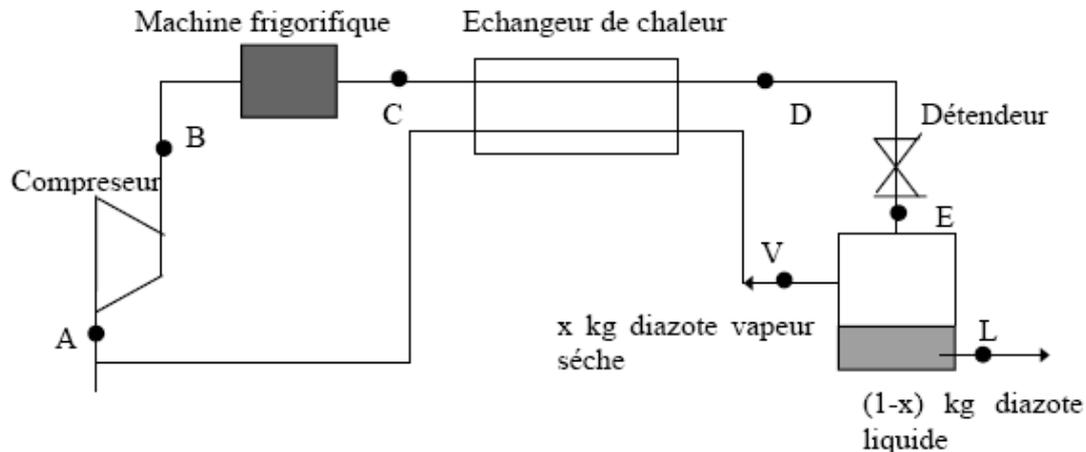


Exercice physique

ÉTUDE 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

2.1) 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} .

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

2.3) 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.

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

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 : $e = 3$

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

3.2) En utilisant le diagramme, déterminer la quantité de chaleur Q enlevée par la machine frigorifique à 1 kg de diazote gazeux passant de l'état B à l'état C.

3.3) Calculer le travail W dépensé par la machine frigorifique.

4) Détermination du titre x de la vapeur

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

4.2) En déduire x .

5) Bilan

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

5.2) 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 : $c_p = 4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Masse molaire du diazote : $M = 28,0.10^{-3} \text{ kg.mol}^{-1}$

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

