

Test Final

*La Cryogénie*

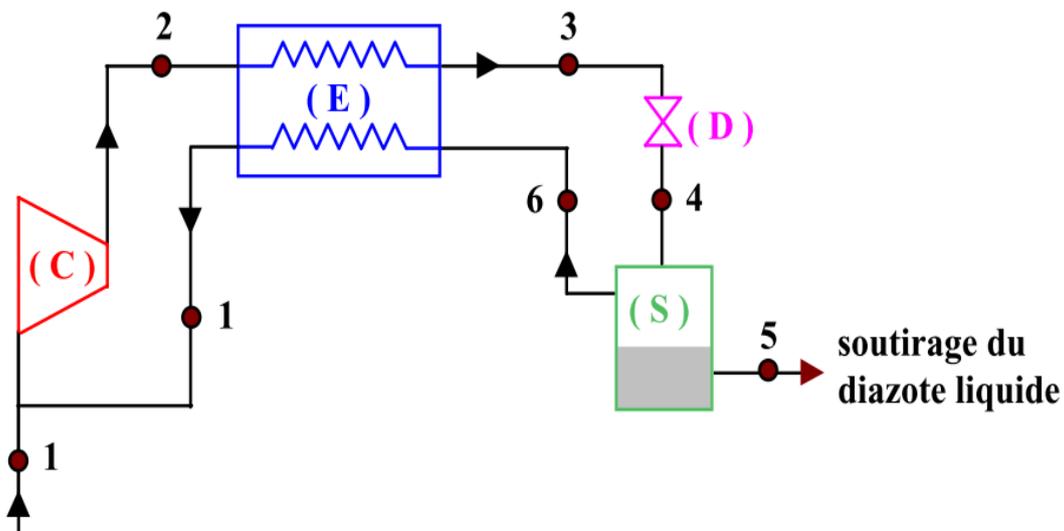
## Question de cours

- 1- Citer les différents cas de la matière et schématiser leurs transformations.
- 2- Quel sont les fluides cryogéniques ?
- 3- Donner une définition de la liquéfaction
- 4- Quel est la différence entre une installation frigorifique et une installation cryogéniques ?
- 5- Justifier que la détente de J-T est une détente Isenthalpique.
- 6- Expliquer en bref la courbe d'inversion du gaz (diagramme TP)

## Etude du cycle

### Exercice 01 : Cycle de LINDE simple

La figure ci-dessous représente le schéma de principe du procédé LINDE , utilisé pour produire de l'azote liquide (du diazote liquide, en nomenclature systématique).



L'azote entre dans le compresseur (C) dans l'état 1 caractérisé par  $p_1 = 1 \text{ bar}$  et  $T_1 = 290 \text{ K}$ ; il y subit une compression qui l'amène à la pression  $p_2 = 200 \text{ bar}$ .

Il est, ensuite, refroidi à pression constante jusqu'à la température  $T_E = 158 \text{ K}$  dans l'échangeur (E) puis détendu jusqu'à la pression atmosphérique  $p_4 = 1 \text{ bar}$  dans le détendeur (D).

L'azote liquide est extrait du séparateur (S) et la vapeur saturée sèche d'azote est utilisée pour refroidir l'azote dans l'échangeur. On admettra que cette vapeur d'azote est ramenée à l'état 1 à la sortie de l'échangeur.

## A - Étude de la compression

Le compresseur (C) est refroidi uniquement par un circuit d'eau dans lequel l'eau subit une augmentation de température de  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . On admet que la compression de l'azote s'effectue de façon isotherme de l'état 1 à l'état 2 ( $p_2 = 200\text{ bar}$ ).

En utilisant le diagramme entropique de l'azote, on demande :

**1° question** : De placer sur le diagramme les points A et B représentant les états 1 et 2 de l'azote. En déduire les enthalpies et entropies massiques.

**2° question** : De calculer la quantité de chaleur échangée au cours de cette compression.

**3° question** : De déterminer la masse d'eau nécessaire au refroidissement du compresseur lorsque celui-ci comprime une masse de  $m = 1\text{ kg}$  d'azote.

La capacité thermique massique de l'eau est  $C = 4,18\text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ .

**4° question** : De déterminer le travail échangé entre l'unité de masse d'azote et le compresseur.

## B - Etude du refroidissement :

L'azote, à la sortie du compresseur, est refroidi dans l'échangeur (E) à pression constante  $p_2$  jusqu'à ce que sa température atteigne la valeur de  $158\text{ K}$ . Il subit, ensuite, une détente isenthalpique jusqu'à la pression  $p_4 = 1\text{ bar}$ .

**1° question** : Placer, sur le diagramme entropique, les points C et D correspondant aux états de l'azote à la sortie de l'échangeur (E) et du détendeur (D). Quelle est la température correspondant au point D ?

**2° question** : Quelles sont les enthalpies et les entropies massiques aux points C et D ?

**3° question** : Représenter également les points E et F correspondant à l'azote liquide (état 5) et à la vapeur sèche saturée (état 6). Quelles sont les enthalpies et les entropies massiques aux points E et F ?

**4° question** : Quel est le titre de la vapeur en D ? En déduire la masse d'azote liquide obtenue par kilogramme d'azote.

**5° question** : Calculer le travail de compression nécessaire pour obtenir un kilogramme d'azote liquide.

En déduire la puissance du compresseur si l'on désire obtenir  $40\text{ kg}$  d'azote liquide par heure.

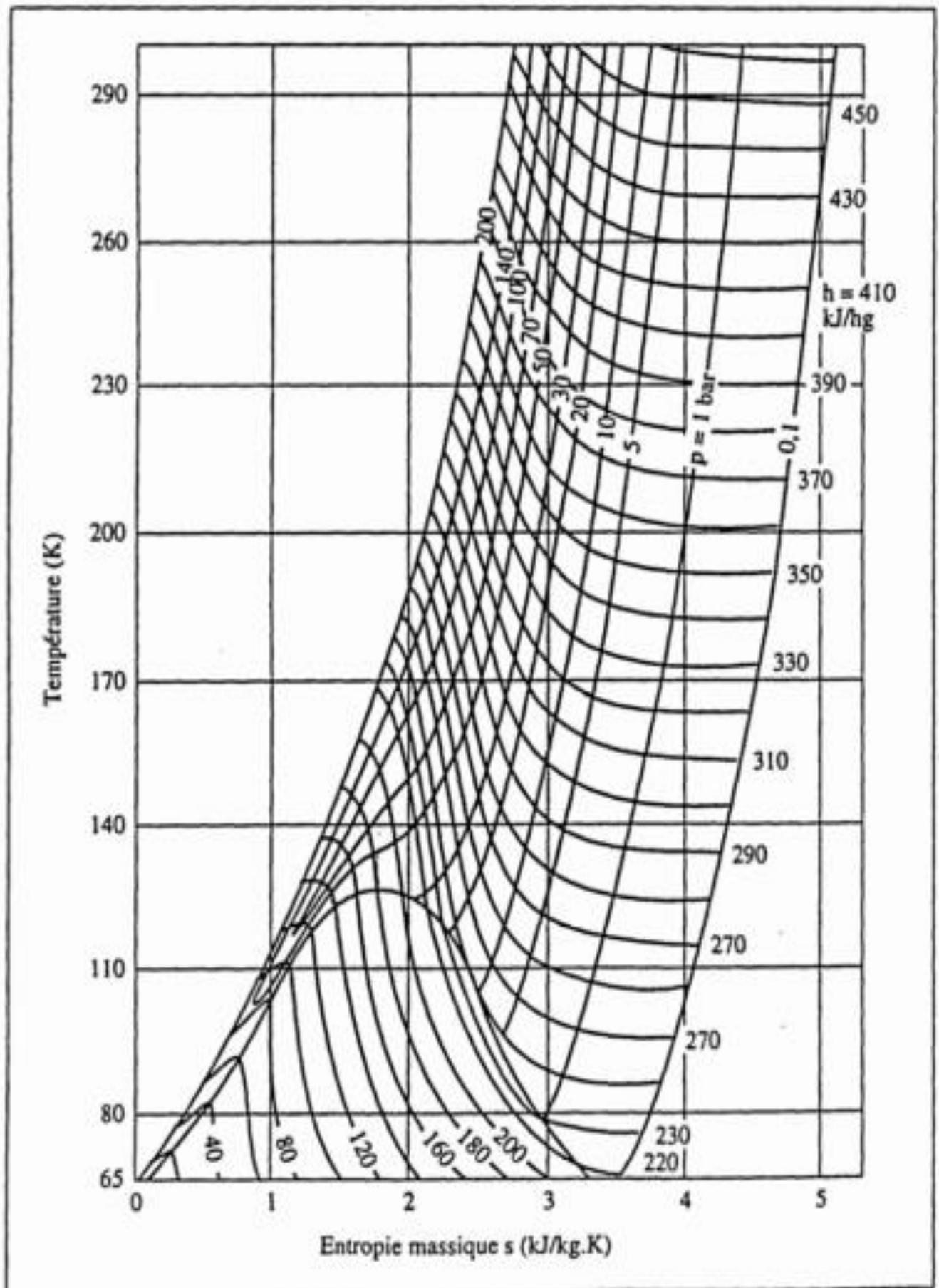


Diagramme de l'azote.