

# Devoir de Physique N°3

## Thermodynamique

➤ A rendre le MARDI 4 octobre 2024

### Conseils :

- Apporter un soin particulier à la **présentation** et à la **rédaction**,
- Le travail peut être réalisé en groupe, la **rédaction** doit être **individuelle**.

### PROBLEME 1 : COMPARAISON ENTRE DEUX TRANSFORMATIONS

On étudie un système constitué de  $n$  moles de gaz parfait diatomique, enfermé dans une enceinte dont les parois sont diathermes. Cette enceinte est fermée par un piston de surface  $S$ , de masse négligeable, coulissant sans frottement. L'ensemble est situé dans l'atmosphère, considéré comme un thermostat, de pression  $P_0$  et de température  $T_0$ .

$T_0, P_0$
$T, P, V$

On souhaite comparer deux transformations du système : l'une brutale, l'autre très lente.

On donne la capacité thermique du gaz parfait :  $C_V = \frac{5}{2}nR$ .

#### A) Transformation brutale

On lâche brusquement une masse  $M$  sur le piston, qui se stabilise dans un état intermédiaire 1.

- 1) Peut-on considérer que la transformation est isotherme ou adiabatique ?
- 2) Par un bilan des forces sur le piston, montrer que la pression  $P_1$  peut s'écrire :

$$P_1 = P_0 + \frac{Mg}{k}$$

- 3) Appliquer le Premier Principe entre les états initiaux et 1, et donner les expressions de ses 3 termes.
- 4) A partir de la question précédente, et en utilisant également l'équation d'état des gaz parfaits, montrer que l'on peut écrire :

$$T_1 = T_0 \left(1 + \frac{2Mg}{7P_0S}\right)$$

En déduire l'expression de  $V_1$ , en fonction de  $n, R, T_0, M, g, P_0$  et  $S$ .

On observe que l'état 1 n'est pas un état d'équilibre : le piston continue lentement de bouger, jusqu'à un état d'équilibre 2.

- 5) Quel phénomène, négligé précédemment, est responsable de cette nouvelle transformation du système ?
- 6) Déterminer les expressions de  $T_2, P_2$  et  $V_2$  de l'état 2.
- 7) Déterminer les expressions de  $W_{12}, Q_{12}$  et  $\Delta U_{12}$  pendant la transformation de l'état 1 à l'état 2.

En déduire les expressions de  $W_{02}, Q_{02}$  et  $\Delta U_{02}$  pendant la transformation brutale complète.

## B) Transformation lente

On étudie maintenant une transformation très lente : la même masse  $M$  est lâchée très progressivement sur le piston : on imagine que la masse  $M$  est décomposée en un nombre très important de « mini-masses », que l'on lâche une à une sur le piston.

- 8) Comment qualifie-t-on ce type de transformation ? Que peut-on en conclure sur la température du système au cours de la transformation ?
- 9) Déterminer la pression  $P_3$  et le volume  $V_3$  dans l'état final. Commenter.
- 10) Appliquer le Premier Principe entre les états initiaux et 3, et donner les expressions de ses 3 termes. Comparer à la transformation brutale. Commenter.

## PROBLEME 2 : ETUDE DU DIOXYDE DE CARBONE

Ce problème explore quelques propriétés du dioxyde de carbone.

Le diagramme de phase du  $\text{CO}_2$  est donné ci-dessous, ainsi que les coordonnées de quelques points importants.

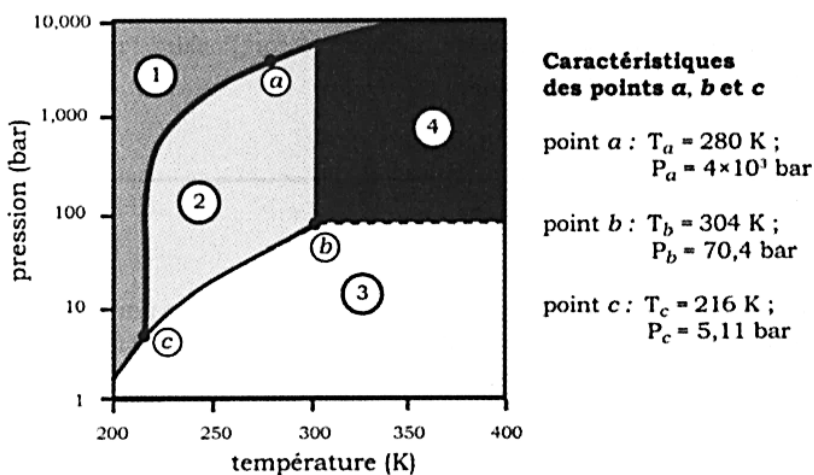


Figure 15.3. Diagramme de phases du dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$

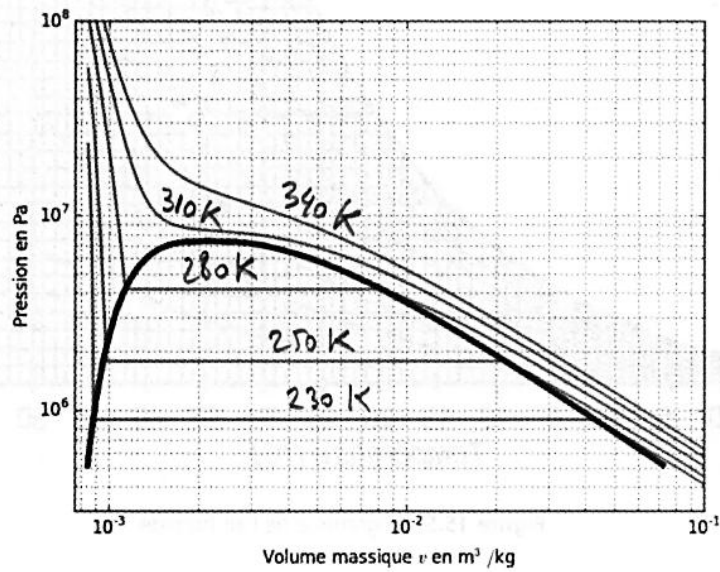
Données : Masse molaire :  $M_{\text{CO}_2} = 44 \text{ g mol}^{-1}$ .

Pressions de vapeur saturante  $P_{\text{sat}}$ , volumes massiques du liquide saturant  $\nu_\ell$  et de la vapeur saturante  $\nu_v$ , pour différentes températures, dans le tableau suivant.

Température $T$ (K)	235	250	265	280	295
$P_{\text{sat}}$ en bar	10,7	18,0	28,1	41,9	59,5
$\nu_\ell$ (en $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$ )	$9,0 \times 10^{-4}$	$9,6 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,1 \times 10^{-3}$	$1,3 \times 10^{-3}$
$\nu_v$ (en $\text{m}^3 \text{ kg}^{-1}$ )	$3,6 \times 10^{-2}$	$2,1 \times 10^{-2}$	$1,3 \times 10^{-2}$	$8,1 \times 10^{-3}$	$4,7 \times 10^{-3}$

L'enthalpie de sublimation du  $\text{CO}_2$  est de  $573 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$  sous  $P = P_{\text{atm}}$

- 1) Donner le nom de l'état physique dans chacune des zones 1, 2, 3 et 4, puis celui des points **b** et **c** et préciser leur particularité.
- 2) Sur votre copie, reproduire l'allure du diagramme de Clapeyron du  $\text{CO}_2$  suivant (**faire un diagramme assez grand**), et y indiquer ( ou surligner) les points ou courbes suivants :
  - a. Courbe de rosée,
  - b. Courbe d'ébullition,
  - c. Isotherme 280 K,
  - d. Point L correspondant au liquide saturant à 280 K,
  - e. Point V correspondant à la vapeur saturante à 280 K,
  - f. Point critique C.



**Figure 15.4.** Diagramme de Clapeyron du dioxyde de carbone. Isothermes 230 K, 250 K, 280 K, 310 K, 340 K

- 3) Quelle est la caractéristique principale d'un changement d'état à pression constante ?
- 4) Quelle est la pression de vapeur saturante pour une température de 265 K ?
- 5) Pour combattre l'augmentation de la quantité de  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère, gaz à effet de serre bien connu, une idée consiste à le séquestrer sous un dôme d'argile, dans un aquifère salin profondément enfoui. On réalise une compression en plusieurs étapes :
  - La quantité de matière  $n_0 = 4,0 \cdot 10^3$  mol de  $\text{CO}_2$ , à la température initiale de 280 K, occupe un volume  $V_0 = 10 \text{ m}^3$ . Elle est comprimée de façon isotherme jusqu'à l'état A, de volume  $V_A = 0,53 \text{ m}^3$ .
  - A partir de cet état, le  $\text{CO}_2$  subit une élévation de température isochore jusqu'à  $T_B = 310 \text{ K}$ .
    - a. Représenter ces 2 transformations sur le diagramme de Clapeyron de votre copie.
    - b. Quel est l'état physique du  $\text{CO}_2$  en A ? en B ?
    - c. Calculer le titre massique en vapeur si cela a un sens.