

T2 | Thermodynamique   
**Changements d'état de la matière**

**Prérequis**

	États de la matière	C1
	Tracé et lecture de graphique, notamment log-log	CPGE

**Plan**

**I. Transformations physiques de la matière**

- I.A. Trois états de la matière
- I.B. Diagramme de phase ( $p - T$ )
- I.C. Cas de l'eau
- I.D. Équilibre entre deux phases

**II. Équilibre liquide-vapeur ou diagramme de Clapeyron ( $p - v$ )**

- II.A. Diagramme de Clapeyron ( $p - v$ )
- II.B. Titre massique
- II.C. Théorème des moments

**Savoirs**

Tracer un diagramme de phase ( $p - T$ ) : placer les trois phases, le point triple et critique, l'état superfluide I

Le changement de phase de corps pur se fait à pression et température constante I

Tracer un diagramme de Clapeyron ( $p - v$ ) : placer les phases, le point critique, la courbe de rosée, d'ébullition, la courbe de saturation, l'évolution des isothermes II

Titre en liquide et titre en vapeur II

Relier le volume massique avec le titre en vapeur et liquide pour en déduire le théorème des moments II

**Savoir-Faire**

Lire et interpréter un diagramme  $p - T$  I

Lire et interpréter un diagramme  $p - v$  II

Déterminer à partir des conditions opératoire la composition d'un système (pression, température, titre en vapeur) II

**Application 1 : Diagramme de phase**

**Énoncé**

- ① Tracer l'allure d'un diagramme de phase  $p - T$ . Placer les trois phases, le point triple et critique, l'état superfluide.
- ② Représenter la transformation suivante sur le diagramme de phase : on chauffe de l'eau liquide de 20 °C jusqu'à ébullition à pression constante.
- ③ Représenter la transformation suivante sur le diagramme

de phase : on refroidit de l'eau liquide de 20 °C jusqu'à -18 °C à pression constante.

④ Pour ce dernier cas, représenter l'évolution de la température en fonction du temps.

**Solution**

① Cf cours.

② Pression constante, segment horizontal jusqu'à atteindre la courbe de changement de phase.

③ Pression constante, segment horizontal jusqu'à -18 °C, qui franchit la courbe de changement de phase de la solidification.

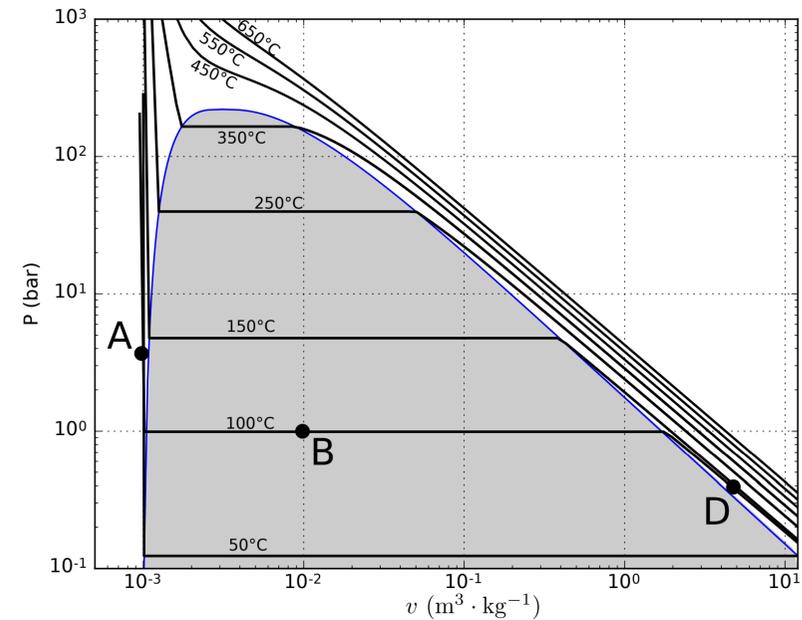
④ La température diminue jusqu'à atteindre le changement de phase à 0 °C, puis la température reste constante jusqu'à ce que la dernière goutte d'eau soit solidifiée, puis la température diminue jusqu'à -18 °C.

**Application 2 : Grandeurs extensives ? Intensives ?**

**Énoncé**

① Tracer l'allure d'un diagramme de Clapeyron  $p - v$  pour un corps pur. Préciser les phases, le point critique, la courbe de rosée, d'ébullition, la courbe de saturation.

Voici le diagramme de Clapeyron pour l'eau.



② Déterminer le volume massique de vapeur saturante à 100 bar. En déduire la masse volumique.

③ Déterminer le volume massique de liquide saturée à 100 bar. En déduire la masse volumique.

④ Pour les points A, B et D du diagramme, déterminer le titre en vapeur et le titre en liquide ainsi que la pression et la température.

**Solution**

① Cf cours.

②  $v_l = 1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ , donc  $\rho_l = 667 \text{ kg m}^{-3}$ .

③  $v_v = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ , donc  $\rho_v = 50 \text{ kg m}^{-3}$ .

④ Les trois points sont sur l'isotherme 100 °C. Le point A est dans la phase liquide, donc  $x_v = 0$ ,  $x_l = 1$ .  $P_A = 4 \text{ bar}$ .

Le point D est dans la phase vapeur, donc  $x_l = 0$ ,  $x_v = 1$ .  $P_D = 4 \times 10^{-1} \text{ bar}$ .

Le point B est diphasique. Le théorème des moments graphique donne :  $x_l = \frac{1.9-1e-2}{1.9-1e-3} = 0.99$  et  $x_v = 1 - x_l = 0.01$ .  
 $P_B = 1$  bar.

### Application 3 : Milieu diphasique ?

**Énoncé** Nous introduisons, dans une enceinte de volume  $V = 10$  L initialement vide, une masse  $m = 10$  g eau.

La température de l'enceinte est fixé par un thermostat à  $T = 100$  °C.

① Exprimer le titre en vapeur  $x_v$  et le titre en liquide  $x_l$  en fonction de  $m$ ,  $V$ ,  $v_l$  et  $v_v$ .

② Même question que précédemment, mais en prenant  $m = 1,0$  g.

Données à 100 °C :

↪ volume massique de l'eau liquide :  $v_l = 1,04 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  ;

↪ volume massique de la vapeur d'eau :  $v_v = 1,67 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  ;

**Solution** Dans chaque cas calculer la valeur du volume massique total, identifier s'il s'agit d'un milieu monophasique ou diphasique, conclure sur les titre massique en vapeur et liquide.

①  $x_v = 0,60$  et  $x_l = 0,40$ .

②  $x_v = 1$  et  $x_l = 0$ , toute l'eau est sous forme de vapeur.