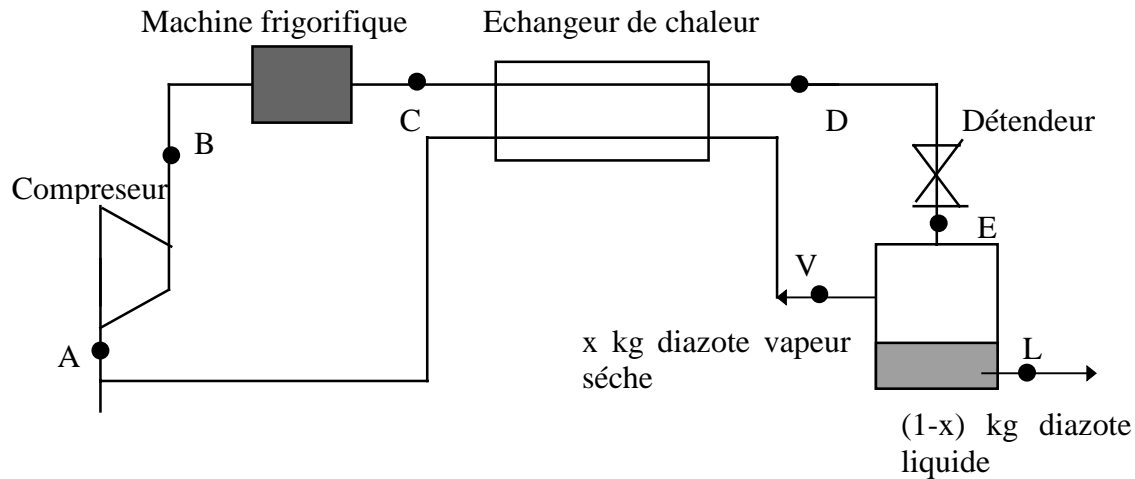


Etude d'un liquéfacteur de diazote

Schéma simplifié du **procédé Linde**, utilisé pour produire du diazote liquide.



Le diazote gazeux entre dans le compresseur dans l'état A caractérisé par $p_A = 1$ bar et $T_A = 290$ K. Il y subit une compression isotherme qui l'amène à la pression $p_B = 200$ bars.

Un premier refroidissement, effectué grâce à une machine frigorifique M, l'amène à une température $T_C = 220$ K, sans changement de pression.

Il est ensuite encore refroidi à pression constante dans un échangeur de chaleur E par le gaz recyclé jusqu'à la température $T_D = 158$ K.

Puis il est détendu isenthalpiquement jusqu'à la pression atmosphérique $p_A = 1$ bar dans le détendeur (point E).

Le diazote liquide est extrait du séparateur S (point L) et la vapeur saturée sèche (point V) est utilisée pour refroidir le diazote dans l'échangeur. On note : $y = (1 - x)$ la masse de diazote liquide obtenue pour 1 kg de diazote comprimé.

On suppose que tous les circuits sont parfaitement calorifugés et on néglige les variations d'énergie cinétique et potentielle.

1) Placer les points A, B, C, D, E, L et V sur le diagramme entropique.
En déduire la température T_E .

2) Etude de la compression isotherme et réversible

a) Montrer que la quantité de chaleur Q_{AB} échangée au cours de la compression isotherme et réversible de 1 kg de diazote est égale à : $Q_{AB} = T (s_B - s_A)$.

Calculer Q_{AB} .

b) Le compresseur est refroidi uniquement par un circuit d'eau dans lequel l'eau subit une augmentation de température de $\Delta\theta = 10\text{ }^\circ\text{C}$. Déterminer la masse d'eau nécessaire au refroidissement du compresseur lorsque celui-ci comprime 1 kg de diazote.

c) Déterminer le travail échangé $W_{AB\text{théorique}}$ entre l'unité de masse de diazote et le compresseur si on admet que la compression s'effectue de façon isotherme et réversible, et que le diazote est assimilé à un gaz parfait.

d) Comparer Q_{AB} et $W_{AB\text{théorique}}$. Que constate-t-on ? D'où peut provenir la différence ?
Que choisir pour W_{AB} ?

3) Etude de la machine frigorifique

La machine frigorifique enlève à pression constante une quantité de chaleur Q_{BC} au diazote alors qu'elle fournit un travail W_{BC} .

La machine frigorifique a un coefficient d'efficacité : $e = 3$

a) Pourquoi peut-on écrire : $Q_{BC} = h_C - h_B$.

b) En utilisant le diagramme, déterminer la quantité de chaleur Q_{BC} enlevée par la machine frigorifique à 1 kg de diazote gazeux passant de l'état B à l'état C.

c) Calculer le travail W_{BC} dépensé par la machine frigorifique.

4) Détermination du titre x de la vapeur

a) Donner la relation entre x et les entropies massiques s_E , s_V et s_L .

b) En déduire x .

5) Bilan

a) Calculer l'énergie dépensée pour produire 1 kg de diazote liquide.

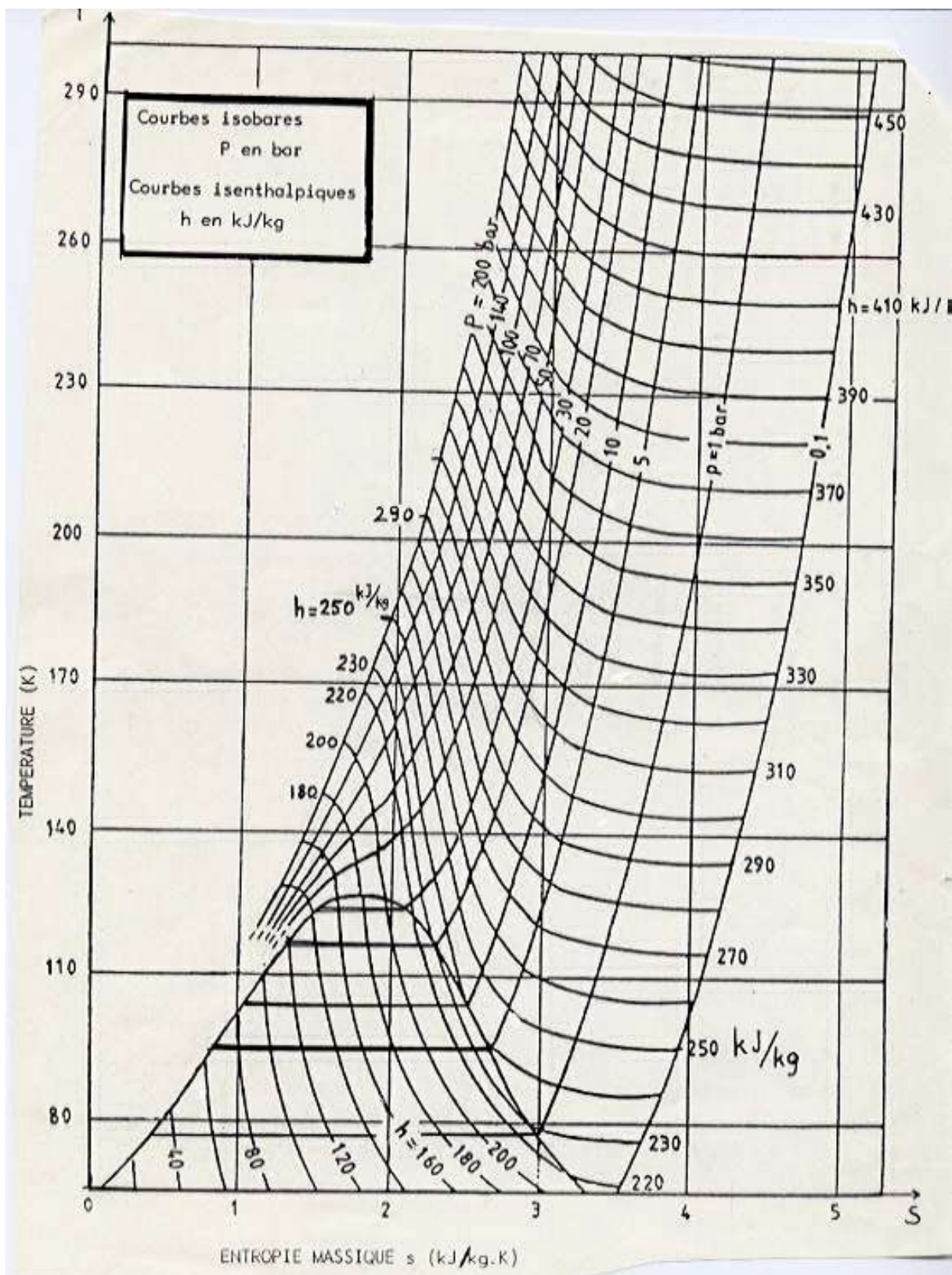
b) En déduire la puissance de l'installation si l'on désire obtenir 10 kg de diazote liquide par heure.

Capacité thermique massique de l'eau : $c_p = 4,18\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$

Masse molaire du diazote : $M = 28,0\cdot 10^{-3}\text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$

Constante des gaz parfaits : $R = 8,31\text{ J}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{mol}^{-1}$

Diagramme du diazote



Corrigé : liquéfaction du diazote

1) $T_E = 77 \text{ K}$

2) $\Delta S = dQ/T$ dans le cas d'une transformation réversible

Si la transformation est isotherme : $\Delta S = Q/T$

$$Q_{AB} = T (s_B - s_A)$$

$$Q_{AB} = 290 (2,68 - 4,47) = - 519 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$|Q_{AB}| = m c_p \Delta\theta$$

$$m = 12,4 \text{ kg}$$

$$W_{AB\text{théorique}} = - \int p dV = - nRT_A \int dV/V = - nRT_A \ln(V_B/V_A) = nRT_A \ln(p_B/p_A)$$

$$W_{AB\text{théorique}} = (1000/28) \times 8,31 \times 290 \times \ln(200/1) = 456 \cdot 10^3 \text{ J.kg}^{-1} = 456 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

D'après le premier principe, $Q_{AB} + W_{AB} = 0$

La différence vient du fait que la compression n'est pas une transformation réversible et que le diazote n'est pas un gaz parfait.

$$W_{AB} = 519 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

3) **Transformation isobare** : $Q_{BC} = h_C - h_B$

$$b) Q_{BC} = 315 - 420 = - 105 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$c) W_{BC} = Q_{BC}/e$$

$$W_{BC} = 35 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

$$4) s_E = (1 - x) s_L + x s_V$$

$$x = (s_E - s_L)/(s_V - s_L)$$

$$x = (2,68 - 0,42)/(3 - 0,42) = 0,88$$

5) Bilan

Il faut : $W = W_{AB} + W_{BC}$ pour produire 0,12 kg d'azote, soit $(519 + 35) = 554 \text{ kJ}$

Pour produire 1 kg, il faut donc : 4620 kJ

Puissance de l'installation pour produire 10 kg par heure : $P = 46200/3600 = 12,8 \text{ kW}$