

T6.7. Machine de Linde pour la liquéfaction des gaz

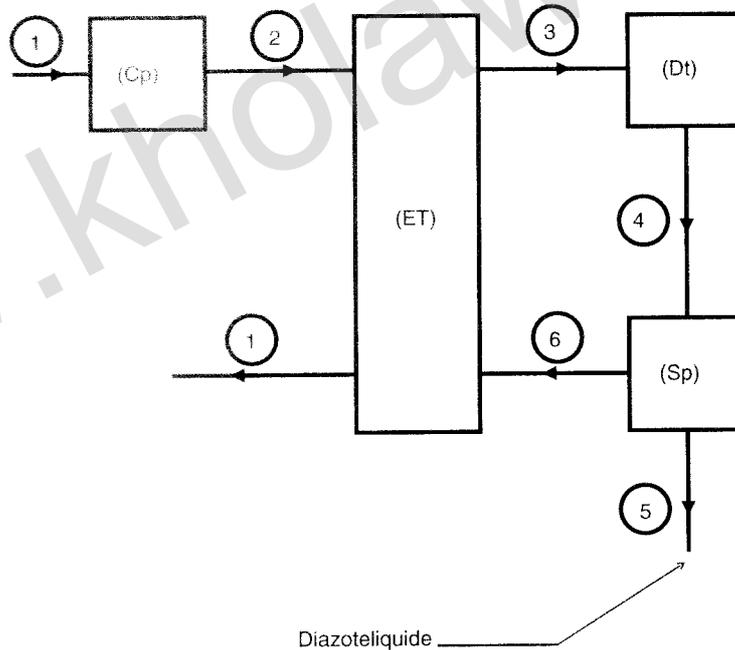
La machine de Linde, représenté sur la figure, est utilisée pour obtenir du diazote liquide à partir de diazote initialement gazeux a la pression $p_1 = 1,0$ bar et la température $T_1 = 290$ K : elle fonctionne en régime stationnaire et les variations d'énergie mécaniques sont négligeables.

Le diazote évolue de manière réversible et isotherme de l'état E_1 ($p_1 = 1,0$ bar ; $T_1 = 290$ K) jusqu'à l'état E_2 ($p_2 = 200$ bar ; $T_2 = 290$ K) dans le compresseur (Cp).

Puis il traverse un échangeur thermique calorifugé (Et) où il évolue de manière isobare de l'état E_2 à l'état E_3 ($p_3 = 200$ bar ; T_3) en croisant une autre circulation de diazote évoluant de l'état E_6 l'état E_1 .

Puis le diazote subit une détente isenthalpique dans le détendeur (Dt) où il évolue de l'état E_3 a l'état E_4 ($p_4 = 1,0$ bar ; $T_4 = 78$ K ; x_4) où il est diphasé avec un titre massique en vapeur x_4 .

A la traversée du séparateur (Sp), le liquide est séparé et recueilli quasi-pur dans l'état E_5 ($p_5 = 1,0$ bar ; $T_5 = 78$ K ; $x_5 = 0$). La vapeur est récupérée quasi-pure dans l'état E_6 ($p_6 = 1,0$ bar ; $T_6 = 78$ K ; $x_6 = 1$), et traverse ensuite l'échangeur thermique (Et) où elle évolue de l'état E_6 à l'état E_1 en croisant l'autre circulation de diazote qui évolue de l'état E_2 à l'état E_3 .



Les données concernant les différents états du diazote sont fournies par le tableau suivant :

Etat	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6
p en bar	1,0	200	200	1,0	1,0	1,0
T en K	290	290	160	78	78	78
h en kJ.kg^{-1}	451	421	$h_3 = h_4$	$h_4 = h_3$	34	228
s en $\text{kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$	4,40	2,68	1,76		0,44	2,96

- Donner l'expression de h_4 en fonction de h_5 , h_6 et x_4 . On considère le système fermé (Σ^*) constitué du diazote contenu à l'instant t dans l'échangeur thermique et des masses dm_2 et dm_6 qui vont y entrer entre les instants t et $t + dt$. En faisant un bilan énergétique pour (Σ^*) établir une relation h_1 , h_2 , h_3 , h_6 et x_4 . En déduire la valeur de x_4 , h_4 et s_4 . Comparer s_3 et s_4 et commenter.
- En appliquant les deux principes de la thermodynamique à un système fermé bien choisi, calculer le transfert thermique Q et le travail W reçus par 1 kg de diazote traversant le compresseur.
En déduire la masse de diazote liquide recueillie par heure pour une machine de puissance $P = 100$ kW.