

### 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

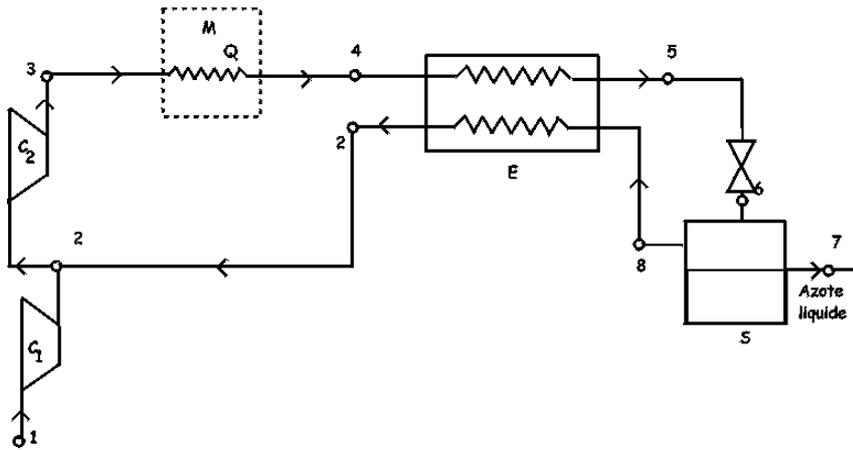
La machine frigorifique a un coefficient d'efficacité de 3.

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.

DOCUMENT 1



SCHEMA DE L'INSTALLATION

Figure 1

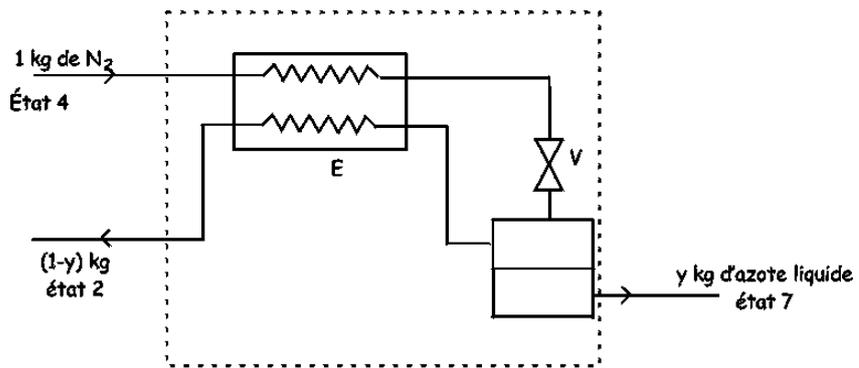
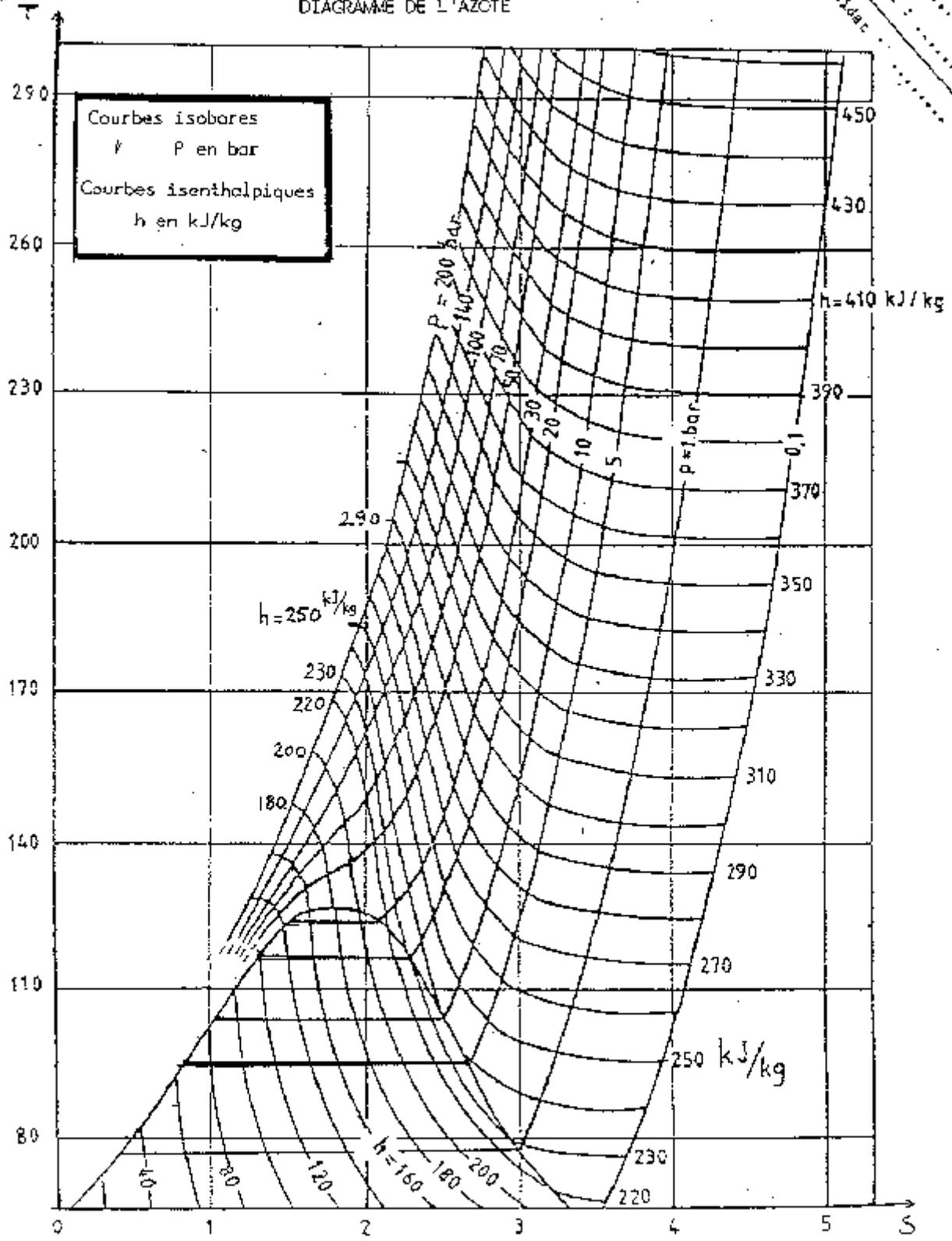


Figure 2

DIAGRAMME DE L'AZOTE



Courbes isobares  
P en bar  
Courbes isenthalpiques  
h en kJ/kg

ENTROPIE MASSIQUE s (kJ/kg.K)

Feuille 5

.....  
sidaE : .....  
.....  
candidat

On se propose de réaliser une pile électrochimique reliant 2 cuves par un pont électrolytique.

Dans la première cuve une lame de cuivre plonge dans une solution de sulfate de cuivre  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  ( $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ )

Dans la seconde une lame de platine plonge dans une solution contenant du dichromate de potassium  $2\text{K}^+$ ,  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  ( $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ), du chlorure chromique  $\text{Cr}^{3+}$ ,  $3\text{Cl}^-$  ( $10^{-1} \text{ mol} \cdot \text{dm}^{-3}$ ) et de l'acide en excès.

1. Ecrire les deux réactions aux électrodes.
2. Ecrire la réaction chimique globale et indiquer dans quel sens elle est susceptible de se produire spontanément.
3. Exprimer le potentiel de chaque électrode.
4. Lorsque la pile ne débite pas, exprimer sa *f.e.m.* en fonction du *pH* de la solution contenue dans la cuve n°2.
5. On réunit les deux électrodes à l'aide d'un résistor. Indiquer la polarité des électrodes et le sens du courant dans le résistor.
6. On laisse la pile débiter dans le circuit extérieur.

Comment évoluent qualitativement :

- a. la masse de la lame de cuivre ?
- b. les concentrations des différents ions dans les 2 cuves ?
- c. le *pH* de la solution de la cuve n°2 ?
- d. la *f.e.m.* de la pile (justifier la réponse) ?

**Données :**

$$R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} ;$$

$$F = 96500 \text{ C} ;$$

Température de l'expérience :  $T = 298 \text{ K}$  ;

Potentiels normaux des couples d'oxydoréduction :

$$\text{Cu}^{2+} / \text{Cu} \quad E^0_1 = 0,34 \text{ V}$$

$$\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} / \text{Cr}^{3+} \quad E^0_2 = 1,33 \text{ V}$$