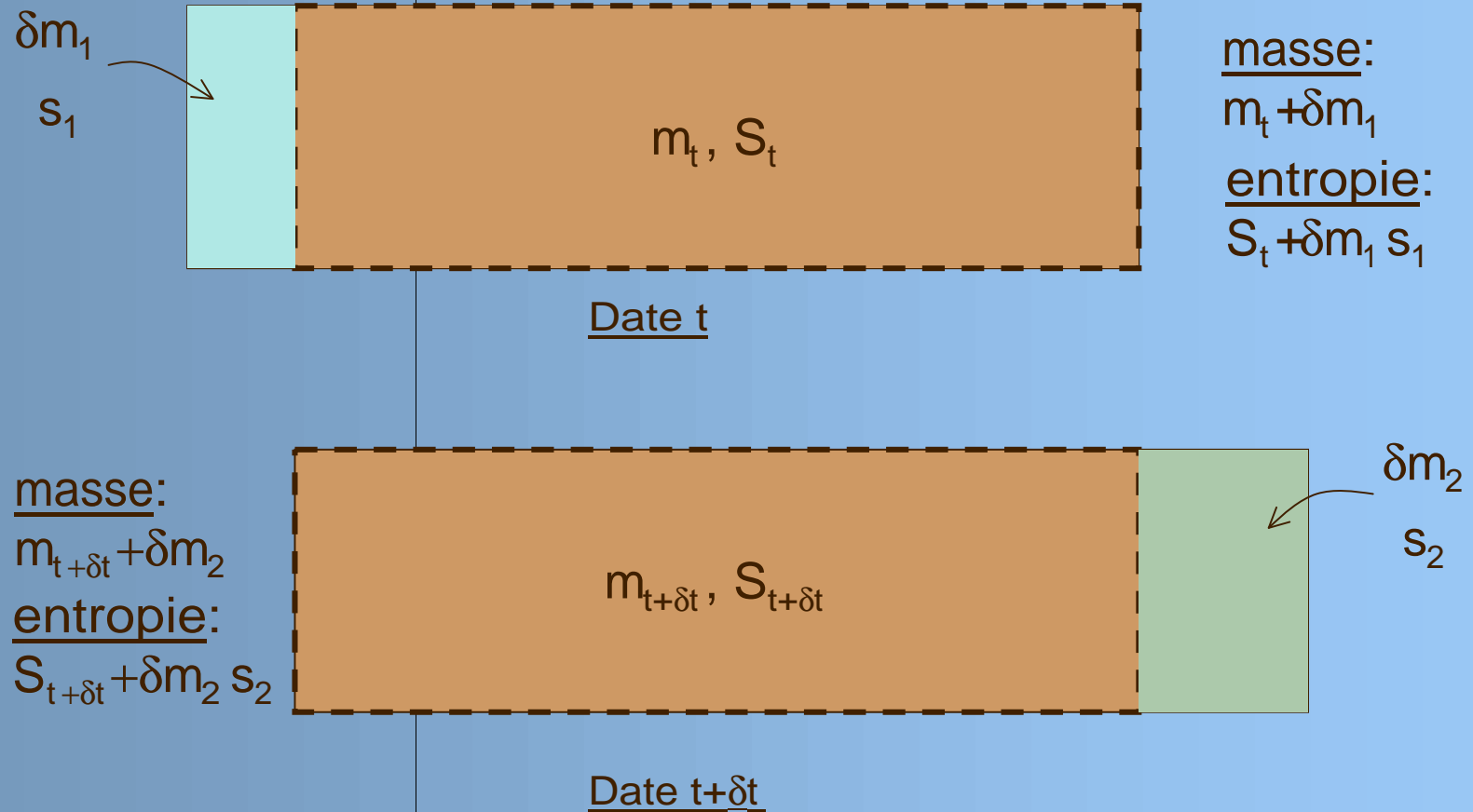
7. L'ENTROPIE (II)

- Évolution **polytropique**: c'est un type d'évolution (le plus souvent avec échange d'énergie sous forme de chaleur) pour certains gaz. Elle a pour équation générale:

$$PV^n = \text{const.}$$

- pour $n=1$, on retrouve l'isotherme d'un G.P.
- pour $n=\gamma$, on retrouve l'isentropique d'un G.P.
- pour $n=0$, on retrouve l'isobare,
- pour n très grand, on retrouve l'isochore

• Second principe pour les écoulements permanents



D 'ou la variation d 'entropie pour tout le système fermé:

$$S_{t+\delta t} + \delta m_2 s_2 - (S_t + \delta m_1 s_1)$$

qui doit être, en vertu du second principe, supérieure à $\frac{\delta Q}{T}$

En considérant que cette variation s 'est déroulée pendant δt , on obtient

$$\frac{S_{t+\delta t} - S_t}{\delta t} + \frac{\delta m_2 s_2}{\delta t} - \frac{\delta m_1 s_1}{\delta t} \geq \frac{\delta Q}{T \delta t}$$

c 'est-a-dire,

$$\frac{dS_{vol.cont}}{dt} + \dot{m}_2 s_2 - \dot{m}_1 s_1 \geq \frac{\dot{Q}}{T}$$

Cas particulier du régime permanent:

$$\frac{dS_{vol.cont}}{dt} + \dot{m}_2 s_2 - \dot{m}_1 s_1 \geq \frac{\dot{Q}}{T}$$

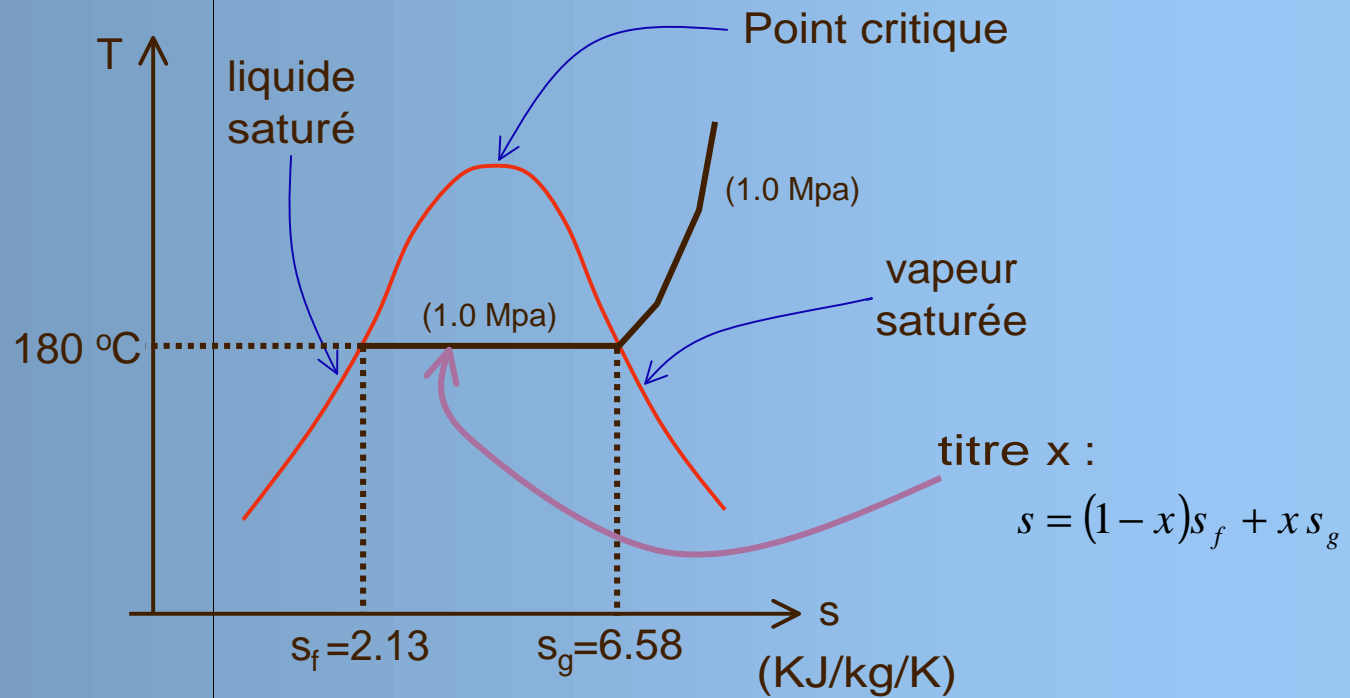
Diagrammatic annotations: A red arrow points from the $\frac{dS_{vol.cont}}{dt}$ term to the right. A red arrow labeled "égaux" (equal) points from the $\dot{m}_2 s_2$ term to the $\dot{m}_1 s_1$ term.

$$\dot{m} (s_2 - s_1) \geq \frac{\dot{Q}}{T}$$

Remarque: si le système est isolé (adiabatique) alors

$$s_2 \geq s_1$$

- Entropie d'un **mélange de phases**: exemple de l'eau



(Voir table A.1.1, p.692)

Exemple 1

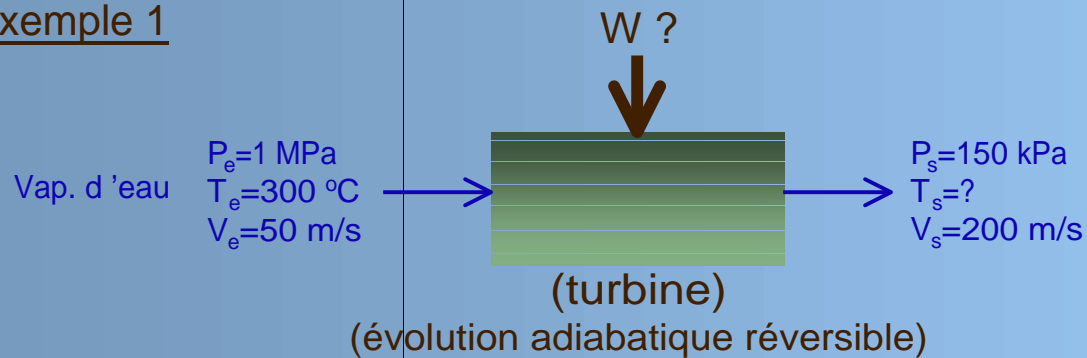


Table A.1.2 (p.698): $h_e = 3051.2 \text{ kJ/kg}$, $s_e = 7.123 \text{ kJ/kg/K}$

Évolution isentropique: $s_s = s_e$. Puisque $P_s = 150 \text{ kPa}$, on a un mélange (voir p.697) il faut consulter la table A.1.1, p.694: $s_f = 1.433$ et $s_g = 7.2233$

$$s_s = (1-x)s_f + xs_g \rightarrow x = 0.982$$

donc
$$h_s = (1-x)h_f + xh_g \rightarrow h_s = 2655.0 \text{ kJ/kg}$$

On connaît donc $h_s - h_e = 396.2 \text{ kJ/kg}$

Régime permanent: $\dot{m}_1 = \dot{m}_2$

$$\dot{m}_2 \left(h_s + \frac{1}{2} v_s^2 + \cancel{gZ_s} \right) - \dot{m}_1 \left(h_e + \frac{1}{2} v_e^2 + \cancel{gZ_e} \right) = \dot{W}_{v.c} + \cancel{\dot{Q}}$$

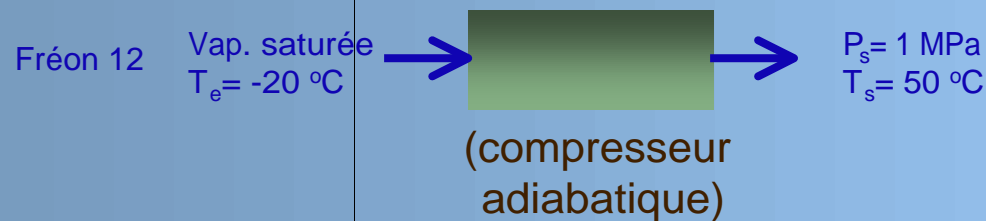
$$\rightarrow \left(h_s + \frac{1}{2} v_s^2 \right) - \left(h_e + \frac{1}{2} v_e^2 \right) = \frac{\dot{W}_{v.c}}{\dot{m}} = w$$

$$\rightarrow \left(h_s - h_e \right) - \frac{1}{2} \left(v_s^2 - v_e^2 \right) = w$$

On trouve ainsi $w=377.5 \text{ kJ/kg}$

Exemple 2

Une personne prétend avoir inventé un compresseur d'une machine réfrigérante qui reçoit de la vapeur saturée de fréon 12 à -20 °C et la rejette à 1 MPa et 50 °C . La compression est adiabatique: est-ce possible ?

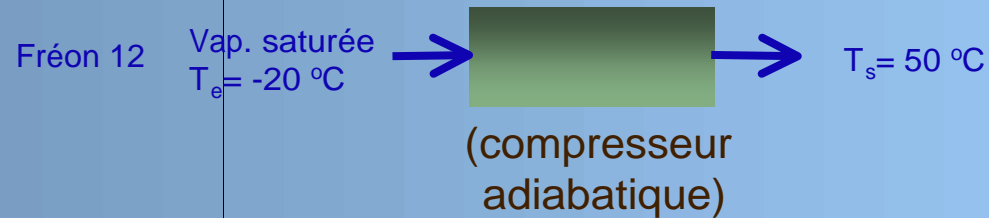


Fréon 12 (vap. saturée, Table A.3.1, p.714): $P_e = 0.1509\text{ MPa}$, $s_e = 0.7082$
en sortie: nous n'avons pas un état de vapeur saturée (pression trop basse)
mais de vapeur surchauffée (Table A.3.2, p.718): $s_s = 0.7021$

Cette situation est impossible puisqu'il faut $s_s > s_e$

Exemple 2 (suite)

La personne prétend que la compression est vraiment adiabatique et qu'elle est certaine des valeurs des températures. Que doit-on lui répondre ?



Il faut $s_s > s_e = 0.7082$.

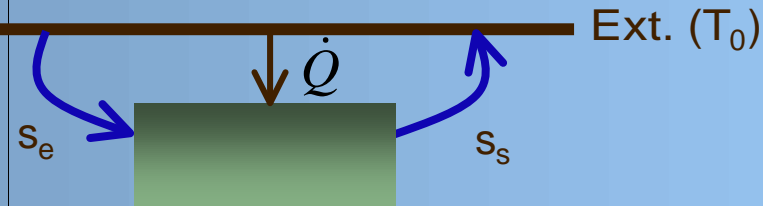
Peut-on avoir une vap. saturée en sortie ?

Non: voir Table A.3.1. $T = 50\text{ °C}$, $s = 0.6792$.

Peut-on avoir une vap. surchauffée en sortie ?

A la rigueur... mais la pression n'excède pas 0.9 MPa.

Accroissement de l'entropie



Volume de contrôle:
$$\frac{dS_{vol.cont.}}{dt} + \dot{m}_s s_s - \dot{m}_e s_e \geq \sum_{vol} \frac{\dot{Q}}{T}$$

Extérieur:
$$\frac{dS_{ext.}}{dt} - \dot{m}_s s_s + \dot{m}_e s_e \geq \frac{-\dot{Q}}{T_0}$$

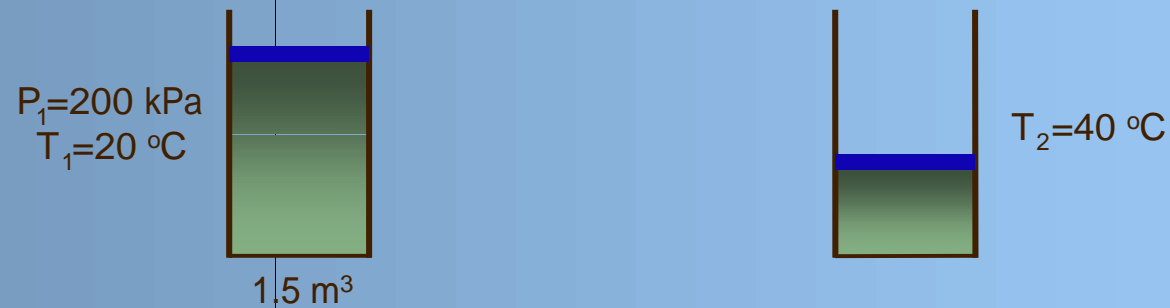
$$\frac{dS_{ext.}}{dt} + \frac{dS_{vol.cont.}}{dt} \geq \frac{-\dot{Q}}{T_0} + \sum_{vol} \frac{\dot{Q}}{T}$$

Si \dot{Q} est positif: $T < T_0$
Cette quantité est donc positive

donc
$$\frac{dS_{tot.}}{dt} \geq 0$$

Exercice: #7.21, p.258

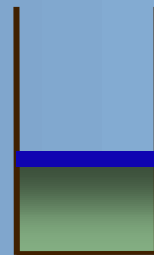
Un cylindre fermé par un piston contient de l'ammoniac à 200 kPa et 20 °C dans un volume de 1.5 m³. On comprime le gaz jusqu' à une température finale de 40 °C en lui fournissant un travail de 750 kJ. Pendant ce processus, 1500 kJ de chaleur sont cédés au milieu ambiant (à 20 °C). Une telle évolution est-elle possible?



Exercice

0.5 kg d'eau subit un processus adiabatique de l'état 1 à l'état 2 en libérant de l'énergie sous forme de travail (90 kJ).

$$P_1 = 1400 \text{ kPa}$$
$$T_1 = 200 \text{ °C}$$

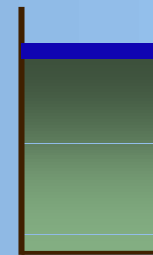


$W = -90 \text{ kJ}$

↓

adiabatique

→



$$P_2 = 120.8 \text{ kPa}$$

- A) valeur de T_2 et de V_2
- B) réversible ?
- C) dessinez les diagrammes P,V et T,S

Exercice (suite)

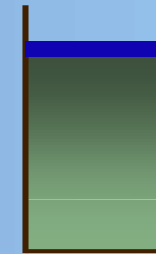
$$P_1 = 1400 \text{ kPa}$$
$$T_1 = 200 \text{ }^\circ\text{C}$$



$$W = -90 \text{ kJ}$$



adiabatique



$$P_2 = 120.8 \text{ kPa}$$

État initial: Table A.1 (p.699)

$$v_1 = 0.14302 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$u_1 = 2603.1 \text{ kJ/kg}$$

$$h_1 = 2803.3 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = 6.4975 \text{ kJ/kg/K}$$

$$\Delta u = \frac{1}{m} (\cancel{Q} + W)$$

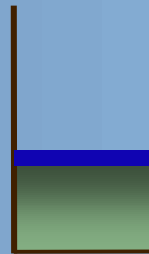
$$u_2 = u_1 + \Delta u = u_1 + \frac{1}{m} W$$

$$\text{Donc: } u_2 = 2423.1 \text{ kJ/kg}$$

Question: a-t-on une vapeur surchauffée dans l'état final ? On constate dans la Table de la page 697 que pour $P=0.1 \text{ MPa}$, u est plus grand que 2506 kJ/kg . C'est donc impossible: nous avons un mélange de deux phases en sortie.

Exercice (suite)

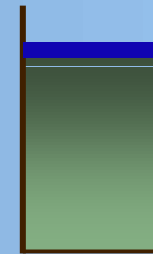
$P_1 = 1400 \text{ kPa}$
 $T_1 = 200 \text{ °C}$



$W = -90 \text{ kJ}$



adiabatique



$P_2 = 120.8 \text{ kPa}$

État initial: Table A.1.2 (p.699)

$v_1 = 0.14302 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $u_1 = 2603.1 \text{ kJ/kg}$
 $h_1 = 2803.3 \text{ kJ/kg}$
 $s_1 = 6.4975 \text{ kJ/kg/K}$

Table A.1.1, p.692:

$u_2 = 2423.1 \text{ kJ/kg}$

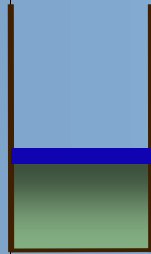
$T_2 = 105 \text{ °C}$
 $P_2 = 0.1208 \text{ MPa}$
 $v_f = 0.001048 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $v_g = 1.4194 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $u_f = 440.02 \text{ kJ/kg}$
 $u_g = 2512.4 \text{ kJ/kg}$
 $s_f = 1.3069 \text{ kJ/kg/K}$
 $s_g = 7.3549 \text{ kJ/kg/K}$

$$u_2 = (1-x)u_f + xu_g$$

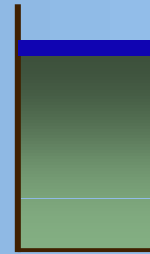
$$x = \frac{u_2 - u_f}{u_g - u_f} = 0.95$$

Exercice (suite)

$P_1 = 1400 \text{ kPa}$
 $T_1 = 200 \text{ °C}$



$W = -90 \text{ kJ}$
 ↓
 adiabatique
 →



$P_2 = 120.8 \text{ kPa}$

État initial: Table A.1.2 (p.699)
 $v_1 = 0.14302 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $u_1 = 2603.1 \text{ kJ/kg}$
 $h_1 = 2803.3 \text{ kJ/kg}$
 $s_1 = 6.4975 \text{ kJ/kg/K}$

$u_2 = 2423.1 \text{ kJ/kg}$

Table A.1.1, p.692:

$T_2 = 105 \text{ °C}$
 $P_2 = 0.1208 \text{ MPa}$
 $v_f = 0.001048 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $v_g = 1.4194 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $u_f = 440.02 \text{ kJ/kg}$
 $u_g = 2512.4 \text{ kJ/kg}$
 $s_f = 1.3069 \text{ kJ/kg/K}$
 $s_g = 7.3549 \text{ kJ/kg/K}$

$x = 0.95 \rightarrow s_2 = (1-x)s_f + xs_g = 7.04 \text{ kJ/kg/K}$

Diagramme P-v (Clapeyron):

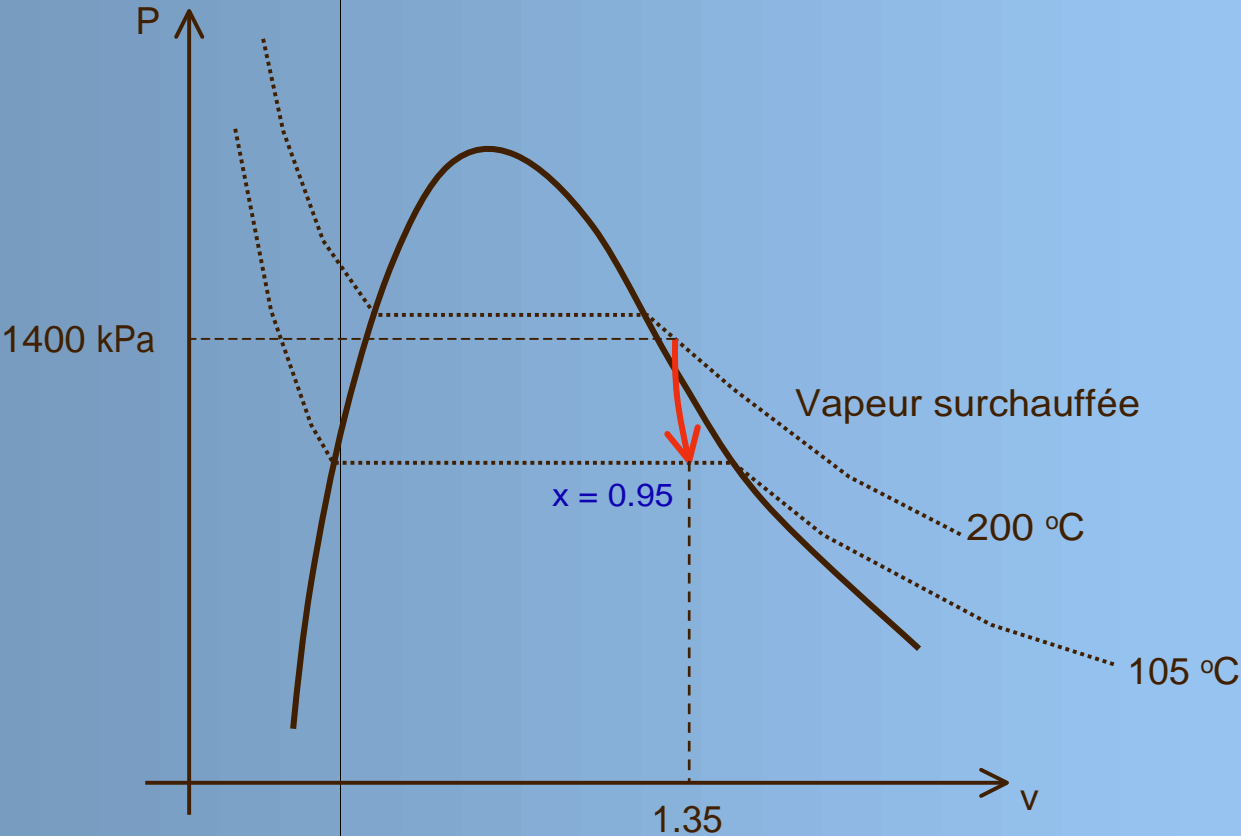
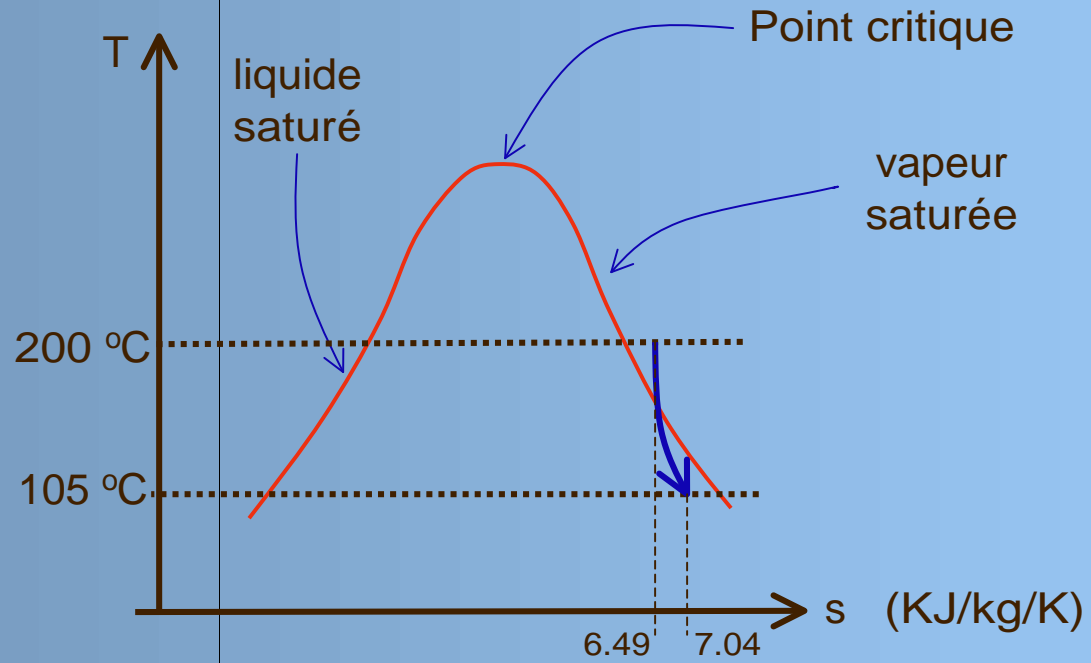


Diagramme T-s:



This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.