

# Chapitre 3: Changement de Phase

Cours de Thermodynamique

## Subsection 1

# Corps Purs et Phases

**Corps Pur** - Constitué d'une seule espèce chimique - Sinon on parle de mélange

# Les Trois États de la Matière

**Solide** - Atomes régulièrement disposés - Réseau cristallin - Vibrent autour d'une position fixe

**Liquide** - État intermédiaire - Forces suffisantes pour cohésion - Déplacement relatif possible

**Gaz** - Forces très faibles - Molécules libres de se déplacer - Pas de cohésion



## Subsection 2

# Transitions de Phase

# Changements de Phase Possibles

Un corps pur peut subir des **changements de phase** qui dépendent des : - **Conditions extérieures** - **Pression** et **Température**

- Les transitions impliquent toujours des **échanges d'énergie**
- Absorption ou libération de chaleur

# Dépendance des Conditions

- Même corps  $\rightarrow$  phases différentes selon  $P$  et  $T$
- Exemple : l'eau peut être solide, liquide ou gaz



## Subsection 3

# Diagramme des Phases : Vue 3D

# Représentation Tridimensionnelle

Les différentes phases n'existent que pour certaines valeurs de : - **Pression (P)** - **Température (T)** - **Volume (V)**

Les états d'équilibre d'une substance pure se caractérisent par une relation entre :

$$V = f(T, P)$$



## Subsection 4

# Régions et Zones d'Équilibre

- **Région solide** : conditions spécifiques
- **Région liquide** : conditions spécifiques
- **Région gazeuse** : conditions spécifiques

Zones où **coexistent deux phases en équilibre**: - **Solide-Gaz** (sublimation) - **Solide-Liquide** (fusion) - **Liquide-Gaz** (vaporisation)

Lignes grasses séparent les régions et dessinent les **limites des surfaces**



## Subsection 5

# Projections du Diagramme 3D

Les régions biphasées se projettent selon les courbes : - **JC** : Vaporisation (Liquide-Gaz) - **JF** : Fusion (Solide-Liquide) - **PJ** : Sublimation (Solide-Gaz)

**Limitation** : Pas d'information sur le volume

# Projection P-V

Toutes les surfaces projetées selon des **aires planes**

**Avantage** : Information complète du volume



## Subsection 6

# Le Point Triple

Point **J** situé à l'intersection de : - Régions triphasées - Les trois courbes d'équilibre

- **Les trois phases coexistent**
- Équilibre parfait entre solide, liquide et gaz
- **Point triple de l'eau** : 273,16 K (référence SI)

Point de référence unique et reproductible - Permet la définition de l'échelle Kelvin



## Subsection 7

# Diagramme P-T : Courbes d'Équilibre

## Courbe de Fusion (J à point 3)

- **Pente ordinairement positive**
- Exception notable : **L'eau** (pente négative)

# Courbe de Sublimation (J à point 1)

- Pressions de vapeur saturante du solide
- Transition directe solide  $\rightarrow$  gaz

# Courbe de Vaporisation (J à C)

- Pressions de vapeur saturante du liquide
- Transition liquide  $\rightarrow$  gaz



## Subsection 8

# Point Critique et Fluide Supercritique

**Définition** : Pression et température maximales compatibles avec la coexistence des phases gazeuse et liquide

# Au-delà du Point Critique

$$T > T_C \text{ et } P > P_C$$



Impossible de différencier clairement  
liquide gaz

- **Fluide supercritique** : régions au-dessus et à droite de C
- S'étend indéfiniment
- Les pointillés ne représentent PAS des transitions de phase



## Subsection 9

# Régions Liquide et Gaz

- Située **au-dessus** de la courbe de vaporisation
- Un liquide peut toujours être vaporisé
- En réduisant la pression à  $T$  constante

- Située à **droite** des courbes de sublimation et vaporisation
- Un gaz peut toujours être condensé
- En réduisant la température à  $P$  constante



Subsection 10

## L'Eau : Cas Particulier

- Pente **NÉGATIVE** (exception !)
- L'eau se **dilate en se solidifiant**

- Glace moins dense que l'eau liquide
- Glace flotte sur l'eau
- Dilatation peut casser les tuyaux en hiver



## Subsection 11

# Équilibre Eau-Air : Extension

L'eau en contact avec l'air - **Plus d'un corps pur !** C'est un mélange

Échanges continuels de molécules : - De l'air se dissout (négligeable) - De l'eau s'évapore

Mélange de gaz contenant :

- Vapeur d'eau (pression partielle  $P_{\{H_2O, \text{vap. sat.}\}}$ )
- Air sec



## Subsection 12

# Diagramme de Clapeyron (P-V)

# Courbe de Saturation

**Branche AC** (gauche) - Liquide saturé -  
Volume faible

**Branche CB** (droite) - Vapeur saturée -  
Volume important

**Point C** - Point critique

**Région sous la courbe** - Zone biphasée -  
Coexistence liquide + vapeur - À l'équilibre



## Subsection 13

# Isothermes Clapeyron

# Isothermes Critiques et Sous-critiques

**Isotherme critique** (à  $T = T_C$ ) - Passe par point critique C - Deux domaines : - **Au-dessus** : isothermes hypercritiques ( $T > T_C$ ) - **En dessous** : isothermes sous-critiques ( $T < T_C$ )

# Isothermes Hypercritiques

- Aucun changement de phase
- Transition continue

# Isothermes Sous-critiques

- Palier horizontal traverse région biphasée
- Pression déterminée à  $T$  donnée



## Subsection 14

# Courbes de Bulle et de Rosée

# Courbe de Bulle (d'ébullition)

- **Branche inférieure (AC)**
- Apparition de la **première bulle de vapeur**
- Liquide en détente à  $T$  constante

- **Branche supérieure (CB)**
- Apparition de la **première goutte de liquide**
- Gaz en compression

- **Réunion des deux courbes**
- Limite de la région biphasée



## Subsection 15

# Palier de Liquéfaction/Vaporisation

**Discontinuités de pente** - Correspondent aux changements d'état - Non-équivalence des phases

- Traverse la région biphasée
- **Horizontal** : P constante à T donnée
- Appelé **palier de liquéfaction** ou **palier de vaporisation**

$$P = P_{sat}(T)$$

À température donnée, une seule pression possible pour l'équilibre liquide-gaz

