

Etude d'un liquéfacteur d'azote

Il s'agit de calculer l'énergie dépensée pour fabriquer 1 kg d'azote liquide à partir d'azote gazeux pris dans les conditions ambiantes ($p_1 = 1 \text{ bar}$, $T_1 = 290 \text{ K}$).

La figure n° 1 du document 1 représente le schéma de principe de l'installation.

L'étude de ce procédé se fera essentiellement en utilisant le diagramme entropique ci-joint (document 2), sauf pour la partie II (questions 2-1 et 2-2).

Ce diagramme., sur lequel on fera figurer les divers états de l'azote qui interviennent dans l'étude du procédé, sera rendu avec la copie.

A chaque utilisation du diagramme, il est demandé de justifier les réponses.

Description de l'installation

- Une certaine masse d'azote entre dans le compresseur C_1 à l'état 1 ($p_1 = 1 \text{ bar}$; $T_1 = 290 \text{ K}$), elle y subit une compression isotherme jusqu'à $p_2 = 20 \text{ bar}$.
- L'azote qui passe dans le compresseur C_2 subit une compression isotherme jusqu'à $p_3 = 200 \text{ bar}$.
- Puis un premier refroidissement, effectué grâce à une machine frigorifique M l'amène à la température $T_4 = 220 \text{ K}$ sans changement de pression.
- Ce gaz est encore refroidi, à pression constante, dans l'échangeur E par le gaz recyclé.
- Ensuite une détente isenthalpique dans la vanne V , de 200 à 20 bar, provoque un abaissement de température et une liquéfaction partielle de l'azote.
- L'azote liquide est extrait du séparateur S (état 7). La vapeur sèche d'azote, (ou gaz recyclé, état 8), est utilisée dans l'échangeur E pour refroidir de T_4 à T_5 l'azote comprimé.
- Le gaz recyclé se réchauffe dans l'échangeur E jusqu'à 290 K (état 2) puis est mélangé au gaz sortant du compresseur C_1 .

On note y la masse d'azote liquide obtenu pour 1 kg d'azote comprimé dans C_2 et subissant la détente isenthalpique.

I - Calcul de y

1.1 - Placer sur le diagramme entropique les points représentant les états 1, 2, 3, 4, 7, et 8.

1.2 - En écrivant le premier principe de la thermodynamique pour l'ensemble [séparateur - vanne - échangeur E] (voir figure 2 du document 1) donner la relation entre y et les enthalpies massiques h_4 , h_7 et h_2 .

On suppose que la vanne, le séparateur, l'échangeur et tous les circuits de liaison sont parfaitement calorifugés et on néglige les variations d'énergie cinétique.

1.3 - Lire les enthalpies massiques sur le diagramme et calculer y ,

II - Etude des compresseurs

On admet que les deux compressions de l'azote, dans C_1 et C_2 , s'effectuent de façon isotherme et mécaniquement réversible.

L'azote gazeux N_2 sera assimilé à un gaz parfait de masse molaire $M = 28.10^{-3} \text{ kg.mol}^{-1}$

On rappelle la constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J. K}^{-1}. \text{mol}^{-1}$.

2.1 - Calculer le travail de compression W_1 dépensé dans le compresseur C_1 lorsque l'on obtient y kg d'azote liquide au séparateur S .

2.2 - Calculer le travail de compression W_2 dépensé dans le compresseur C_2 pour la production de y kg d'azote liquide.

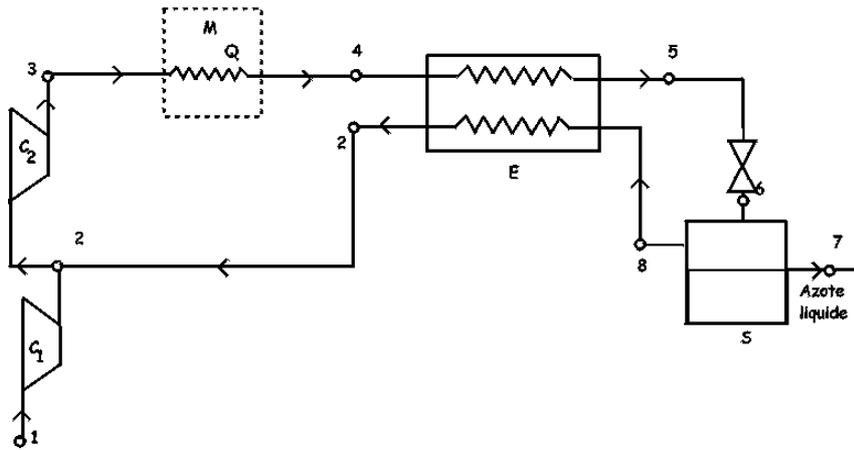
Bilan

La machine frigorifique a un coefficient d'efficacité de 3.

3.1 Calculer la quantité de chaleur Q enlevée par la machine frigorifique à 1 kg d'azote gazeux passant de l'état 3 à l'état 4 (utiliser le diagramme en justifiant).

3.2 Calculer le travail W_3 dépensé par la machine frigorifique quand on produit y kg d'azote liquide.

3.3 Calculer l'énergie dépensée pour produire 1 kg d'azote liquide.



SCHEMA DE L'INSTALLATION

Figure 1

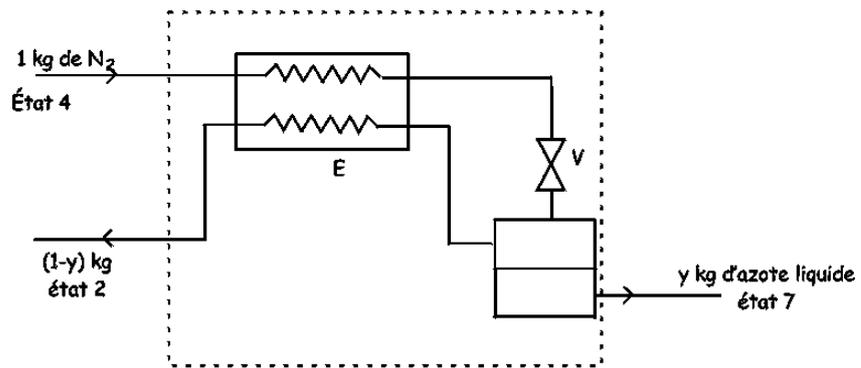
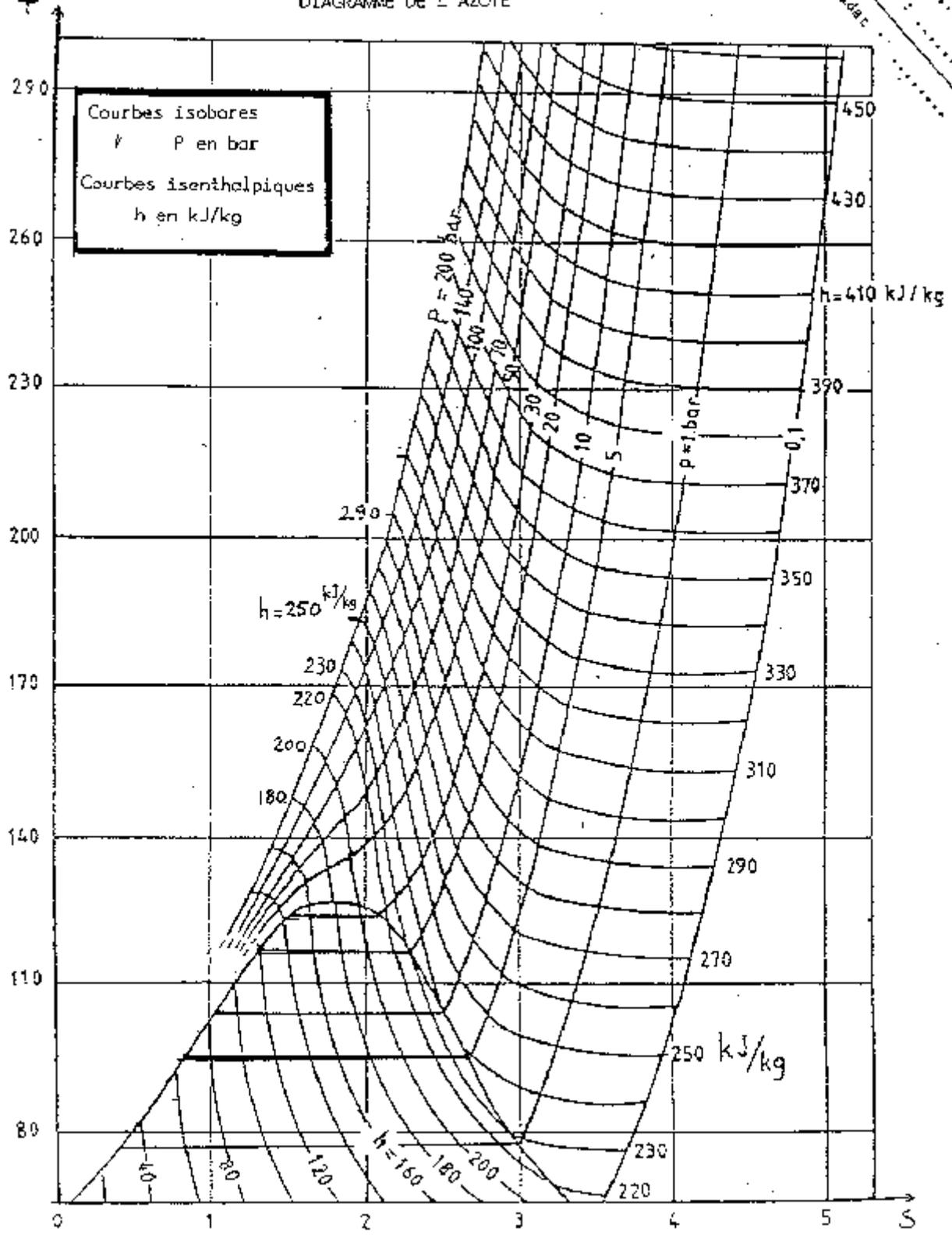


Figure 2

DIAGRAMME DE L'AZOTE



ENTROPIE MASSIQUE s (kJ/kg.K)

Feuille 5

.....
sidaE :
candidat :