

Métallurgie physique : rappels et compléments

Diagrammes de phases

Vladimir Esin

Sommaire

- 1 Diagramme de phases : qu'est-ce que c'est ?
- 2 Quelques définitions
 - Phase
 - Nombre de degrés de libertés
 - Constituant
- 3 Règle de phases de Gibbs
- 4 Types de diagrammes de phases binaires
- 5 Lecture de diagrammes de phases
- 6 Utilisation des diagrammes de phases
 - Détermination de la composition d'équilibre des phases
 - Règle des segments inverses (Règle du bras de levier)
- 7 Diagrammes ternaires

Diagramme de phases : qu'est-ce que c'est ?

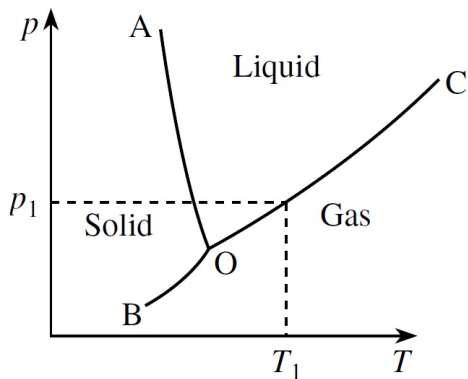


Diagramme p-T d'un système à un constituant

Quelques définitions

- Une **phase** est une partie homogène d'un système hétérogène avec des compositions chimiques et propriétés physiques définies. Différentes phases sont séparées par une interface.
- Le **nombre de degrés de liberté** (V) est le nombre de paramètres nécessaires pour décrire le système en équilibre.
- Le **nombre de constituants** (C) est le nombre de substances qui forment le système (moins le nombre de réactions chimiques indépendantes qui relient ces constituants).

Règle de phases de Gibbs

$$V = C - \varphi + 2$$

V est le nombre de degrés de liberté

C est le nombre de constituants

φ est le nombre de phases

"2" est les température et pression

Pour les diagrammes de phase la pression est constante (1 atm.) \Rightarrow

$$V = C - \varphi + 1$$

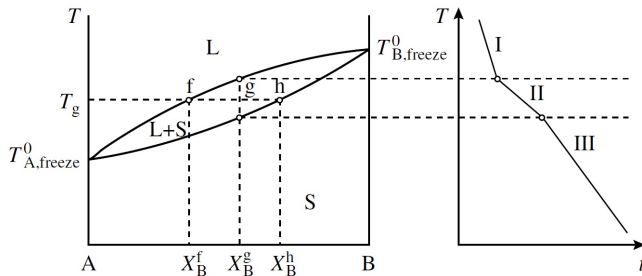
Comme $V \geq 0$, $\varphi \leq C + 1$:

- système binaire ($C=2$) $\Rightarrow \varphi_{max} = 3$
- système ternaire ($C=3$) $\Rightarrow \varphi_{max} = 4$
- système quaternaire ($C=4$) $\Rightarrow \varphi_{max} = 5$
- ...

Types de diagrammes de phases binaires

Type I

- 1 Miscibilité totale à l'état liquide
- 2 Miscibilité totale à l'état solide

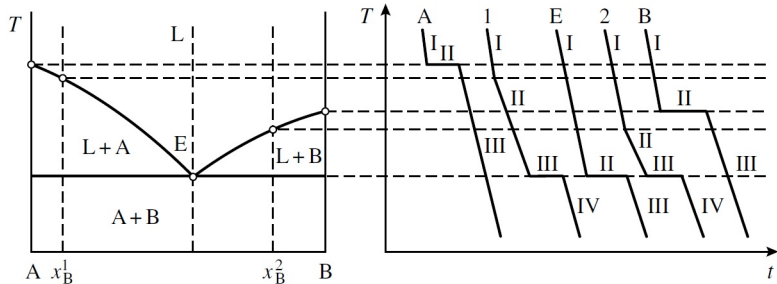


L est une phase liquide
S est une phase solide

Types de diagrammes de phases binaires

Type II

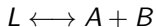
- 1 Miscibilité totale à l'état liquide
- 2 A et B non miscibles à l'état solide



A est le constituant A pur

B est le constituant B pur

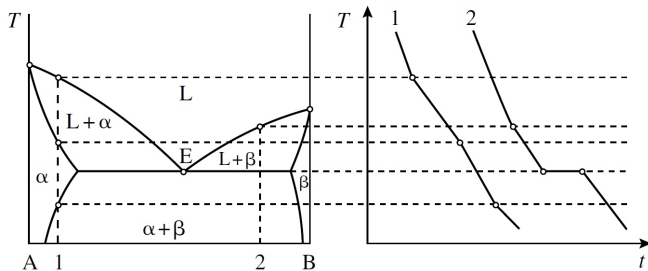
Transformation **eutectique**



Types de diagrammes de phases binaires

Type III-1

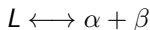
- 1 Miscibilité totale à l'état liquide
- 2 Solubilité limitée à l'état solide



α est une solution solide à base de A

β est une solution solide à base de B

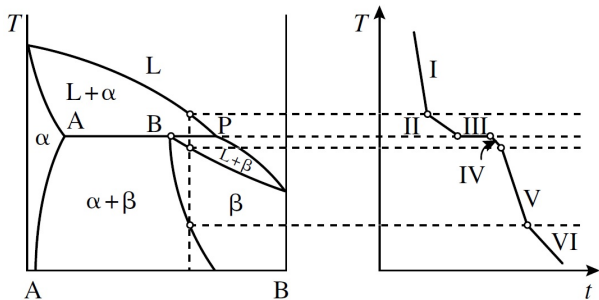
Transformation **eutectique**



Types de diagrammes de phases binaires

Type III-2

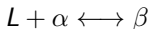
- 1 Miscibilité totale à l'état liquide
- 2 Solubilité limitée à l'état solide



α est une solution solide à base de A

β est une solution solide à base de B

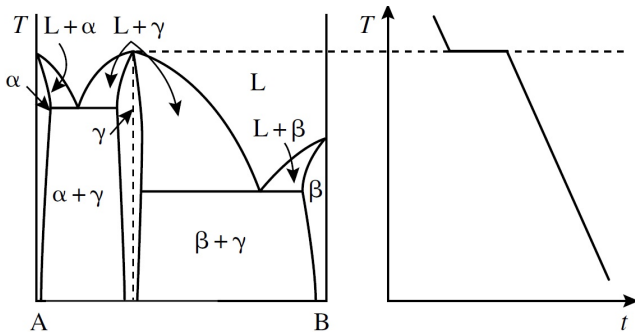
Transformation **péritectique**



Types de diagrammes de phases binaires

Type IV

- 1 Miscibilité totale à l'état liquide
- 2 Solubilité limitée à l'état solide
- 3 **Composé à fusion congruente**

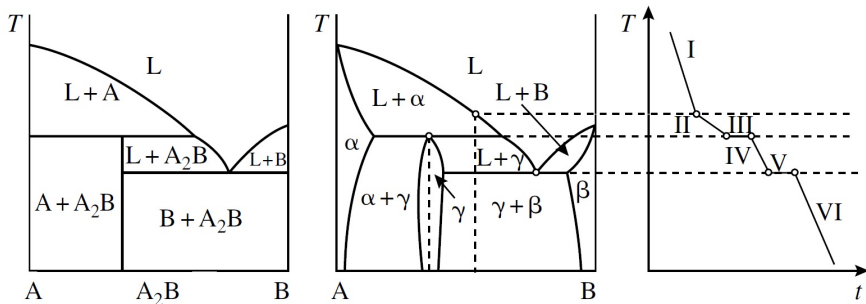


γ est un composé non-stœchiométrique à fusion congruente (solution solide intermédiaire)

Types de diagrammes de phases binaires

Type V

- 1 Miscibilité totale à l'état liquide
- 2 Solubilité limitée à l'état solide
- 3 **Composé à fusion non-congruente**

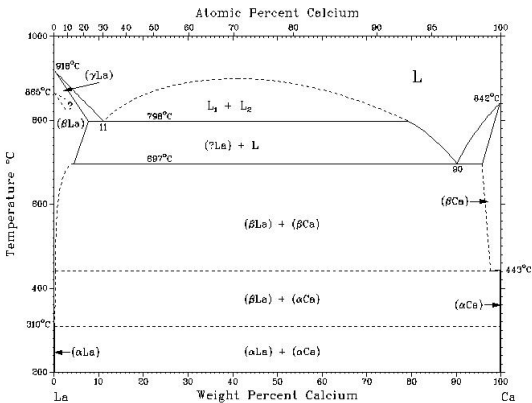


A₂B est un composé stœchiométrique à fusion non-congruente (composé défini)
γ est un composé non-stœchiométrique à fusion congruente (solution solide intermédiaire)

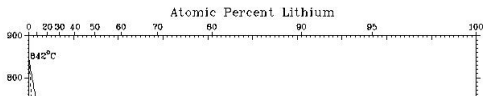
Types de diagrammes de phases

Autres transformations

- Monotectique : $L_1 \longleftrightarrow L_2 + S$

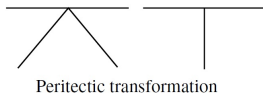
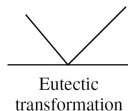


- Métatectique : $S_1 \longleftrightarrow S_2 + L$



Lecture de diagrammes de phases

- 1 Identifier toutes les régions monophasées
- 2 Définir les phases dans des régions biphasées : les régions monophasées sont **toujours** séparées par des régions biphasées
- 3 Identifier les transformations eutectiques et péritectiques



Exemples

- Fe-C
 - Ni-Al
- 1 Décrire toutes les phases sur le diagramme. Donner :
 - ▶ la solubilité maximale des éléments dans les solutions solides (at. ou mass. %)
 - ▶ les formules chimiques des composés définis et leurs températures de fusion
 - 2 Définir les phases en équilibre pour chaque région du diagramme
 - 3 Ecrire les équations pour toutes les transformations, donner les températures de ces transformations
 - 4 Construire les courbes de refroidissement (Température vs temps). Décrire les processus lors de refroidissement. Calculer le nombre de degrés de liberté pour chaque partie de ces courbes en précisant les constituants et les phases en présence.

Utilisation des diagrammes de phases

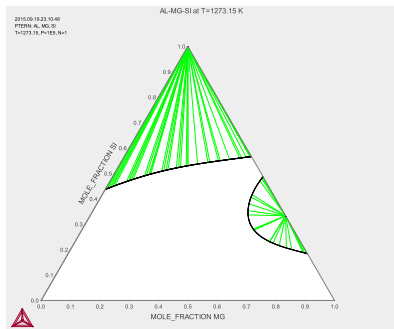
- 1 Détermination de la composition d'équilibre des phases
- 2 Règle des segments inverses (Règle du bras de levier)

Diagrammes ternaires

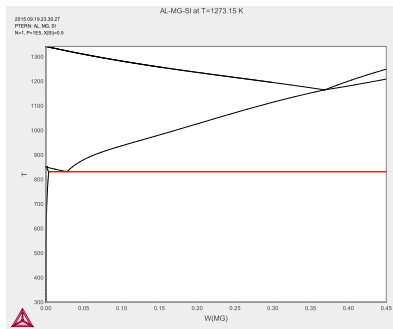
- Diagrammes en 3D : deux axes de concentration et un axe de température
- Analyse des coupes isothermes
- Analyse des coupes isoplèthes

Diagrammes ternaires

Exemple du système Al-Mg-Si



Coupe isotherme à 1000 °C



Coupe isoplethe pour $x_{Si}=0.5$

Crédits photographiques

Boris S. Bokstein, Mikhail I. Mendeleev, David J. Srolovitz, "Thermodynamics and Kinetics in Materials Science. A Short Course." Oxford University Press 2005, New York.