

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté des Sciences Exactes
Département de Chimie

Polycopié

Cours sur les Diagrammes des Phases

Ce cours est destiné aux étudiants de deuxième année Master Chimie des Matériaux

Réalisé par le Professeur H. SIFAoui

Chapitre I : généralités sur les diagrammes des phases

I.1 La notion de phase

1/ Définition : une phase est l'état sous lequel se trouve un constituant ou un mélange de constituants à une pression et à une température données.

Pour définir une phase il faut s'assurer que le système est bien homogène (même composition chimique et mêmes propriétés en tout point du système)

2/ Les phases : Il existe trois phases usuelles

- La phase gazeuse : tous les gaz sont miscibles entre eux
- La phase liquide : dans la phase liquide il existe des mélanges totalement miscibles, des mélanges partiellement miscibles et des mélanges totalement immiscibles.
- La phase solide : dans le cas des alliages (mélanges de métaux), il existe des mélanges totalement miscibles, des mélanges partiellement miscibles et des mélanges totalement immiscibles.

3/ Diagramme de phases

Un diagramme de phases, est une représentation graphique, des états sous lesquels un constituant ou un mélange de constituants, se retrouvent dans les différents domaines de température, de pression et de composition.

I.2 Règle des phases de Gibbs

Avant d'introduire la règle de Gibbs, on doit d'abord définir les paramètres d'états d'un système, qui sont la pression, la température et la composition.

1/ La pression : est une grandeur intensive (cad non additive) qui est mesurée en Pascal dans le système international.

2/ La température : également est une grandeur intensive qui est mesurée en Kelvin dans le système international.

3/ La composition : il existe plusieurs façons d'exprimer la composition

a- La composition massique ou bien la fraction massique

Dans un mélange à C constituants on a :

La masse totale : $m_t = \sum_{i=1}^{i=C} m_i$

La fraction massique du constituant i : $w_i = \frac{m_i}{m_t}$

Le pourcentage massique : $\%w_i = w_i * 100 = \frac{m_i}{m_t} * 100$

b- La composition molaire ou bien la fraction molaire

Dans un mélange à C constituants on a :

Le nombre de mole total :

$$n_t = \sum_{i=1}^{i=C} n_i$$

La fraction molaire du constituant i :

$$x_i = \frac{n_i}{n_t}$$

Le pourcentage molaire :

$$\%x_i = x * 100 = \frac{n_i}{n_t} * 100$$

c- La composition moléculaire ou bien la fraction moléculaire

Dans un mélange à C constituants on a :

Le nombre total de molécules :

$$N_t = \sum_{i=1}^{i=C} N_i$$

La fraction moléculaire du constituant i :

$$X_i = \frac{N_i}{N_t}$$

Le pourcentage moléculaire :

$$\%X_i = X * 100 = \frac{N_i}{N_t} * 100$$

d- La composition atomique ou bien la fraction atomique

Dans un mélange à C constituants on a :

Le nombre total d'atomes :

$$N_t = \sum_{i=1}^{i=C} N_i$$

La fraction atomique du constituant i :

$$X_i = \frac{N_i}{N_t}$$

Le pourcentage atomique :

$$\%X_i = X * 100 = \frac{N_i}{N_t} * 100$$

Remarque : d'un point de vue numérique, la fraction molaire = la fraction moléculaire = la fraction atomique.

I.2.1 Définition de la règle des phases : la règle des phases qu'on appelle aussi la règle de Gibbs est une règle qui définit la variance.

Variance : la variance est défini de plusieurs manières

- La variance est le nombre de paramètres intensifs et/ou extensifs qu'on peut maintenir constants pour réaliser l'équilibre thermodynamique d'un système chimique.
- La variance est le nombre de paramètres intensifs et/ou extensifs qu'on peut faire varier indépendamment les uns les autres sans provoquer la rupture de l'équilibre thermodynamique d'un système chimique.
- La variance est appelée aussi le nombre de degré de liberté

Tel que la variance est exprimée par la relation suivante :

$$\boxed{V = C + 2 - \varphi}$$

Avec :

2 : la pression + la température (les deux paramètres intensifs)

C : nombre de constituants que contient le système

C=1 → système unaire (corps pur)

C=2 → système binaire (mélange de 2 constituants)

C=3 → système ternaire (mélange de 3 constituants)

ϕ : nombre de phases dans le système

$\phi=1 \rightarrow$ système monophasique

$\phi=2 \rightarrow$ système biphasiques

$\phi=3 \rightarrow$ système triphasiques

V : variance

$V=0 \rightarrow$ système invariant (point invariant)

$V=1 \rightarrow$ système monovariants

$V=2 \rightarrow$ système bivariants

Dans le cas des diagrammes de phases qui sont des diagrammes d'équilibre liquide-solide l'influence de la pression est négligeable, ce qui rend l'expression de la variance comme suit :

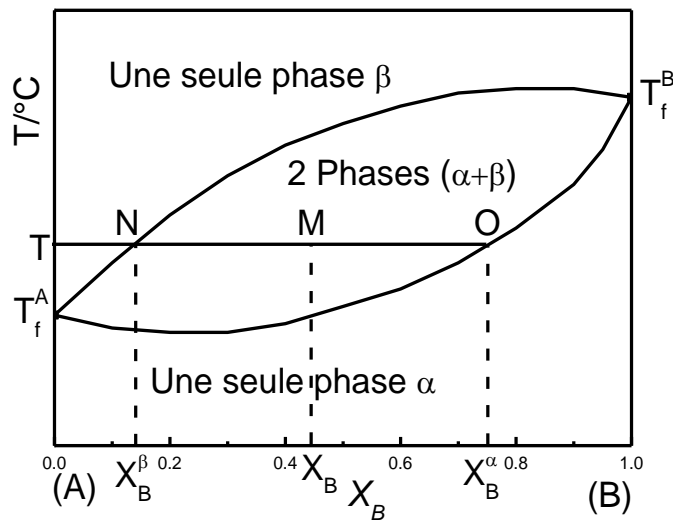
$$V = C + 1 - \phi$$

Remarque : la variance ne peut être jamais négative.

I.3 Règle des moments chimiques : cette règle est appelée également, règle des bras de Levier ou règle des segments inverses.

La règle des moments chimiques est une règle qui permet de déterminer la composition de chaque phase dans un système biphasique.

Soit un diagramme de phases d'un système binaire : composé (A) + composé (B)



A une isotherme T, on prend une composition quelconque X_B dans le domaine biphasique (α+β) et on détermine la composition de chaque phase (X^α et X^β).

Au point M on a la composition du mélange x_B

Au point N on a la composition de B dans la phase β, x_B^β

Au point O on a la composition de B dans la phase α, x_B^α

Dans le mélange on a :

$$n = n_A + n_B$$

Avec : n : nombre de mole total dans le mélange

n_A : nombre de mole de A dans le mélange

n_B : nombre de mole de B dans le mélange

$$x_B = \frac{n_B}{n_A+n_B} \quad \text{et} \quad x_A = \frac{n_A}{n_A+n_B} \quad \text{avec} \quad x_A + x_B = \frac{n_A}{n_A+n_B} + \frac{n_B}{n_A+n_B} = \frac{n_A+n_B}{n_A+n_B} = 1$$

x_B : fraction molaire de B dans le mélange

x_A : fraction molaire de A dans le mélange

Dans la phase α on a :

$$n^\alpha = n_A^\alpha + n_B^\alpha$$

Avec : n^α : nombre de mole total dans la phase α

n_A^α : nombre de mole de A dans la phase α

n_B^α : nombre de mole de B dans la phase α

$$X^\alpha = \frac{n^\alpha}{n}, \quad x_A^\alpha = \frac{n_A^\alpha}{n^\alpha}, \quad x_B^\alpha = \frac{n_B^\alpha}{n^\alpha}$$

Avec : X^α : fraction molaire de la phase α dans le mélange

x_A^α : fraction molaire de A dans la phase α

x_B^α : fraction molaire de B dans la phase α

Dans la phase β on a :

$$n^\beta = n_A^\beta + n_B^\beta$$

Avec : n^β : nombre de mole total dans la phase β

n_A^β : nombre de mole de A dans la phase β

n_B^β : nombre de mole de B dans la phase β

$$X^\beta = \frac{n^\beta}{n}, \quad x_A^\beta = \frac{n_A^\beta}{n^\beta}, \quad x_B^\beta = \frac{n_B^\beta}{n^\beta}$$

Avec : X^β : fraction molaire de la phase β dans le mélange

x_A^β : fraction molaire de A dans la phase β

x_B^β : fraction molaire de B dans la phase β

D'où : $n = n_A + n_B = n^\alpha + n^\beta = (n_A^\alpha + n_B^\alpha) + (n_A^\beta + n_B^\beta)$

Détermination de la composition de la phase α (X^α) et de la composition de la phase β (X^β):

On a : $X^\alpha + X^\beta = 1$ (1)

$$n_B = n_B^\alpha + n_B^\beta, \quad n_B = x_B n, \quad n_B^\alpha = x_B^\alpha n^\alpha, \quad n_B^\beta = x_B^\beta n^\beta$$

Implique $x_B n = x_B^\alpha n^\alpha + x_B^\beta n^\beta \Rightarrow x_B = x_B^\alpha \frac{n^\alpha}{n} + x_B^\beta \frac{n^\beta}{n}$

$$x_B = x_B^\alpha X^\alpha + x_B^\beta X^\beta \quad (2)$$

Les relations (1) et (2) forment un système de 2 équations à 2 inconnues X^α et X^β .

$$\begin{cases} X^\alpha + X^\beta = 1 & (1) \\ x_B^\alpha X^\alpha + x_B^\beta X^\beta = x_B & (2) \end{cases}$$

La résolution de ce système d'équations donne :

$$\boxed{X^\beta = \frac{x_B^\alpha - x_B}{x_B^\alpha - x_B^\beta}} \quad \text{et} \quad \boxed{X^\alpha = \frac{x_B - x_B^\beta}{x_B^\alpha - x_B^\beta}}$$

Sur le graphe : $X^\beta = \frac{x_B^\alpha - x_B}{x_B^\alpha - x_B^\beta} = \frac{MO}{NO}$ et $X^\alpha = \frac{x_B - x_B^\beta}{x_B^\alpha - x_B^\beta} = \frac{NM}{NO}$

$$\frac{X^\alpha}{X^\beta} = \frac{NM}{MO} = \frac{n^\alpha/n}{n^\beta/n} = \frac{n^\alpha}{n^\beta} \Rightarrow \frac{n^\alpha}{NM} = \frac{n^\beta}{MO}$$

Chapitre II : les diagrammes des phases des systèmes binaires

II.1 Représentation graphique

Les diagrammes binaires sont représentés par $T=f(X)$ à pression atmosphérique.

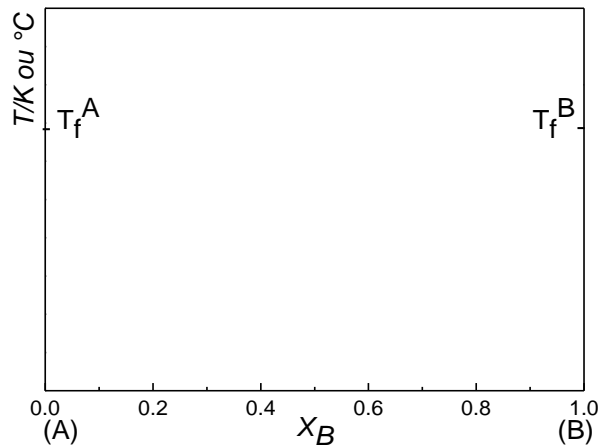


Figure 1 : représentation graphique d'un diagramme de phases binaire

X_B peut être :

- La fraction massique (w)
 - Le pourcentage massique (%w)
 - La fraction molaire (x)
 - Le pourcentage molaire (%x)
 - La fraction atomique (X)
 - Le pourcentage atomique (%X)
 - La fraction moléculaire (X)
 - Le pourcentage moléculaire (%X)
- A $X_B=0$ ($X_A=1$) équivalent au corps pur A, la température correspondante est la température de fusion du composé pur A.
- A $X_B=1$ ($X_A=0$) équivalent au corps pur B, la température correspondante est la température de fusion du composé pur B.

II.2 Règle des phases de Gibbs

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

Pour un système binaire le nombre de constituants $C=2$.

$$V = 2 + 1 - \varphi = 3 - \varphi$$

$$\boxed{V = 3 - \varphi}$$

II.3 Diagramme de phases idéal

Le diagramme de phase est un diagramme d'équilibre liquide-solide

Liquide ↔ *Solide*

A l'équilibre on a : $\mu_i^L = \mu_i^S$

Dans le cas d'un mélange réel on a :

Le potentiel chimique du constituant i dans la phase solide :

$$\mu_i^S = \mu_{i,ref}^S + RT \ln a_i^S \text{ avec } a_i^S = 1 \Rightarrow \mu_i^S = \mu_{i,ref}^S$$

Le potentiel chimique du constituant i dans la phase liquide :

$$\mu_i^L = \mu_{i,ref}^L + RT \ln a_i^L \text{ avec } a_i^L = \gamma_i x_i$$

$$\mu_i^L = \mu_i^S \Rightarrow \mu_{i,ref}^L = \mu_{i,ref}^S + RT \ln a_i^L \Rightarrow RT \ln a_i^L = \mu_{i,ref}^S - \mu_{i,ref}^L = -\Delta G_f^i$$

$$RT \ln a_i^L = -\Delta G_f^i$$

$$\Delta G_f^i = \Delta H_f^i - T \Delta S_f^i$$

$$\Delta H_f^i = \Delta H_f^{i,0} + C_{P,f}^i (T - T_f^i)$$

$$\Delta S_f^i = \Delta S_f^{i,0} + C_{P,f}^i \ln \frac{T}{T_f^i} \text{ avec } \Delta S_f^{i,0} = \frac{\Delta H_f^{i,0}}{T_f^i}$$

$$RT \ln a_i^L = -\Delta H_f^i + T \Delta S_f^i = -\Delta H_f^{i,0} - C_{P,f}^i (T - T_f^i) + T \Delta S_f^{i,0} + T C_{P,f}^i \ln \frac{T}{T_f^i}$$

$$RT \ln a_i^L = -\Delta H_f^{i,0} - C_{P,f}^i (T - T_f^i) + T \frac{\Delta H_f^{i,0}}{T_f^i} + T C_{P,f}^i \ln \frac{T}{T_f^i}$$

$$RT \ln a_i^L = \Delta H_f^{i,0} \left[\frac{T}{T_f^i} - 1 \right] - C_{P,f}^i (T - T_f^i) + T C_{P,f}^i \ln \frac{T}{T_f^i}$$

$$\ln a_i^L = \frac{\Delta H_f^{i,0}}{R} \left[\frac{1}{T_f^i} - \frac{1}{T} \right] - \frac{C_{P,f}^i}{R} \left(1 - \frac{T_f^i}{T} \right) + \frac{1}{R} C_{P,f}^i \ln \frac{T}{T_f^i}$$

$$\ln x_i = \frac{\Delta H_f^{i,0}}{R} \left[\frac{1}{T_f^i} - \frac{1}{T} \right] - \frac{C_{P,f}^i T_f^i}{R} \left(\frac{1}{T_f^i} - \frac{1}{T} \right) + \frac{1}{R} C_{P,f}^i \ln \frac{T}{T_f^i} - \ln \gamma_i$$

Si on néglige la variation de l'enthalpie de fusion avec la température ($C_{p,f}^l = 0$), l'expression devienne :

$$\ln x_i = \frac{\Delta H_f^{i,0}}{R} \left[\frac{1}{T_f^i} - \frac{1}{T} \right] - \ln \gamma_i$$

Dans le cas où la phase liquide est considérée comme une solution idéale ($\gamma_i=1$) l'expression devienne :

$$\ln x_i = \frac{\Delta H_f^{i,0}}{R} \left[\frac{1}{T_f^i} - \frac{1}{T} \right]$$

Pour un système binaire A et B :

$$\ln x_A = \frac{\Delta H_f^A}{R} \left[\frac{1}{T_f^A} - \frac{1}{T} \right] \Rightarrow T = T_1 = 1 / \left[\frac{1}{T_f^A} - \frac{R}{\Delta H_f^A} \ln x_A \right]$$

$$\ln x_B = \frac{\Delta H_f^B}{R} \left[\frac{1}{T_f^B} - \frac{1}{T} \right] \Rightarrow T = T_2 = 1 / \left[\frac{1}{T_f^B} - \frac{R}{\Delta H_f^B} \ln x_B \right]$$

Tracer le diagramme idéal, reviens à tracer $T_1=f(x_A)=f(x_B)$ et $T_2=f(x_B)$

Pour cela il faut donner des valeurs à x_B et calculer T_1 et T_2

x_B	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
$x_A=1-x_A$	1	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0
T_1/K	T_f^A	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T_2/K	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	T_f^B

A partir de ce tableau de valeurs on trace le diagramme idéal

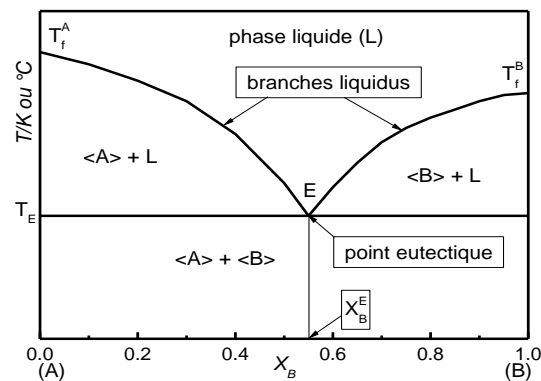


Figure 2 : diagramme binaire idéal

II.4 Les différents types de diagrammes binaires

II.4.1 Diagrammes binaires à solubilité totale à l'état solide

Dans ce type de diagrammes les constituants A et B sont totalement miscibles à l'état solide (A + B, forment une solution solide homogène).

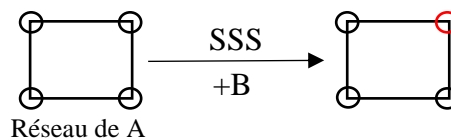
1/ Les solutions solides

Dans les solutions solides, il existe deux types de solutions :

- Les solutions solides de substitution (SSS)
- Les solutions solides d'insertion (SSI)

a/ Les solutions solides de substitution

Soit un alliage AB : la solution solide de substitution est une solution où les atomes de composé B remplacent les atomes du composé A dans le réseau du composé A ou bien l'inverse.



Les conditions générales de la formation des solutions solides de substitution :

Pour que deux composés soient miscibles entre eux à l'état solide, quatre conditions doivent t'être satisfaites :

- 1- Respect de la règle de Hume Rothery qui dit que la différence entre les rayons atomiques des deux composés doit être inférieure ou égale à 0.15.

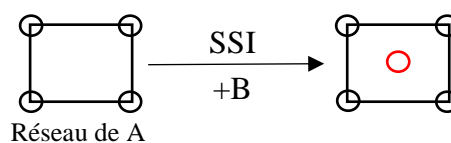
$$|r_A - r_B| \leq 0.15$$

Si $|r_A - r_B| \leq 0.7$, la miscibilité est totale

- 2- Les deux composés doivent avoir la même structure cristalline
- 3- Les deux composés doivent être de valence égale
- 4- Les deux composés doivent avoir des électronégativités semblables

a/ Les solutions solides d'insertion

Soit un alliage AB : la solution solide d'insertion est une solution où les atomes de composé B sont insérées dans les sites de la structure cristalline du composé A ou bien l'inverse.



La seule condition pour la formation des solutions solides d'insertion, c'est que les rayons des atomes à insérées doivent être inférieurs aux rayons des atomes qui forment le réseau.

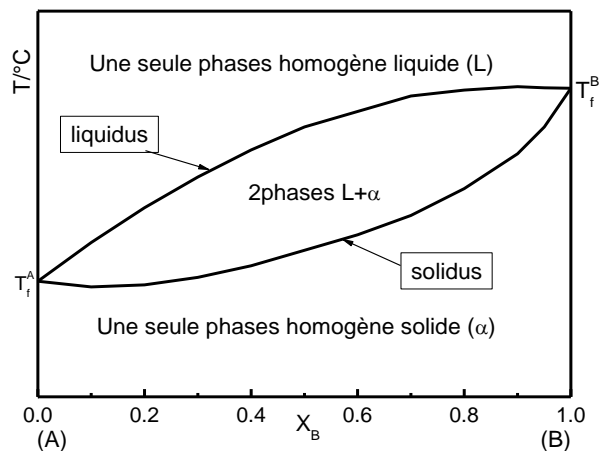
$$r_B < r_A$$

Les éléments susceptibles de former les SSI sont :

- Hydrogène pour former les hydrures
- Oxygène pour former les oxydes
- Azote pour former les nitrures
- Le carbone pour former les carbures

Ces quatre éléments sont de rayon atomique inférieur à ceux des atomes des éléments métalliques.

2/ Les diagrammes binaires à un seul fuseau



Exemples de diagrammes à un seul fuseau :

- Cuivre + Nickel (Cu/Ni)
- Cuivre + Palladium (Cu/Pd)
- Argent + Or (Ag/Au)
- Argent + Palladium (Ag/Pd)
- Germanium + Silicium (Ge/Si)
- Iridium + Platine (Ir/Pt)

2/ Les diagrammes binaires à deux fuseaux

Les diagrammes à deux fuseaux, sont des diagrammes qui présentent un point de fusion congruent ou non congruent, avec, soit une température minimale ou une température maximale.

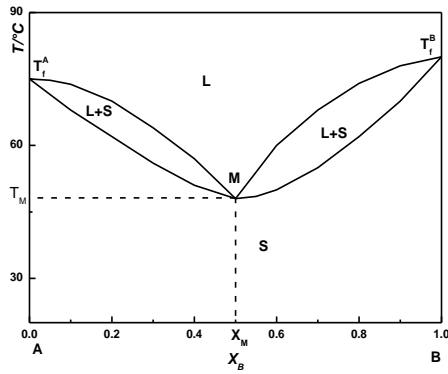


Diagramme de phases à deux fuseaux avec une température de fusion congruente ou non congruente minimale

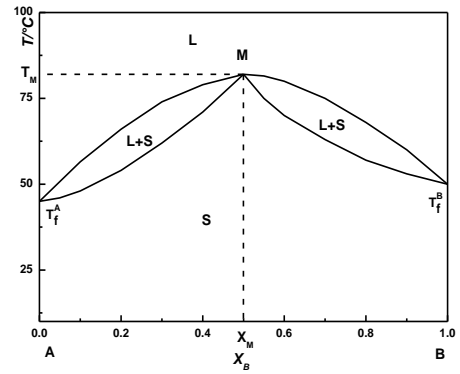


Diagramme de phases à deux fuseaux avec une température de fusion congruente ou non congruente maximale

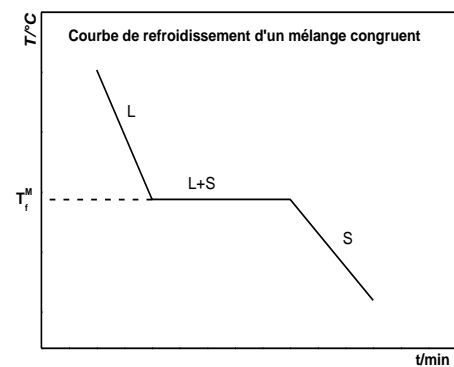
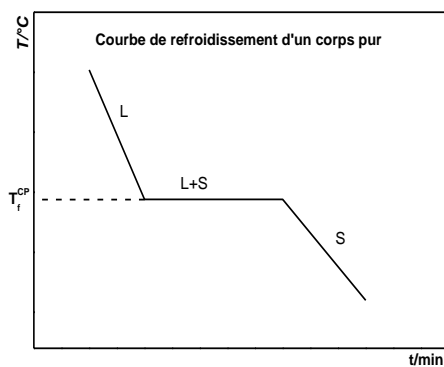
- On appelle le point M, point de fusion congruente ou non congruente
- (X_M, T_M) sont les coordonnées du point M
- Au point M, la composition de la phase liquide est égale à la composition de la phase solide ($X^L = X^S$)

Au point M :

$S \rightarrow L$ suivi de décomposition \rightarrow fusion non congruente

$S \rightarrow L$ n'est pas suivi de décomposition \rightarrow fusion congruente

Le mélange au point M se comporte comme un corps pur (même allure de la courbe de refroidissement avec le corps pur)



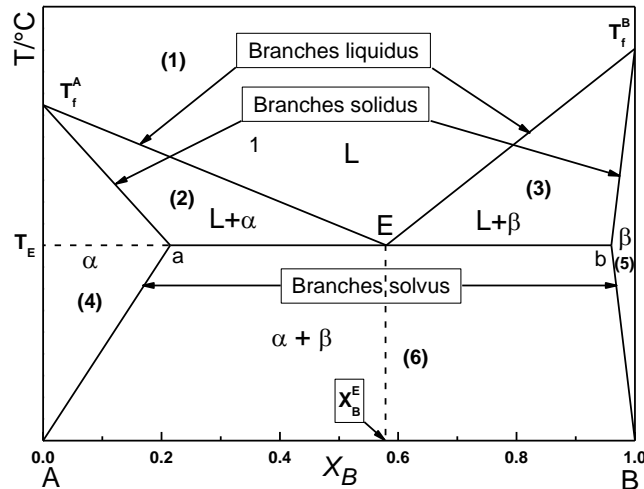
Exemples de diagrammes à deux fuseaux :

- Fer + Chrome (Fe/Cr)
- Cuivre + Magnésium (Cu/Mg)
- Or + Cuivre (Au/Cu)

II.4.2 Diagrammes binaires à solubilité partielle à l'état solide

II.4.2.1 Diagramme présentant un point eutectique

(avec A partiellement miscible dans B et B partiellement miscible dans A)



Ce diagramme contient 6 domaines [(1)-(6)] et un point eutectique E.

Domaine (1) : ce domaine contient une seule phase homogène liquide (L)

- Nombre de phases $\varphi=1$ (domaine monophasique)
- Variance $V=3-\varphi=2$ (domaine bivariant)

Domaine (2) : ce domaine contient deux phases, une phase solide (α) plus une phase liquide (L)

- Nombre de phases $\varphi=2$ (domaine biphasique)
- Variance $V=3-\varphi=1$ (domaine monovariant)

Domaine (3) : ce domaine contient deux phases, une phase solide (α) plus une phase liquide (L)

- Nombre de phases $\varphi=2$ (domaine biphasique)
- Variance $V=3-\varphi=1$ (domaine monovariant)

Domaine (4) : ce domaine contient une seule phase homogène solide (α)

- Nombre de phases $\varphi=1$ (domaine monophasique)
- Variance $V=3-\varphi=2$ (domaine bivariant)

Domaine (5) : ce domaine contient une seule phase homogène solide (β)

- Nombre de phases $\varphi=1$ (domaine monophasique)
- Variance $V=3-\varphi=2$ (domaine bivariant)

Domaine (6) : ce domaine contient deux phases, une phase solide (α) plus une phase solide (β)

- Nombre de phases $\varphi=2$ (domaine biphasique)
- Variance $V=3-\varphi=1$ (domaine monovariant)

Phase (α) : cette phase solide (α) est composée du constituant **A** majoritaire et du constituant **B** minoritaire, elle peut être une solution solide de substitution (SSS) ou bien une solution solide d'insertion (SSI).

Phase (β) : cette phase solide (β) est composée du constituant **B** majoritaire et du constituant **A** minoritaire, elle peut être une solution solide de substitution (SSS) ou bien une solution solide d'insertion (SSI).

Formation de la phase (α) : le système cristallin de la phase (α) est le même que celui du constituant majoritaire A, avec la variation linéaire du paramètre de maille selon la loi de Vegard.

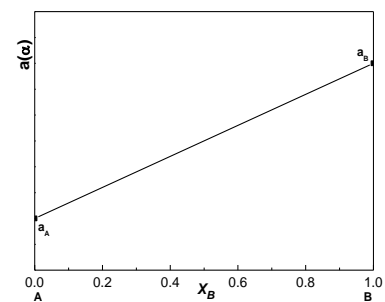
$$a_\alpha = a_A X_A + a_B X_B$$

$$a_\alpha = a_A(1 - X_B) + a_B X_B$$

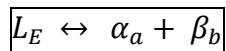
$$\boxed{a_\alpha = (a_B - a_A)X_B + a_A}$$

Loi de Vegard (variation linéaire du paramètre de maille de la structure cristalline de la solution solide α)

C'est valable également pour la formation de la phase β .



Point eutectique : au point E, il y a présence de trois phases simultanées en équilibre, la phase liquide (L), la phase solide (α) et la phase solide (β).



On appelle cette équation d'équilibre, l'équation du point eutectique.

(X_B^E , T_E) sont les coordonnées du point eutectique E.

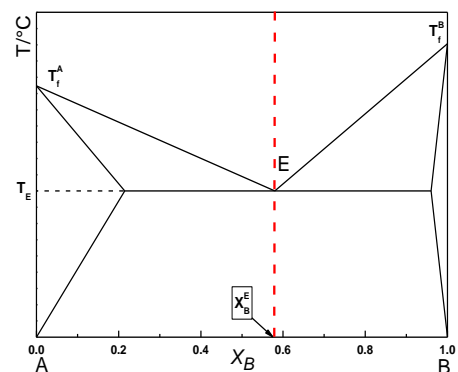
- Nombre de phases $\varphi=3$
- Variance $V=3-\varphi=0$ implique (point invariant)

Donc, point eutectique = point invariant.

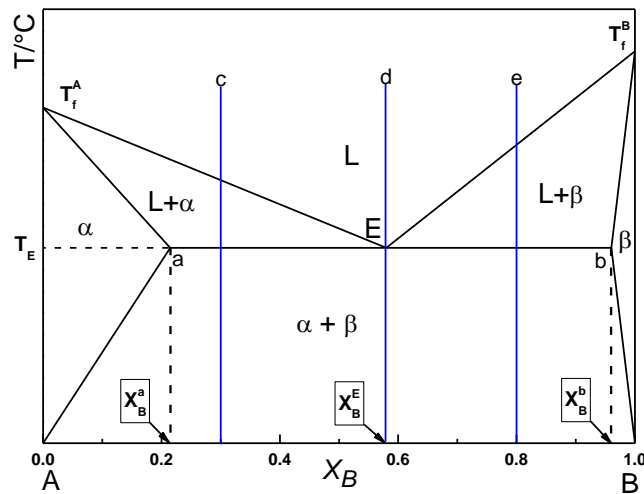
Ce diagramme est divisé en deux domaines principaux :

1/ Domaine $0 < X_B < X_B^E$: on appelle ce domaine, domaine des alliages hypo-eutectiques.

2/ Domaine $X_B^E < X_B < 1$: on appelle ce domaine, domaine des alliages hyper-eutectiques.



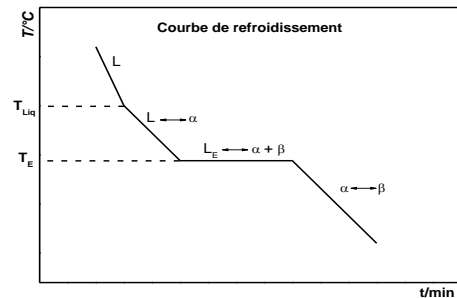
Refroidissement d'alliages : on prend quelques alliages sur le diagramme et on trace leurs courbes de refroidissement.



1/ Alliages hypo-eutectique de type c
 $(X_B^a < X_B < X_B^E)$

Le refroidissement de ce type d'alliages traverse 4 domaines différents :

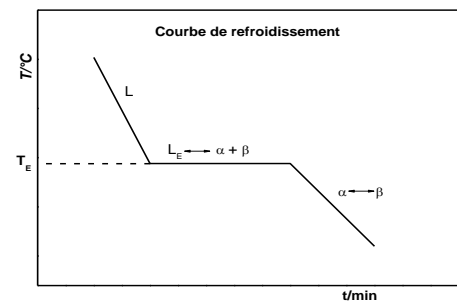
- Le domaine de la phase liquide (L)
- Le domaine biphasique ($L+\alpha$)
- Le domaine de l'eutectique ($L+\alpha+\beta$)
- Le domaine biphasique ($\alpha+\beta$)



2/ Alliage eutectique de type d ($X_B = X_B^E$)

Le refroidissement de ce type d'alliages traverse 3 domaines différents :

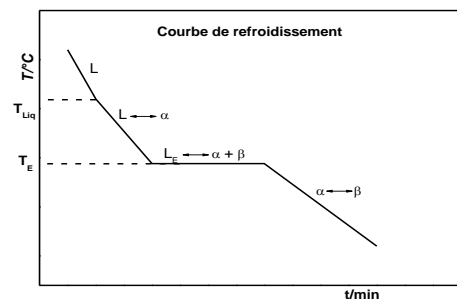
- Le domaine de la phase liquide (L)
- Le domaine de l'eutectique ($L+\alpha+\beta$)
- Le domaine biphasique ($\alpha+\beta$)



3/ Alliages hyper-eutectique de type e
 $(X_B^E < X_B < X_B^b)$

Le refroidissement de ce type d'alliages traverse 4 domaines différents :

- Le domaine de la phase liquide (L)
- Le domaine biphasique ($L+\beta$)
- Le domaine de l'eutectique ($L+\alpha+\beta$)
- Le domaine biphasique ($\alpha+\beta$)

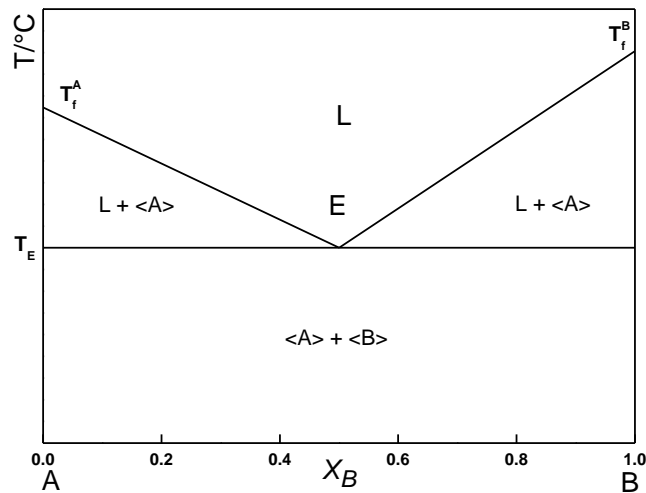


Exemples de ce type de diagrammes :

- Plomb + Etain (Pb/Sn)
- Argent + Cuivre (Ag/Cu)
- Etain + Bismuth (Sn/Bi)

Cas particuliers de diagrammes à point eutectique :

1/ Diagrammes à immiscibilité totale à l'état solide

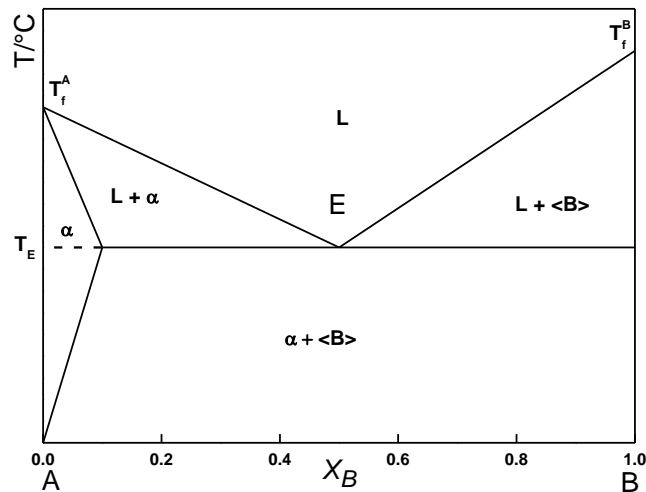


A $T=T_E$, $L_E \leftrightarrow \langle A \rangle + \langle B \rangle$, équation du point eutectique

Exemples :

- Or + Silicium (Au/Si)
- Alpha-naphtol + Naphtalène ($\alpha N/N$)

2/ Diagrammes à miscibilité partielle de B dans A à l'état solide

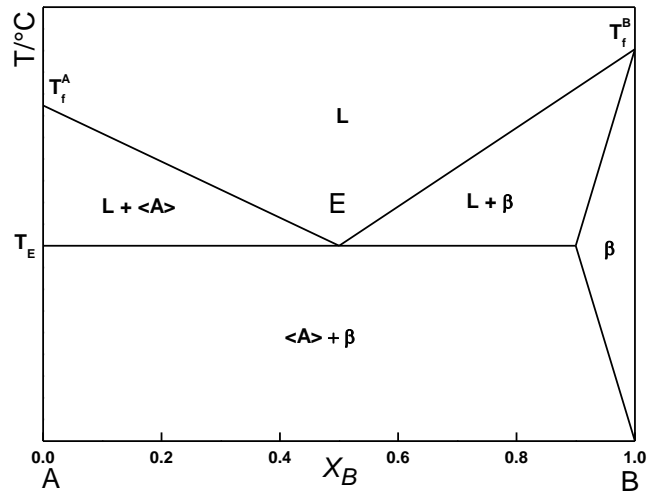


A $T=T_E$, $L_E \leftrightarrow \alpha + \langle B \rangle$, équation du point eutectique

Exemple :

- Or + Germanium (Au/Ge)

3/ Diagrammes à une miscibilité partielle de A dans B à l'état solide

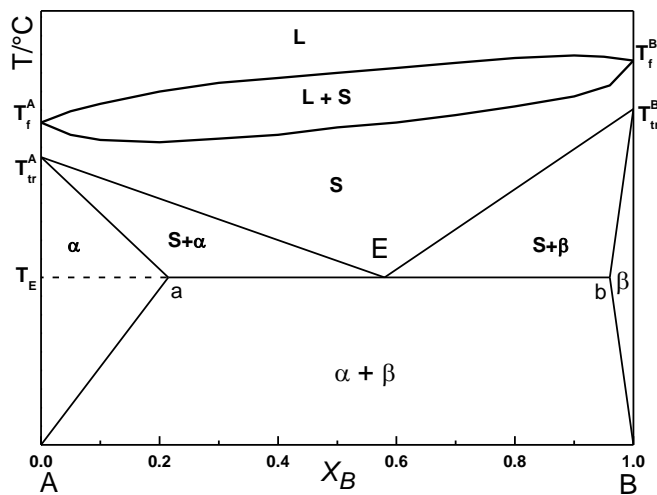


A $T=T_E$, $L_E \leftrightarrow \langle A \rangle + \beta$, équation du point eutectique

Exemple :

- Silicium + Aluminium (Si/Al)

4/ Diagrammes à un point eutectoïde



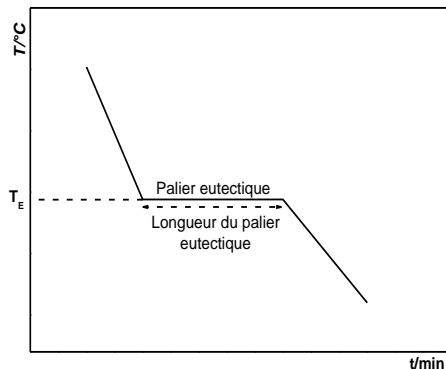
A $T=T_E$, $S_E \leftrightarrow \alpha + \beta$, équation du point **eutectoïde**

Exemple :

- Fer + Carbone (Fe/C)

Détermination de la composition eutectique par la méthode de Tamman

Pour déterminer à partir des courbes de refroidissement la composition eutectique, on trace la longueur du palier eutectique en fonction de la composition $l=f(X_B)$.



Courbe de refroidissement

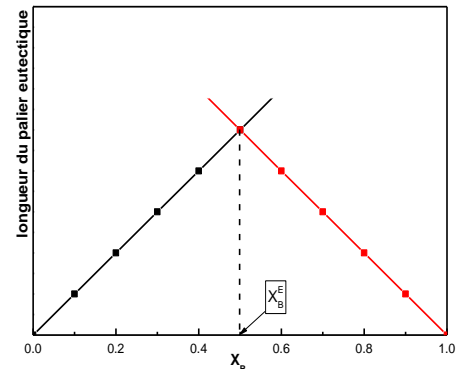


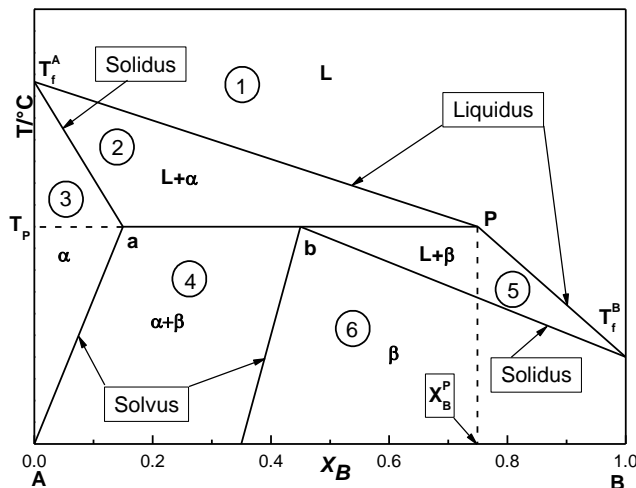
Diagramme de Tamman

A l'intersection des deux portions de droites, on détermine par projection sur l'axe des compositions la composition eutectique.

L'intersection des deux portions de droites correspond à la composition eutectique.

II.4.2.2 Diagramme présentant un point péritectique

(avec une miscibilité partielle des deux composés à l'état solide)



Ce diagramme contient 6 domaines [(1)-(6)] et un point péritectique **P**.

Domaine (1) : ce domaine contient une seule phase homogène liquide (L)

- Nombre de phases $\varphi=1$ (domaine monophasique)
- Variance $V=3-\varphi=2$ (domaine bivariant)

Domaine (2): ce domaine contient deux phases, une phase solide (α) plus une phase liquide (L)

- Nombre de phases $\varphi=2$ (domaine biphasique)
- Variance $V=3-\varphi=1$ (domaine monovariant)

Domaine (3): ce domaine contient une seule phase solide (α)

- Nombre de phases $\varphi=1$ (domaine monophasique)
- Variance $V=3-\varphi=2$ (domaine bivariant)

Domaine (4) : ce domaine contient deux phases solides ($\alpha+\beta$)

- Nombre de phases $\varphi=2$ (domaine biphasique)
- Variance $V=3-\varphi=1$ (domaine monovariant)

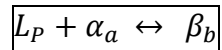
Domaine (5) : ce domaine contient deux phases, une phase solide (β) et une phase liquide (L)

- Nombre de phases $\varphi=2$ (domaine biphasique)
- Variance $V=3-\varphi=1$ (domaine monovariant)

Domaine (6) : ce domaine contient une seule phase solide (β)

- Nombre de phases $\varphi=1$ (domaine monophasique)
- Variance $V=3-\varphi=2$ (domaine bivariant)

Point péritectique : au point P, il y a présence de trois phases simultanées en équilibre, la phase liquide (L), la phase solide (α) et la phase solide (β).



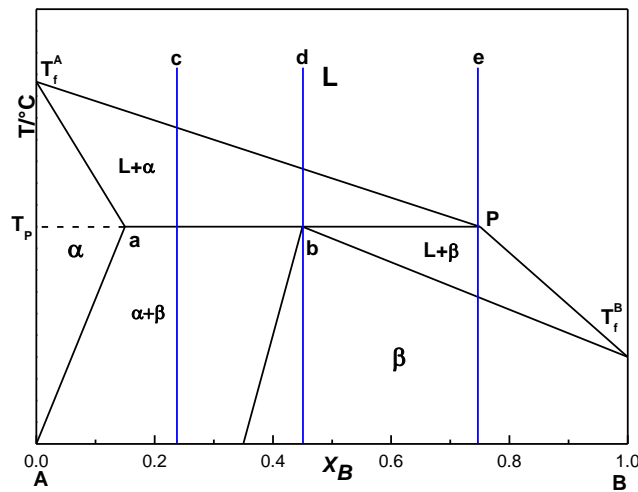
On appelle cette équation d'équilibre, l'équation du point péritectique.

(X_B^P, T_P) sont les coordonnées du point péritectique P.

- Nombre de phases $\varphi=3$
- Variance $V=3-\varphi=0$ implique (point invariant)

Donc, point péritectique = point invariant.

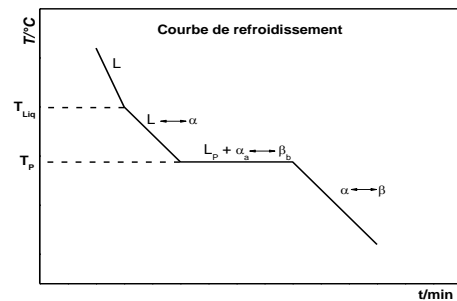
Refroidissement d'alliages : on prend quelques alliages sur le diagramme et on trace leurs courbes de refroidissement.



1/ Alliages de type c ($X_B^a < X_B < X_B^b$)

Le refroidissement de ce type d'alliages traverse 4 domaines différents :

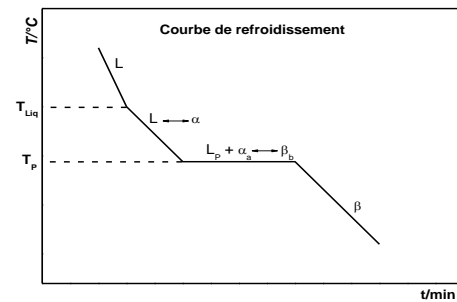
- Le domaine de la phase liquide (L)
- Le domaine biphasique (L+α)
- Le domaine du péritectique (L+α+β)
- Le domaine biphasique (α+β)



2/ Alliage de type d ($X_B = X_B^b$)

Le refroidissement de ce type d'alliages traverse 4 domaines différents :

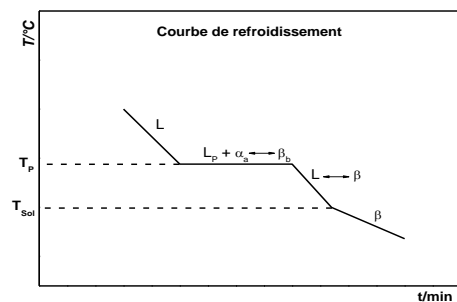
- Le domaine de la phase liquide (L)
- Le domaine biphasique (L+α)
- Le domaine du péritectique (L+α+β)
- Le domaine de la phase (β)



3/ Alliages péritectique de type e ($X_B = X_B^p$)

Le refroidissement de cet d'alliages traverse 4 domaines différents :

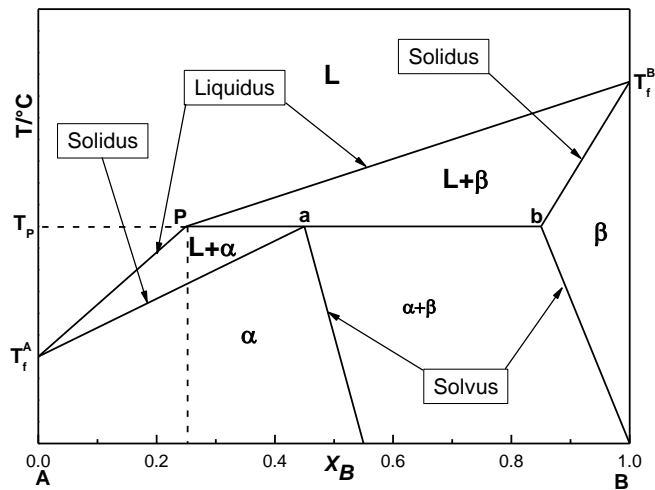
- Le domaine de la phase liquide (L)
- Le domaine de l'eutectique (L+α+β)
- Le domaine biphasique (L+β)
- Le domaine de la phase (β)



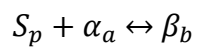
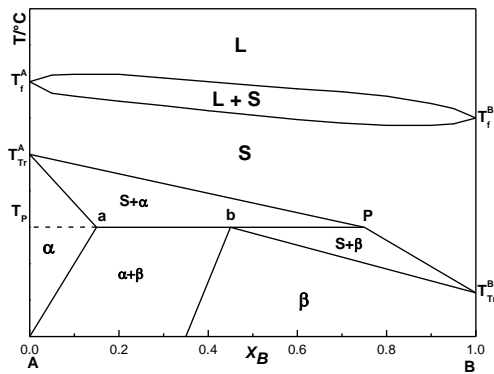
Exemples de ce type de diagrammes :

- Cobalt + Cuivre (Co/Cu)
- Platine + Or (Pt/Au)
- Platine + Argent (Pt/Ag)

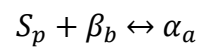
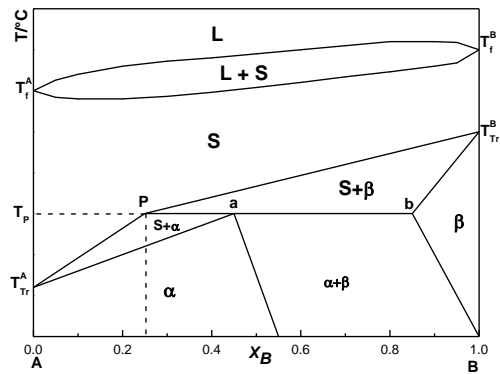
Un autre cas de diagrammes à point péritectique ($T_f^A < T_f^B$)



4/ Diagrammes à un point péritectoïde



Equation du point péritectoïde



Equation du point péritectoïde