



## Exercices du chapitre 22

**Plan** (Cliquer sur le titre pour accéder au paragraphe)

\*\*\*\*\*

\*\*

Exercices du chapitre 22.....	1
22. 1. Vaporisation de l'eau selon deux processus.....	1
22. 2. Liquéfaction du diazote par détente de Joule Kelvin.....	1
22. 3. Évolutions d'équilibres diphasés de l'eau.....	2

\*\*\*\*\*

\*\*

### 22. 1. Vaporisation de l'eau selon deux processus

On considère 1 g d'eau initialement liquide à 100°C dont la pression est égale à sa pression de vapeur saturante  $P_0 = 1,013 \cdot 10^5$  Pa. On vaporise l'eau de deux manières :

a) Processus a : L'eau est enfermée dans un récipient fermé par un piston, en contact thermique avec un thermostat à 100°C. Par déplacement très lent du piston on vaporise l'eau jusqu'à ce que tout le liquide disparaisse ; le volume du récipient est alors égal à  $V_v = 1,67 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ .

b) Processus b : l'eau est introduite rapidement dans un récipient fermé, initialement vide, de volume invariable  $V_v$  en contact thermique avec le thermostat à 100°C.

Pour chacun des processus, calculer les variations d'énergie interne, d'enthalpie et d'entropie de l'eau. Calculer la création totale d'entropie de l'univers lors du processus irréversible.

enthalpie de vaporisation de l'eau est à 100°C  $L_v = 2,25 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$ .

Réponses :  $\Delta h = 2.25 \cdot 10^3 \text{ J}$ ,  $\Delta u = 2.08 \cdot 10^3 \text{ J}$ ,  $\Delta s_{\text{sys}} = 6.03 \text{ J.K}^{-1}$ ,  $\Delta s_{\text{un}} = 0.45 \text{ J.K}^{-1}$

### 22. 2. Liquéfaction du diazote par détente de Joule Kelvin

On cherche à obtenir du diazote liquide à la température  $T_0 = 78 \text{ K}$  pour laquelle la pression de vapeur saturante vaut  $p(T_0) = 1 \text{ bar}$ . Dans la machine de Linde, on fait subir au diazote une détente isenthalpique de l'état initial  $E_1$  ( $p_1$  ;  $T_1 = 290 \text{ K}$  ;  $h_1$ ) correspondant au diazote gazeux comprimé vers l'état final  $E_2$  ( $p_2 = 1,0 \text{ bar}$  ;  $T_2 = 78 \text{ K}$  ;  $h_2$ ) correspondant à un système diphasé liquide-vapeur. Il ne reste plus ensuite qu'à séparer le liquide et la vapeur.

On adopte l'expression approchée de l'enthalpie massique du diazote gazeux :

$$h = c_p T + b p + k$$

avec

$$c_p = 1,04 \text{ kJ.K}^{-1} \text{ kg}^{-1}, \quad b = -1,51 \text{ kJ.kg}^{-1} \text{ bar}^{-1} \quad k = 150 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

On donne les enthalpies massiques  $h_{2l} = 34 \text{ kJ.kg}^{-1}$  du diazote liquide et  $h_{2v} = 230 \text{ kJ.kg}^{-1}$  du diazote gazeux à la température  $T_2 = 78 \text{ K}$  et à la pression de vapeur saturante  $p_2(T_2) = 1,0 \text{ bar}$ .

Jusqu'à quelle pression  $p_1^m$  doit-on préalablement comprimer du diazote gazeux pour obtenir effectivement un mélange diphasé dans l'état  $E^2$  ? Déterminer le titre en vapeur dans le mélange diphasé à la sortie du détendeur pour  $p_1 = 200$  bars.

Réponses :  $p_1 > 147$  bars,  $x = 0,408$

### 22. 3. Évolutions d'équilibres diphasés de l'eau

Un cylindre calorifugé est fermé par un piston calorifugé qui maintient une pression constante  $p_0 = 1$  bar. Initialement le cylindre contient  $(1-x)$  kilogrammes de vapeur d'eau à la température d'ébullition de l'eau sous la pression  $p_0$ , soit  $T_E = 373$  K. On introduit dans le cylindre un glaçon de masse  $x$  kg dont la température initiale est la température de fusion de l'eau sous la pression  $P_0$ , soit  $T_F = 273$  K. Données : enthalpie de vaporisation  $l_v = 2300$  kJ.kg<sup>-1</sup> ; enthalpie de fusion  $l_F = 330$  kJ.kg<sup>-1</sup> ; capacité thermique massique de l'eau liquide  $c = 4,18$  kJ.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>.

1) Déterminer la composition du système dans l'état final lorsque la température finale est égale à la température de fusion  $T_F$ . Montrer que ceci n'est possible que si  $x$  est supérieur à une valeur minimale  $x_m$  à préciser.

2) Déterminer la composition du système dans l'état d'équilibre final lorsque la température finale est égale à la température d'ébullition  $T_E$ . Montrer que ceci n'est possible que si  $x$  est inférieur à une valeur maximale  $x_M$  à préciser.

3) Déterminer la température finale  $T$  et la composition du système dans l'état d'équilibre final lorsque  $x = 0,80$ .

Réponses :  $x_m = 0,892$   $x_M = 0,755$   $T = 340$  K