

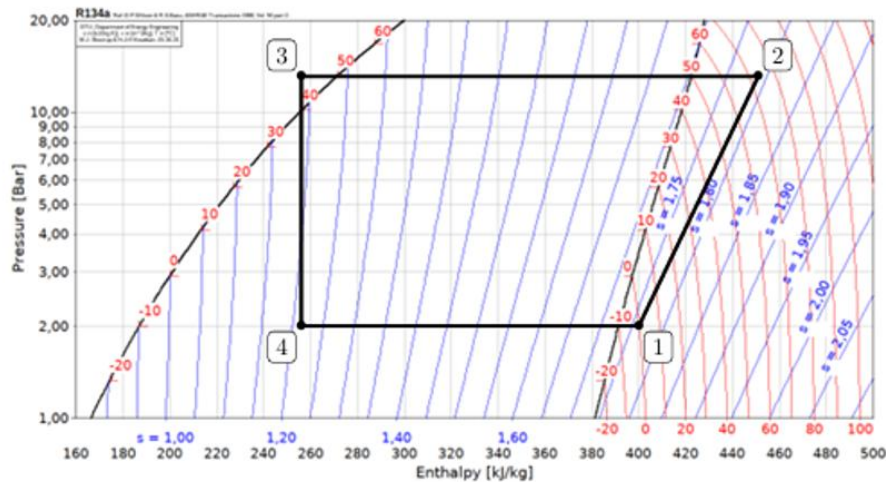
-Exercice : Cycle de Hess :

Calculer l'enthalpie standard de formation de l'eau vapeur à 473K.

Données : $C_{p,m}(O_{2(g)}) = C_{p,m}(H_{2(g)}) \approx C_{p,m}(H_2O_{(g)}) \approx 30 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, $C_{p,m}(H_2O_{(l)}) = 75 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$, $\Delta_f H^0(H_2O_{(l)}, 300\text{K}) = -286 \text{ kJ/mol}$; $\Delta_{vap} H^0(373\text{K}) = 40 \text{ kJ/mol}$

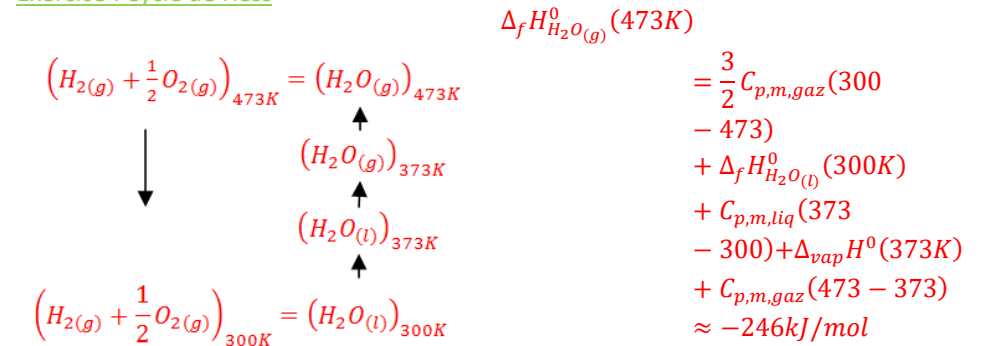
Exercice : Cycle thermodynamique

On considère une PAC en mode chauffage qui suit le cycle suivant :



- 1) Identifier la transformation se déroulant dans le compresseur, le détendeur, le condenseur et l'évaporateur
- 2) Calculer l'efficacité de ce cycle ne supposant la compression adiabatique et réversible

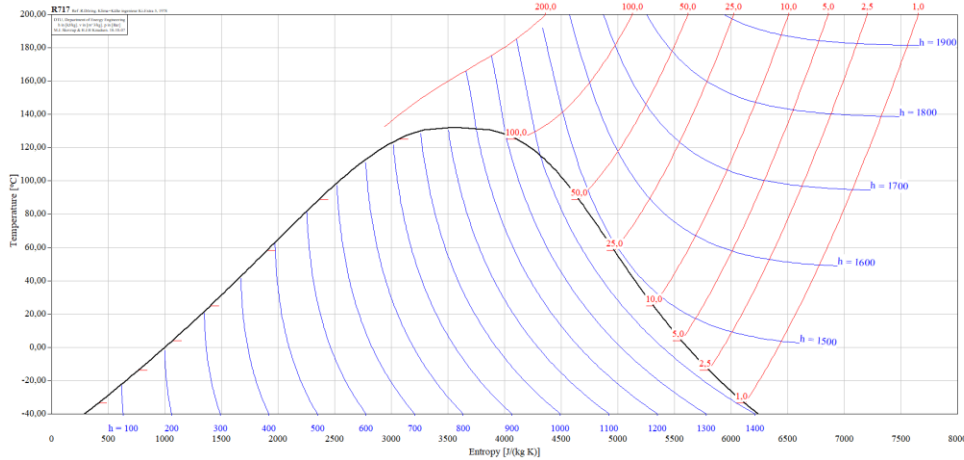
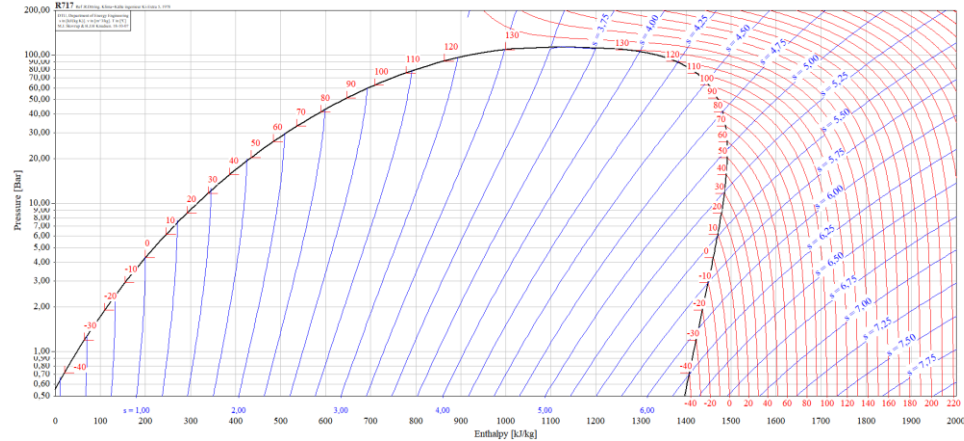
Exercice : Cycle de Hess



Exercice :

- 1-2 : compresseur
- 2-3 : condenseur
- 3-4 : dtendeur
- 4-1 : évaporateur
- $e = 4$

Exercice : Thermochimie : On considère les diagrammes de l'ammoniac ci-dessous :

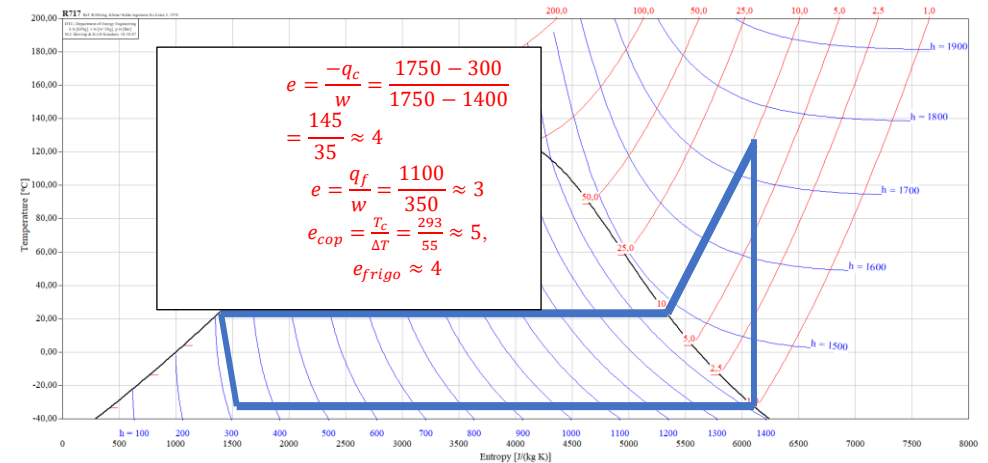
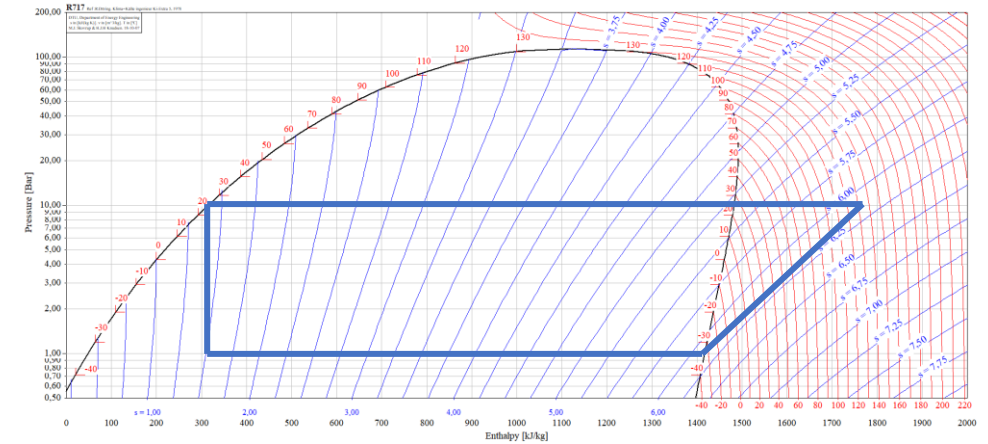


La machine effectue le cycle suivant :

- En A, le gaz est saturé à 1 bar et subit une compression adiabatique réversible jusqu'à l'état B de 10 bar
 - En B le gaz opère un refroidissement isobare, jusqu'à liquéfaction complète en C. En C, le liquide saturant subit une détente isenthalpe jusqu'à 1 bar puis une vaporisation isobare avec retour à l'état A
- 1) Dessiner le cycle des transformations.
 - 2) Calculer l'efficacité de cette machine si elle est utilisée en mode chauffage.
 - 3) Calculer l'efficacité de cette machine si elle est utilisée en mode refroidissement.
 - 4) Comparer aux résultats de Carnot (thermostat chaud à la température T_c , thermostat froid à la température T_A).

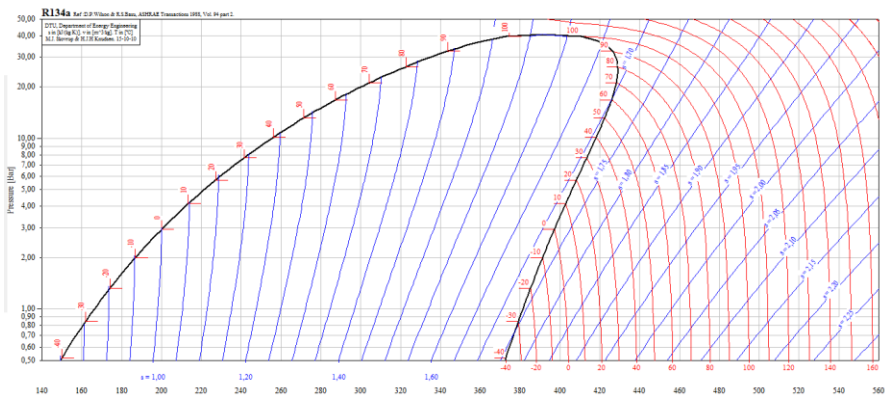
Exercice :

On considère les diagrammes de l'ammoniac ci-dessous :



Question de réflexion :

Sur le diagramme ci-dessous repérer le point figuratif pour lequel le fluide est diphasique à la température 20° C et avec une fraction massique vapeur de 0,2



Exercice : question ouverte

Exprimer l'énergie thermique disponible dans un briquet contenant 10g de méthane

	$CH_4(g)$	$O_2(g)$	$CO_2(g)$	$H_2O(g)$
$\Delta_f H^0 (kJ.mol^{-1})$	-75	-	-400	-250

Exercice : question ouverte

Une maison de taille moyenne est chauffée à l'aide d'une chaudière au fuel. Le réservoir est de 4m³ pour une puissance de chauffage de 100kW. L'enthalpie standard massique de combustion du fuel (qui contient principalement des hydrocarbures saturés lourds de densité 0,7) est $\Delta_r h^0 = -40MJ.kg^{-1}$. Combien de temps la chaudière pourra-t-elle fonctionner en continu ?

Question de réflexion :

Pour trouver le point représentatif, on peut écrire que ce dernier vérifie un niveau enthalpique donné par $h_M = (1 - x)h_c + xh_B = 0,8 * 230 + 0.2 * 410 \approx 250kJ/kg$

Exercice :

Dans un briquet, estimons à 10g la masse de méthane, soit 10/16 de mol. L'enthalpie de réaction est, en phase gazeuse : $CH_4 + 2O_2 = CO_2 + 2H_2O$ $\Delta_r H^0(T) = -825kJ/mol$ et donc une énergie totale de $\frac{8250}{16} kJ \approx 800kJ$ soit de quoi porter à ébullition 0,2L d'eau (en négligeant toute perte !)

Exercice :

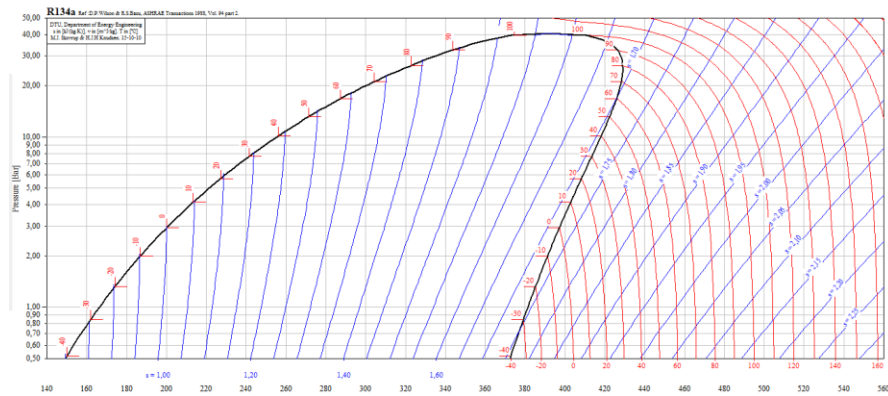
L'alcane saturé est de formule C_nH_{2n+2} et sa masse est de l'ordre de 2800kg soit 112 GJ soit 1 000 000 s d'utilisation soit plus de 250 heures

Exercice : P(T)

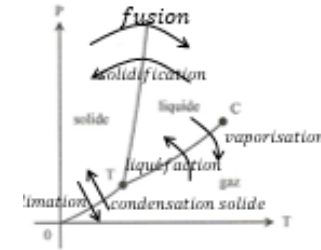
- 1) Dessiner le diagramme pression-température de l'eau
- 2) Placer sur le diagramme les différentes phases associées à chaque domaine
- 3) Donner le nom des transformations associées aux changements de phases

Exercice : Thermochimie

Représenter le point P représentatif du R134a en situation diphasique avec une fraction massique de vapeur de 0,8 à 20°C. En déduire l'énergie mise en jeu pour liquéfier de manière isobare 2kg de R134a situé en P .



Exercice : P(T)



Exercice : Thermochimie

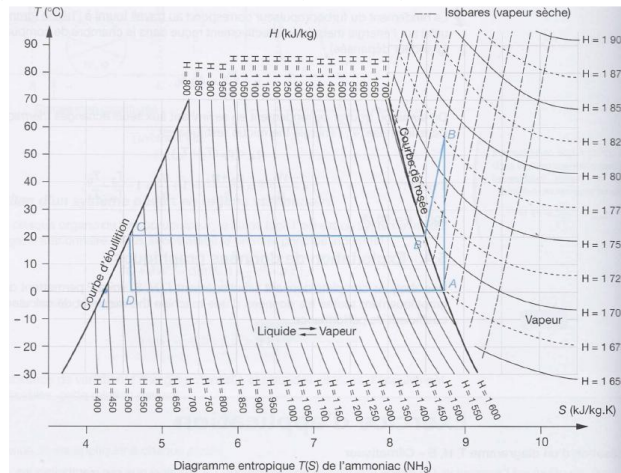
Pour trouver le point représentatif, on peut écrire que ce dernier vérifie un niveau enthalpique donné par $h_M = (1 - x)h_l + xh_v = 0,2 * 220 + 0,8 * 400 \approx 364 \text{ kJ/kg.K}$.

Pour la liquéfaction, il faut $Q = 2 * x_p * l_{liq} \approx 2 * 0,8 * (220 - 400) \approx -288 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Questions de réflexion

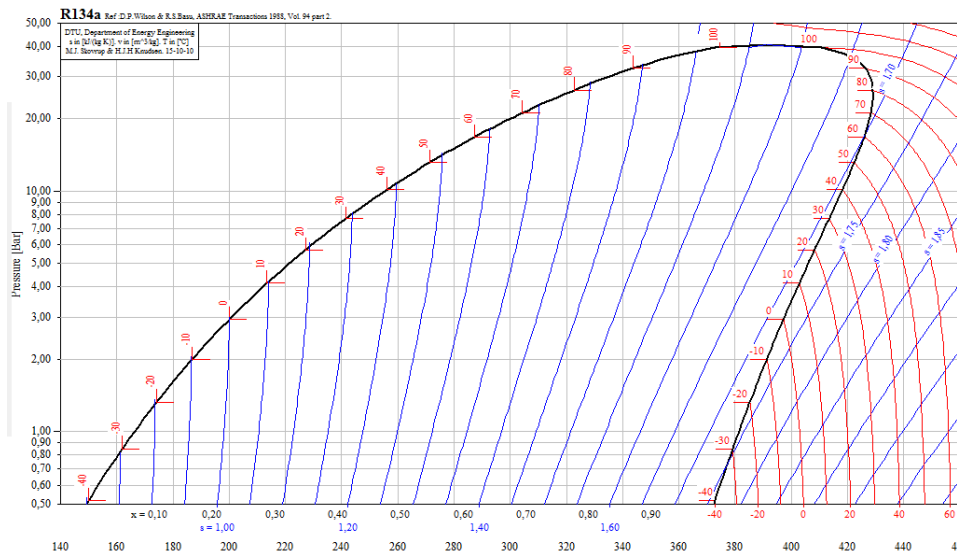
Pour trouver le point représentatif, on peut écrire que ce dernier vérifie un niveau entropique donné par $s_M = (1 - x)s_c + xs_B = 0,2 * 4.5 + 0,8 * 8.5 \approx 8 \text{ kJ/kg.K}$

Questions de réflexion : Donner le point représentatif de l'ammoniac en situation diphasique avec une fraction massique de vapeur de 0,8 à 20°C



Exercice : Thermochimie

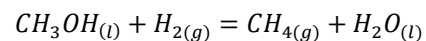
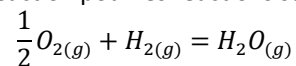
- Faire figurer les points et les transformations suivantes sur le diagramme p(h) ci-dessous :
 - A est une vapeur sèche à 10°C et à 2 bar
 - A-B est une compression adiabatique réversible jusqu'à 10 bar
 - B-C est un refroidissement isobare à 50°C
 - C-D est une compression adiabatique réversible jusqu'à 20 bar
 - D-E est un refroidissement isobare à 70°C
 - E-F est une compression adiabatique réversible jusqu'à 45 bar
 - F-G est un refroidissement isobare jusqu'à 70°C
 - G-H est une détente isenthalpe jusqu'à 1 bar
- Quelle est la fraction massique en gaz en H ?



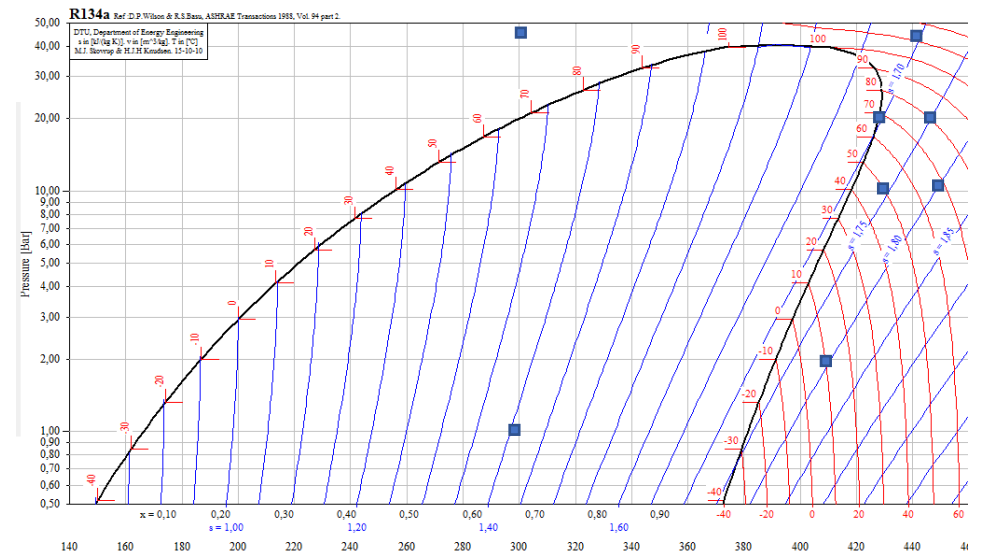
Exercice :

	CH ₃ COOH(l)	CO ₂ (g)	H ₂ O(l)	H ₂ O(g)	CH ₃ OH(l)	CH ₄ (g)	O ₂ (g)	H ₂ (g)
$\Delta_f H^\circ$ (kJ · mol ⁻¹)	-485	-400	-300	-250	-240	-70	0	0

Déterminer les enthalpies de réaction pour les réactions suivantes :



Exercice :



$$x_H = 0,7$$

Exercice :

$$\Delta_r H^\circ = -250 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

$$\Delta_r H^\circ = -130 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Exercice : Thermochimie :

Un système réchauffe une masse d'1 kg d'eau de 20°C en 80 s. On note $c = 4000 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ la capacité thermique massique de l'eau

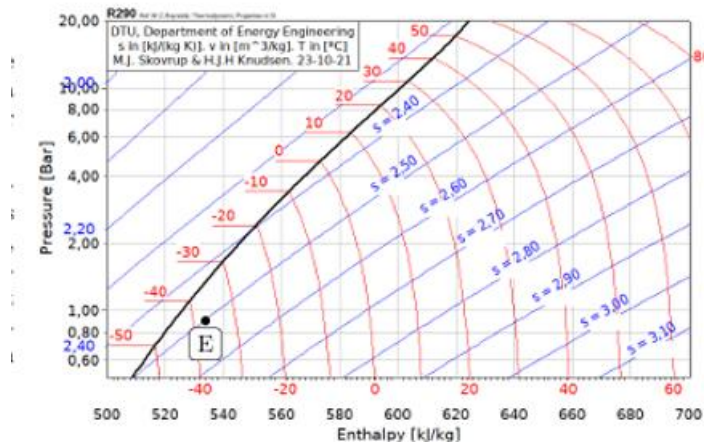
- 1) Donner la puissance P_r reçue par l'eau
- 2) Le rendement de ce système de chauffage est de 50%, quelle est la puissance P mise en jeu par le système de chauffage

La réaction mise en jeu lors du chauffage est : $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4(\text{s}) + 9 \text{O}_2(\text{g}) = 2 \text{N}_2(\text{g}) + 6 \text{CO}_2(\text{g}) + 6 \text{H}_2\text{O}(\text{g})$

Espèce	$\text{H}_2\text{O}(\text{gaz})$	$\text{CO}_2(\text{gaz})$	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4(\text{solide})$
$\Delta_f H^\circ$ en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	$-2,5 \cdot 10^2$	$-4,0 \cdot 10^2$	$1,23 \cdot 10^2$

- 3) Calculer l'enthalpie standard $\Delta_r H^\circ$ de cette réaction. Qualifier cette réaction
- 4) Calculer le pouvoir calorifique $PC (\text{J} \cdot \text{kg}^{-1})$ c'est-à-dire l'énergie libérée par kilogramme de $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_4$
- 5) Quelle masse de $\text{C}_6\text{H}_{14}\text{N}_4$ a été consommée ?

Exercice : diagramme



On considère la compression adiabatique réversible d'un gaz initialement en E. A l'issue de cette compression la pression de ce gaz est de 10 bar.

- 1) Quel est le travail de compression w_{rev}
- 2) En réalité la compression aboutie à un gaz à 10 bar mais à la température de 65°C, quel est le travail réel mis en jeu ? Que vaut l'entropie créée ?

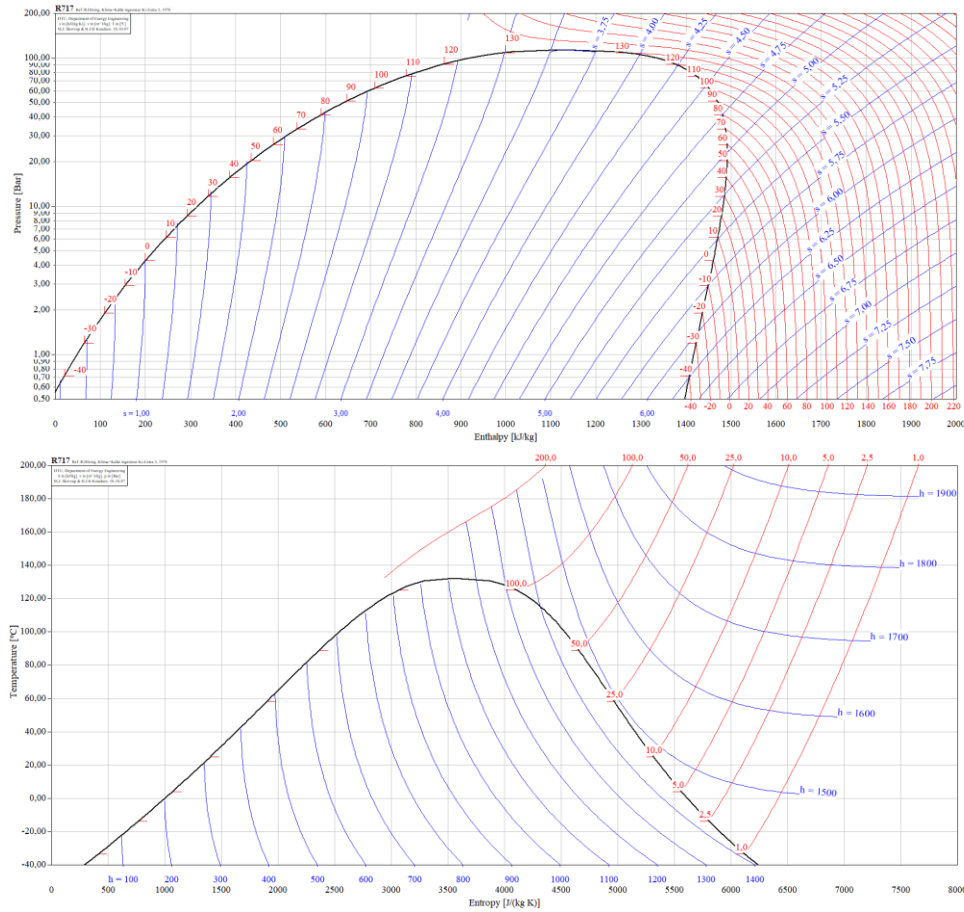
Exercice : Thermochimie

- 1) $P_r = \frac{4000 \cdot 20}{80} = 1000 \text{ W}$
- 2) $P = 2000 \text{ W}$
- 3) $\Delta_r H^\circ \approx -4000 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$
- 4) $PC = \frac{\Delta_r H^\circ}{M} \approx -\frac{4000}{140} \cdot 1000 \cdot 1000 \approx 20 \text{ MJ}$
- 5) $m = \frac{80\,000}{20\,000\,000} = 4 \text{ g}$

Exercice : diagramme

- $w_{rev} \approx 110 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- $w_{reel} \approx 150 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ et $s_c = 0,1 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Exercice 1 : Thermochimie : On considère les diagrammes de l'ammoniac ci-dessous :

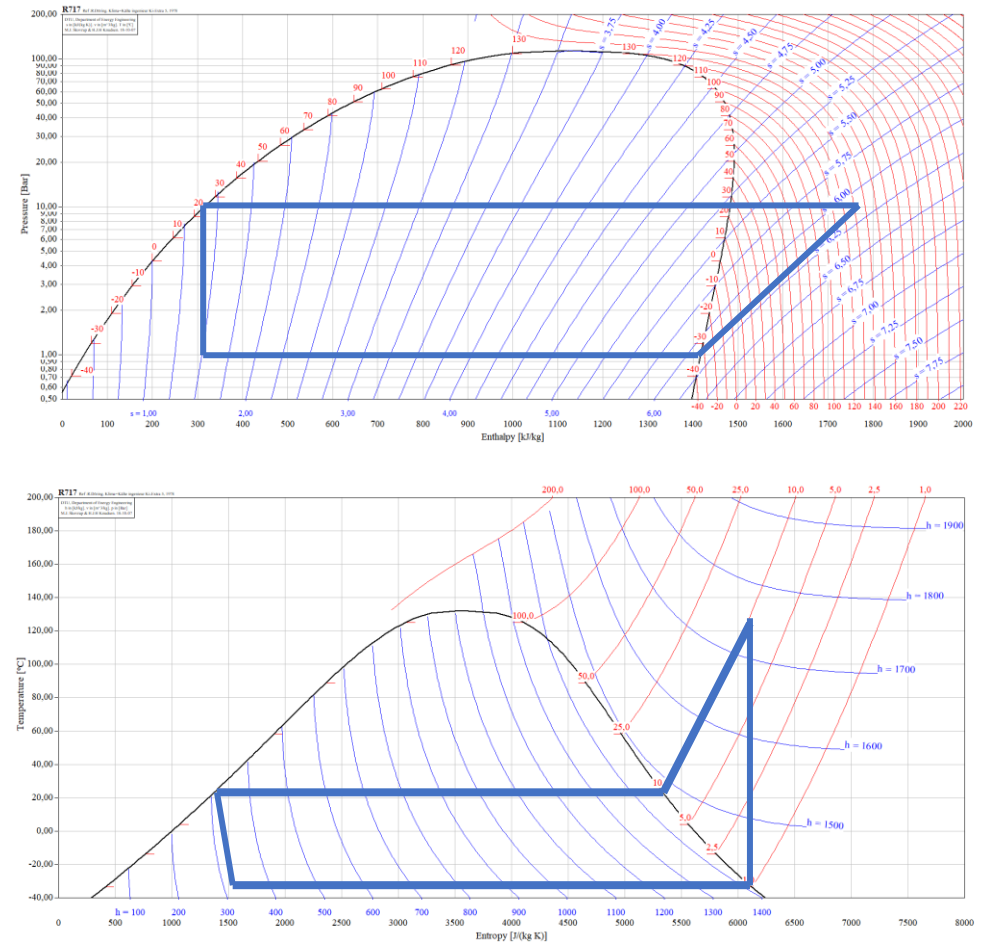


La machine effectue le cycle suivant (on néglige les variations d'énergies cinétique et potentielle):

- En A, le gaz est saturé à 1 bar et subit une compression adiabatique réversible jusqu'à l'état B de 10 bar
 - En B le gaz opère un refroidissement isobare, jusqu'à liquéfaction complète en C. En C, le liquide saturant subit une détente isenthalpe jusqu'à 1 bar puis une vaporisation isobare avec retour à l'état A
- 5) Dessiner le cycle des transformations.
 - 6) Calculer l'efficacité de cette machine si elle est utilisée en mode chauffage.
 - 7) Calculer l'efficacité de cette machine si elle est utilisée en mode refroidissement.
 - 8) Comparer aux résultats de Carnot (thermostat chaud à la température T_c , thermostat froid à la température T_A).

Exercice 1 :

On considère les diagrammes de l'ammoniac ci-dessous :



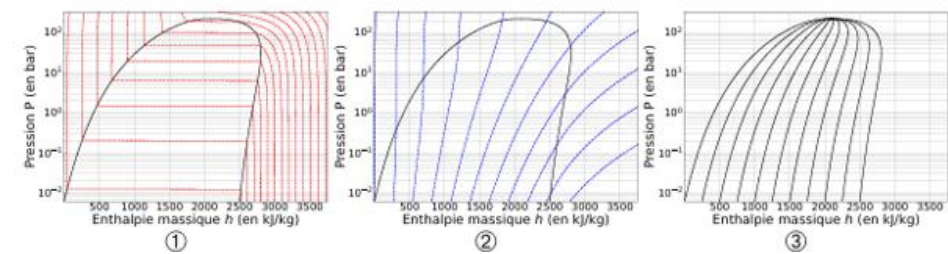
$$e = \frac{-q_c}{w} = \frac{1750 - 300}{1750 - 1400} = \frac{145}{35} \approx 4$$

$$e = \frac{q_f}{w} = \frac{1100}{350} \approx 3$$

$$e_{cop} = \frac{T_c}{\Delta T} = \frac{293}{55} \approx 5, e_{frigo} \approx 4$$

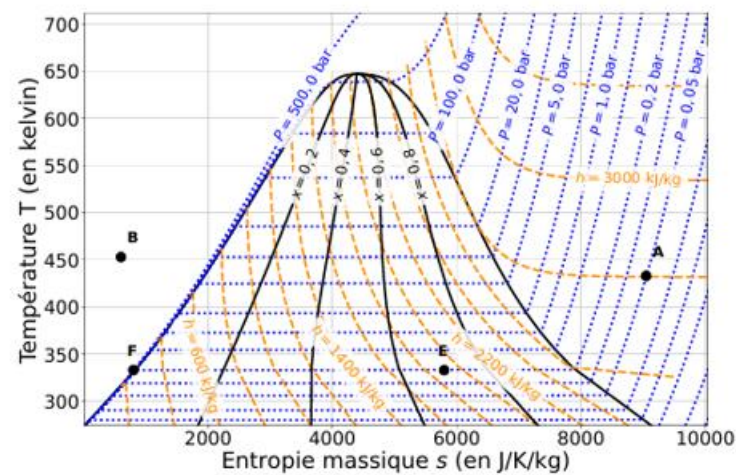
Exercice : diagramme

On donne 3 diagrammes enthalpiques. Identifier la nature des courbes représentées (isobare, isotitre, isenthalpe, isotherme, isentropique) :



Exercice : diagramme

On donne le diagramme suivant :



Remplir le tableau suivant (si c'est possible !) :

	Etat du fluide (liquide/gaz/fraction massique en gaz)	Pression, température	Enthalpie massique	Entropie massique
A				
B				
E				
F				

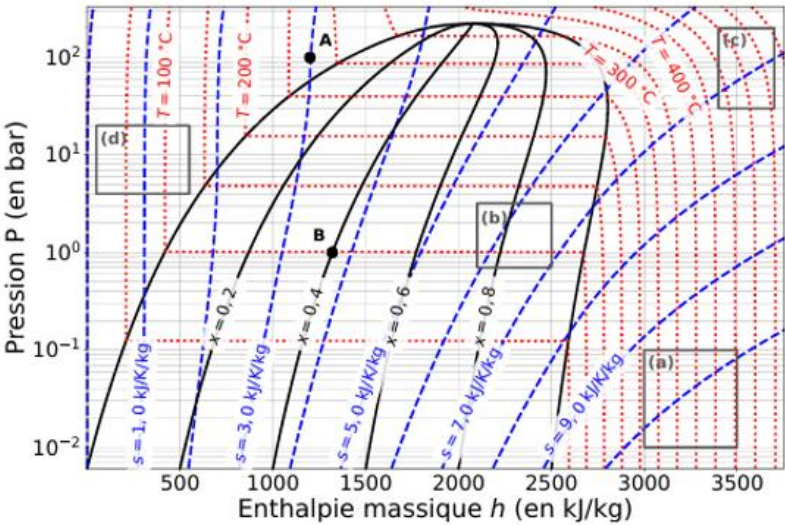
- Exercice :
- Isotherme
 - Isentropique
 - Isotitre

Exercice :

	Etat du fluide (liquide/gaz/fraction massique en gaz)	Pression, température	Enthalpie massique	Entropie massique (J/K/kg)
A	Gaz	$P = 0,05\text{bar}$ $T = 450^{\circ}\text{C}$	$h = 2800\text{kJ}.\text{kg}^{-1}$	$s = 9000$
B	Liquide	$P > 500\text{bar}$ $T = 450^{\circ}\text{C}$	$h \approx 200\text{kJ}.\text{kg}^{-1}$	$s \approx 9000$
E	Diphasique $x_v = 0,7$	$P = 0.2\text{bar}$ $T = 340^{\circ}\text{C}$	$h = 2100\text{kJ}.\text{kg}^{-1}$	$s = 6000$
F	Liquide saturé	$P = ?\text{bar}$ $T = 450^{\circ}\text{C}$	$h \approx 200\text{kJ}.\text{kg}^{-1}$	$s \approx 1000$

Considérons la compression adiabatique d’une phase condensée entre deux isobares :
 $du = Tds - pdv \approx -pdv \approx 0$ soit $cdT \approx 0$ donc les deux isobares sont très rapprochées

Exercice : diagramme



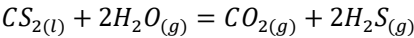
- 1) Identifier la nature des courbes a,b,c,d
- 2) Remplir le tableau suivant :

	Etat du fluide (liquide/gaz/fraction massique en gaz)	Pression, température	Enthalpie massique	Entropie massique
A				
B				

Exercice :

On donne : $\begin{cases} H_2S_{(g)} + \frac{3}{2}O_{2(g)} = H_2O_{(g)} + SO_{2(g)} \rightarrow \Delta_r H_1^0 = -500kJ.mol^{-1} \\ CS_{2(l)} + 3O_{2(g)} = CO_{2(g)} + 2SO_{2(g)} \rightarrow \Delta_r H_2^0 = -1000kJ.mol^{-1} \end{cases}$

Quelle est l’enthalpie de réaction de la réaction suivante :



Exercice

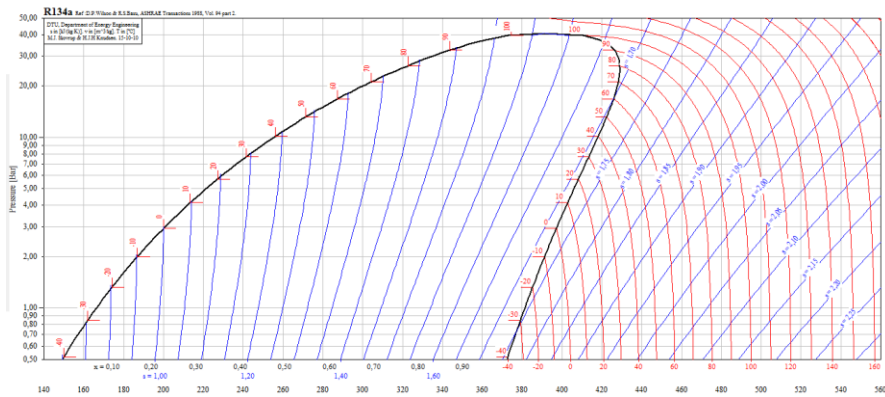
- 1) a : isentropique, b : isotitre, c : isotherme, d : isotherme et isenthalpe
- 2) On a :

	Etat du fluide (liquide/gaz/fraction massique en gaz)	Pression, température	Enthalpie massique(kJ/kg)	Entropie massique (kJ/K/kg)
A	Liquide	$T = 250^{\circ}C$ $P = 100bar$	$h \approx 1000$	$s \approx 3$
B	Mélange diphase $x = 0.4$	$T = 100^{\circ}C$ $P = 1bar$	$h \approx 1200$	$s \approx 3.75$

Exercice :

$\Delta_r H^0 = \Delta_r H_2^0 - 2\Delta_r H_1^0 = 0kJ/mol$

Exercice : diagramme p(h)



Le modèle du GP s'applique là où les isothermes sont aussi des isenthalpes (2^e loi de Joule).

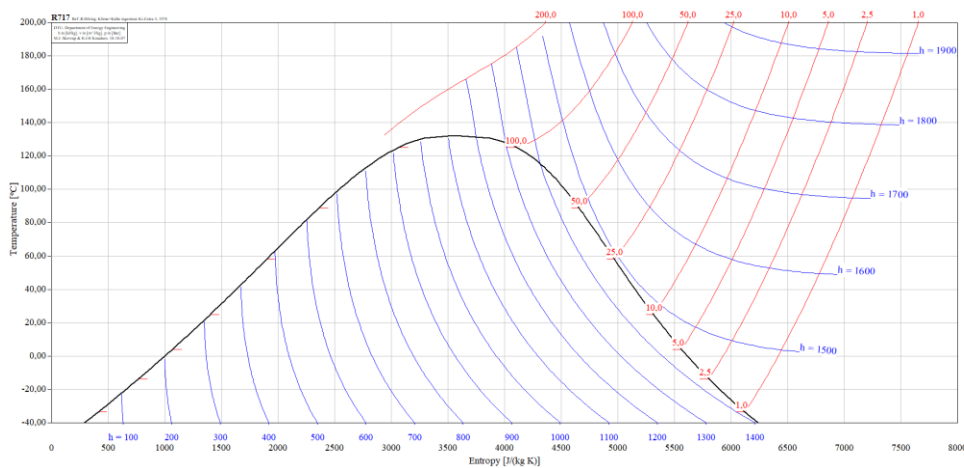
On peut alors appliquer la 2^e loi de Joule $c_p = \frac{\Delta h}{\Delta T} \approx 1 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$.

L'état 2 est à une pression de 3bar.

- 1) Dans quelle zone du diagramme le gaz R134a peut-il être considéré comme parfait.
- 2) On considère ce gaz à la pression de 1bar, déterminer sa capacité thermique massique.
- 3) On considère ce fluide à l'état 1 $\{P_1 = 1\text{bar}, T_1 = 0^\circ\text{C}\}$, il subit ensuite une compression isotherme jusqu'à l'état 2 $\{P_2, T_2\}$ puis une détente isenthalpe conduisant à l'état 3 $\{P_3 = 1\text{bar}, x_3 = 0,4\}$. Positionner graphiquement l'état 2.

Exercice : diagramme T(s)

On considère le diagramme suivant :



Le fluide subit le cycle de transformation suivant :

- Gaz saturant à la pression de 5 bar, il subit une compression adiabatique réversible jusqu'à la pression de 25 bar.
- Un refroidissement isobare dans un condenseur jusqu'à apparition du liquide saturant. Cet échangeur thermique ne met en jeu aucun travail et est à la température extérieure de 20°C
- Une détente isenthalpe avec retour à la pression de 5 bar
- Une vaporisation isobare complète avec retour à l'état initial au contact de la source. Cet évaporateur ne met en jeu aucun travail et est à une température légèrement supérieure à 0°C.

On néglige les variations d'énergie cinétique et potentielle.

- 1) Déterminer le COP de cette machine utilisée comme système de refroidissement.
- 2) Exprimer l'entropie massique créée dans les deux échangeurs thermiques.

$$COP = \frac{q_f}{w} = \frac{1450 - 500}{1700 - 1450} \approx 4$$

$$s_{c,condenseur} = \Delta s_{condenseur} - \frac{q_c}{T_{20}} = 1500 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \text{ kg}^{-1} > 0$$

$$s_{c,évap} = \Delta s_{évap} - \frac{q_f}{T_0} \approx 0$$

Transformation presque réversible dans l'évaporateur car faible déséquilibre thermique avec l'extérieur.