

Diagrammes de phases

Comprendre la microstructure des alliages

Alliages

• Alliage :

• Autrefois :

Ex. : bronze = métal (Cu) + métal (Sn) →

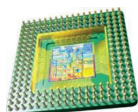
acier = métal (Fe) + non-métal (C) →



• Maintenant :

Ex. : rubis = monocristal d'alumine (Al_2O_3) + 0,05% Cr_2O_3

Si dopé

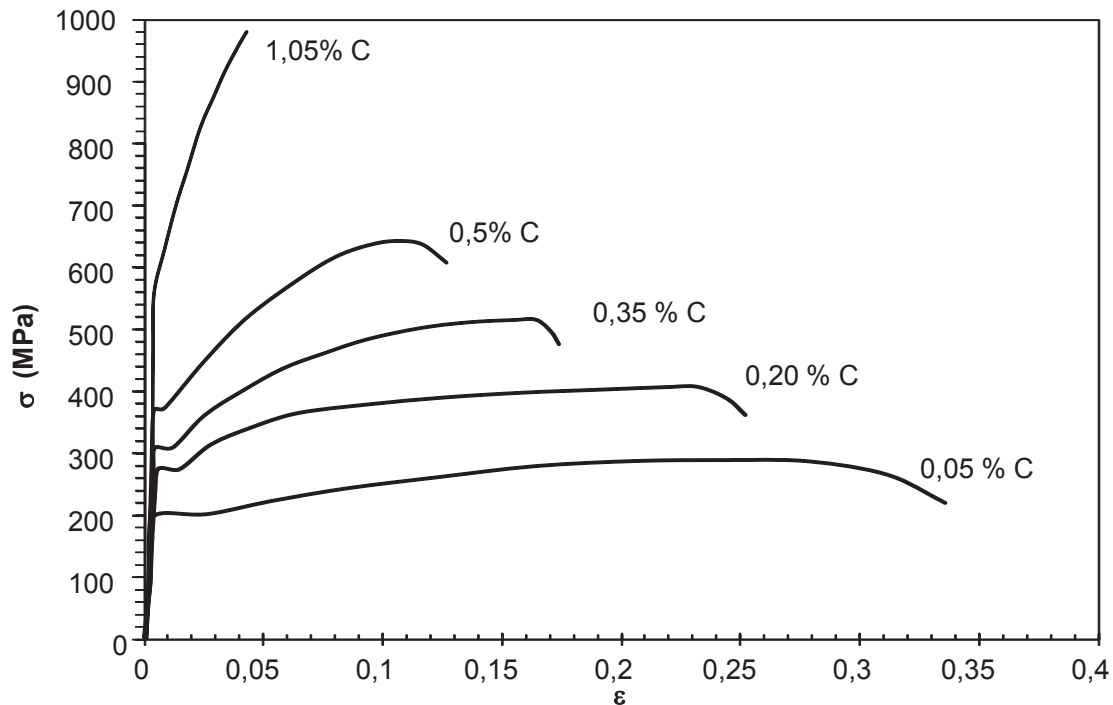


• Pourquoi ?

• Grande majorité des matériaux = alliages

Alliages

● Courbes de traction d'aciers au carbone



➡ l'ajout d'1% de carbone modifie complètement les propriétés mécaniques

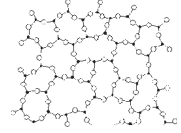
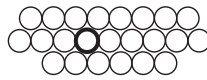
Diagrammes de phases

● Comment

● Quelle

Composants et phases

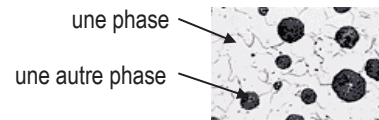
Composants :



Système :

Ex. : système Fe-Ni, système $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$, ...

Phase :



nature des composants
concentration des composants

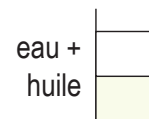
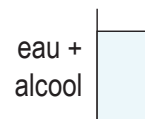
structure cristalline
structure amorphe

Phases

Exemples pour deux composants :

phases diluées { Gaz :

phases condensées { Liquides :
Solides :



Ex. : système Fe-C (= aciers et fontes) à T_{ambiante}

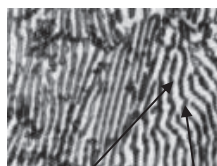
1 phase

C = 0,008%



2 phases

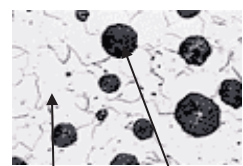
C = 0,8%



ferrite cémentite

2 phases

C = 2%



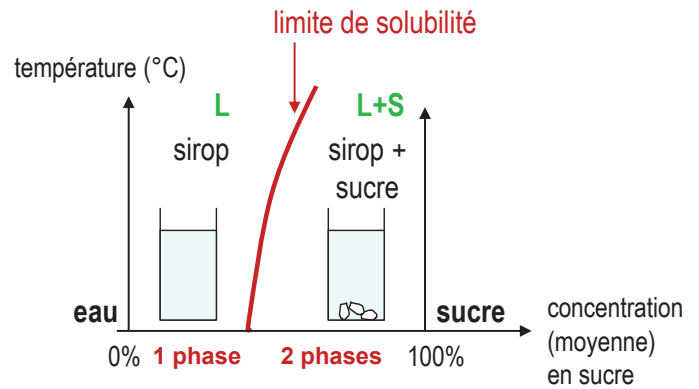
ferrite graphite

➡ 2 composants **mais** 3 phases possibles (ferrite, cémentite, graphite) à T_{ambiante}

Solubilité

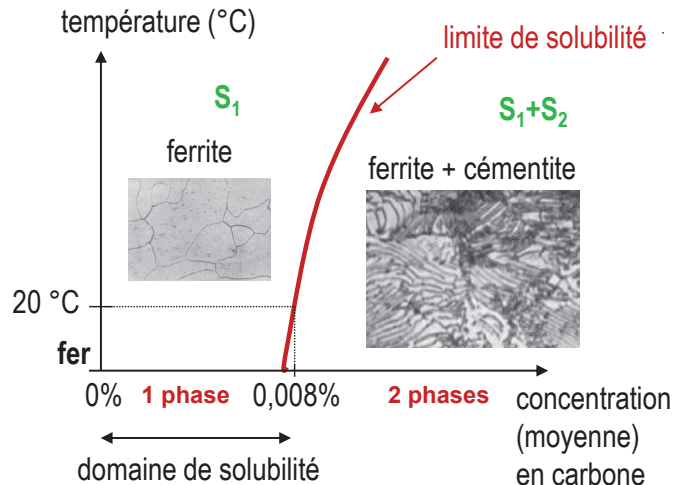
Solubilité

Le sirop est une **solution** de sucre dans l'eau



Solubilité

La ferrite est une **solution solide** de carbone dans le fer



Mélanges solides

Mélanges cristallins :

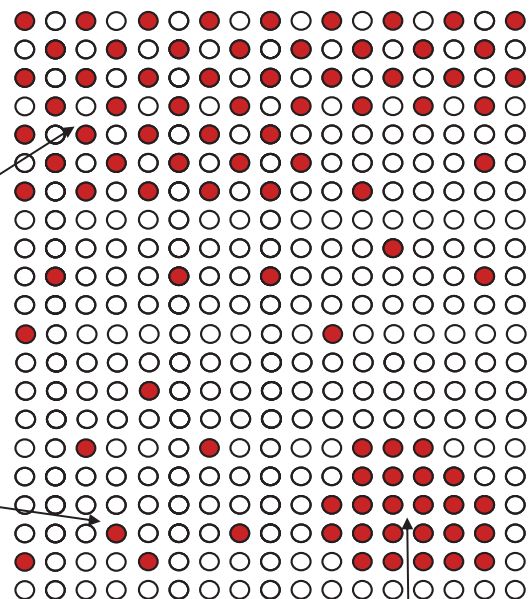
1) substitution

ex. : Cu-Sn

○ solvant
● soluté

phase ordonnée :
composé défini (ou phase intermédiaire)
(composition définie, ex. : Cu₃Sn, ...)

phase désordonnée :
solution solide de substitution
(soluté soluble)



amas
(soluté insoluble)
// cas eau/sucre

Mélanges solides

Mélanges cristallins :

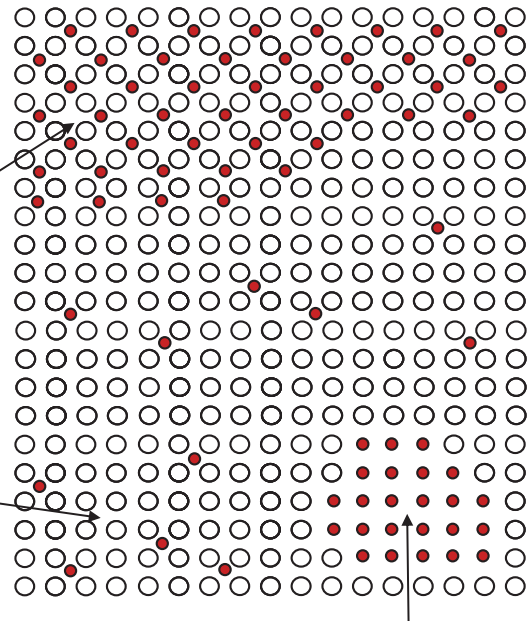
2) insertion

ex. : Fe-C

○ solvant
● soluté

phase ordonnée :
composé défini (ou phase intermédiaire)
(composition définie, ex. : Fe_3C , ...)

phase désordonnée :
solution solide d'insertion
(soluté soluble)



amas
(soluté insoluble)
// cas eau/sucre

Systeme à deux composants



Solubilité complète

Ex. : Ni - Cu

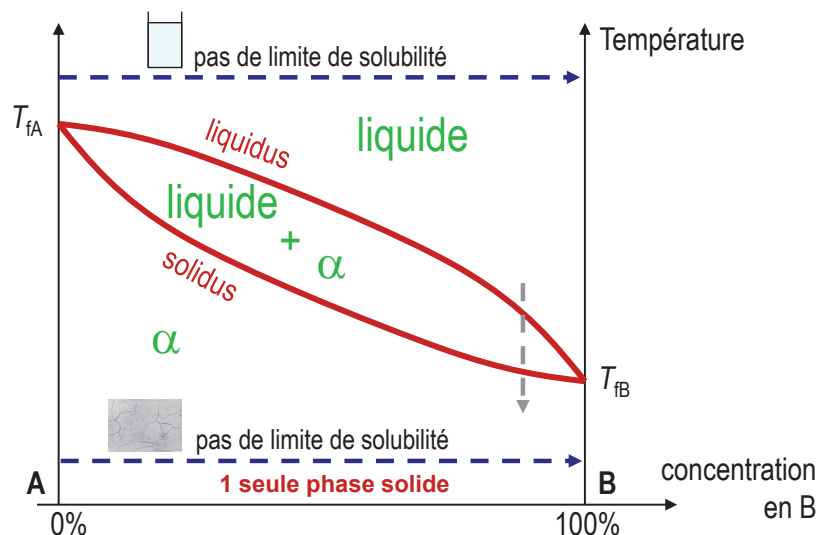
Au - Ag (électrum)

MgO - NiO

Al_2O_3 - Cr_2O_3

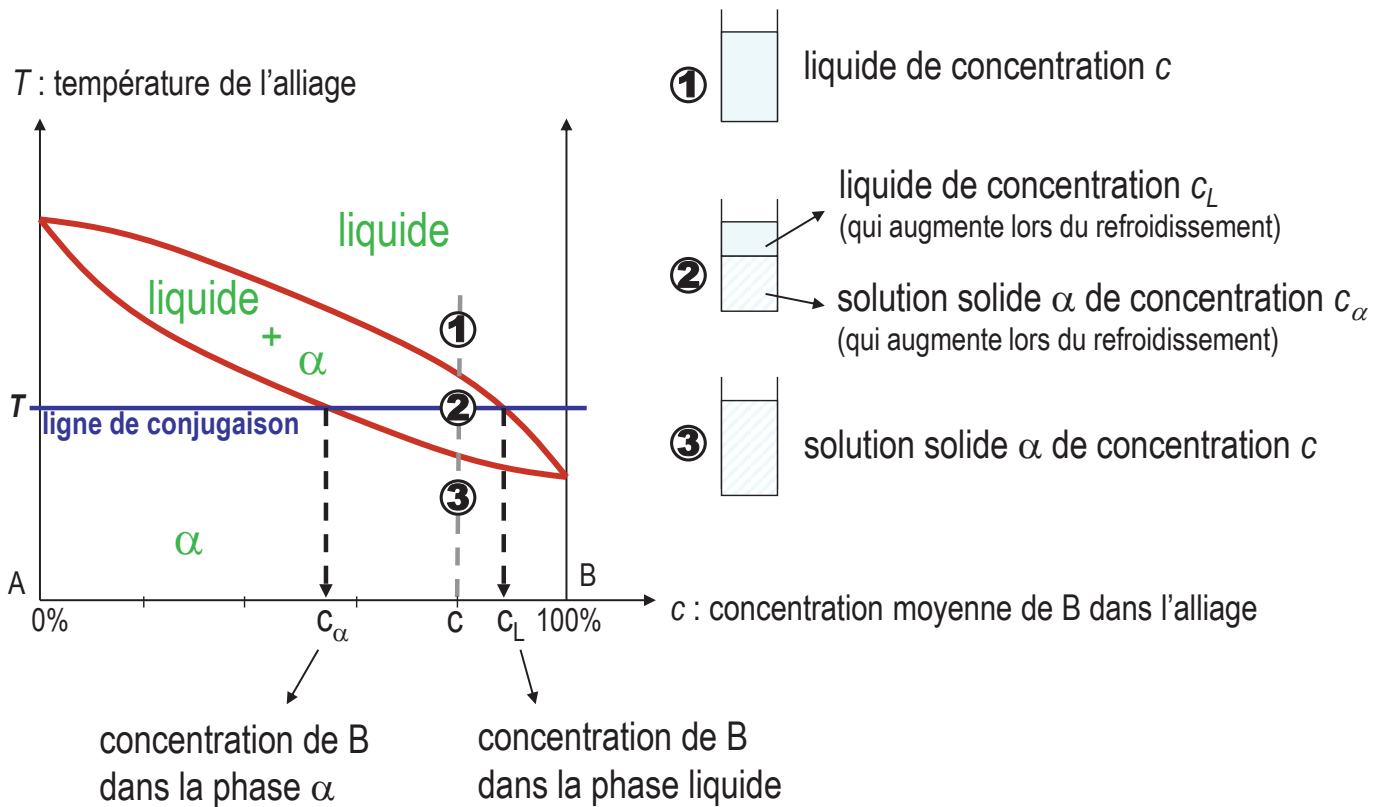
très rare pour polymères

α : solution solide



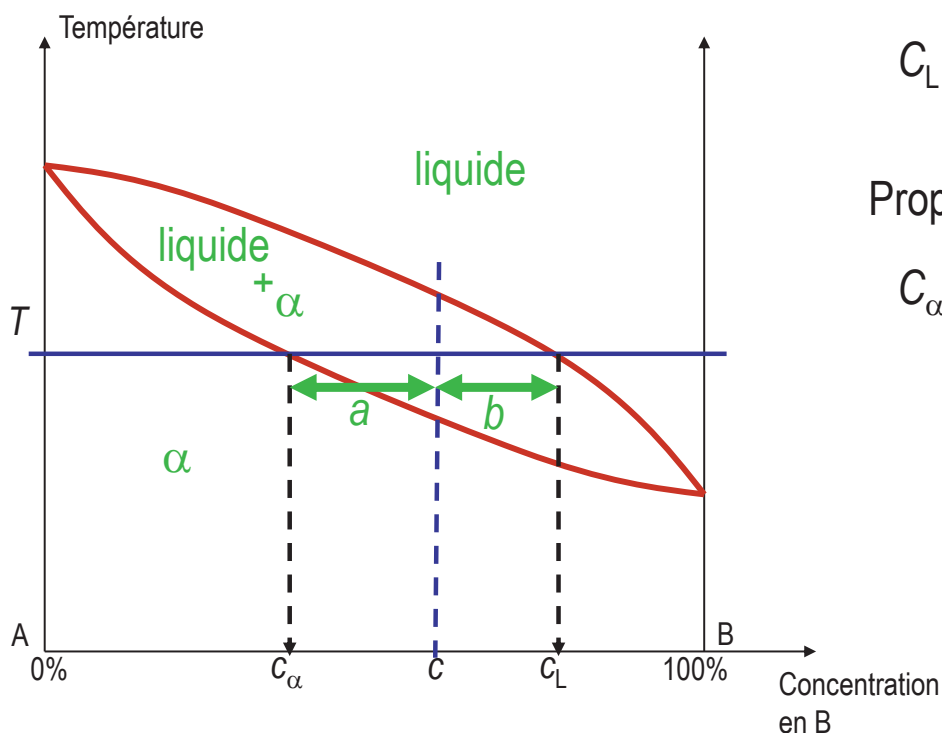
Composition des phases

↪ ligne de conjugaison



Proportion des phases

↪ règle des segments inverses

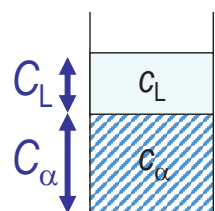


Proportion de liquide :

$$C_L = \frac{a}{a+b} = \frac{c - c_\alpha}{c_L - c_\alpha}$$

Proportion de solide α :

$$C_\alpha = \frac{b}{a+b} = \frac{c_L - c}{c_L - c_\alpha}$$



$$C_L + C_\alpha = 1 = 100\%$$

Diagrammes de phases

● Un diagramme de phases

➡ organisation des phases ?

Microstructure d'équilibre

● Formation de la microstructure lors d'un refroidissement très lent
(➡ à l'équilibre)

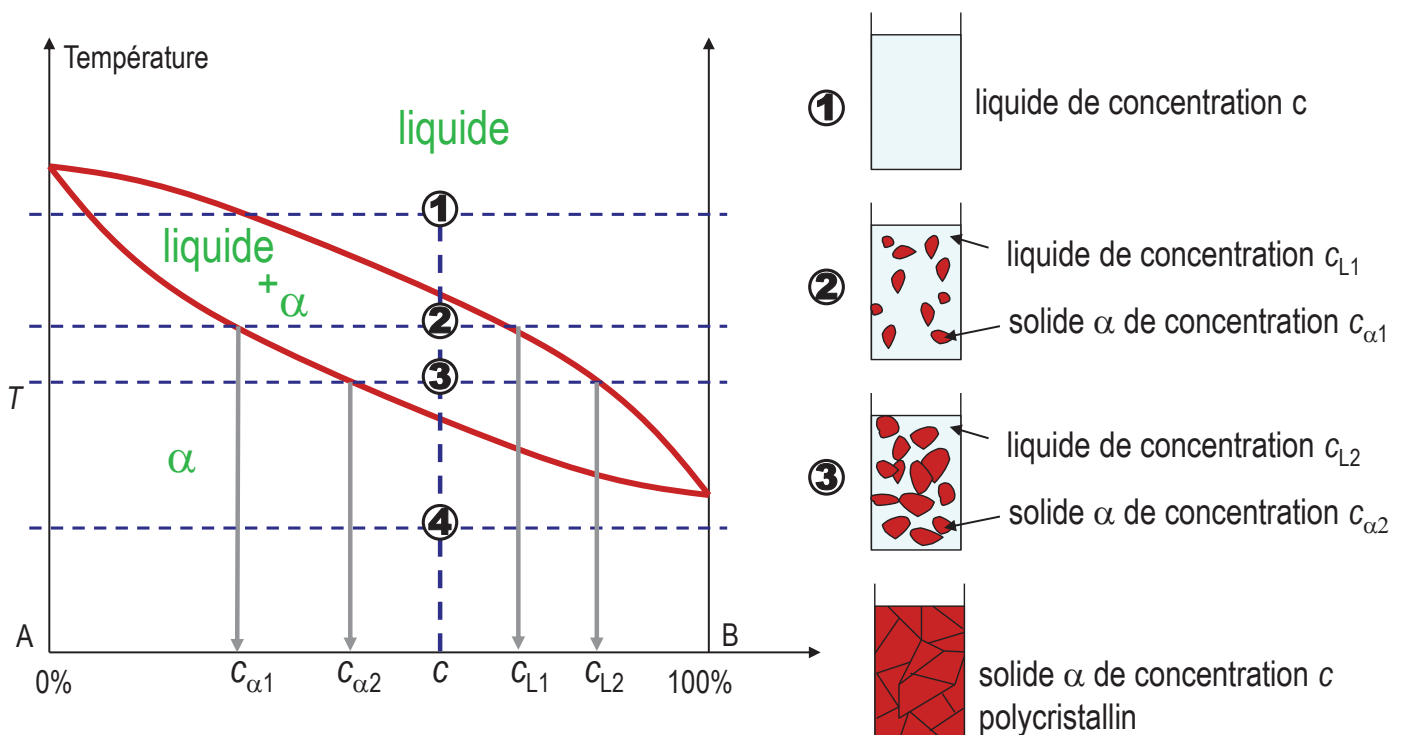


Diagramme eutectique

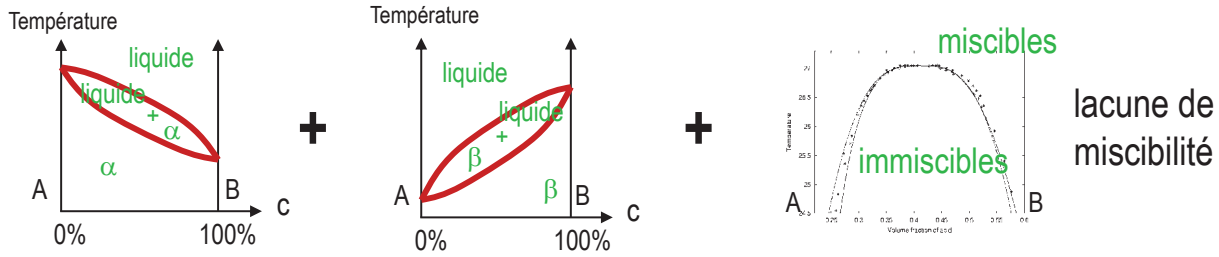
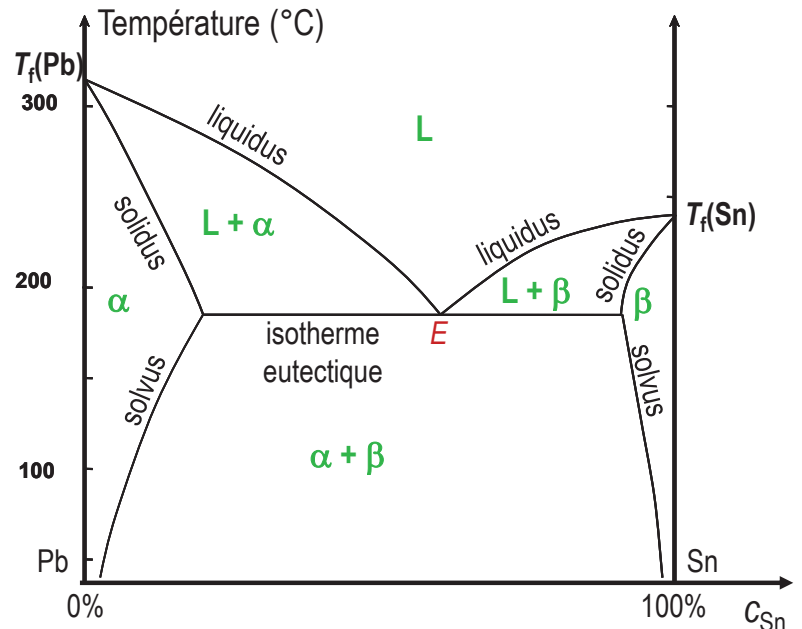


diagramme eutectique

Ex. : Ag – Cu
Pb – Sn

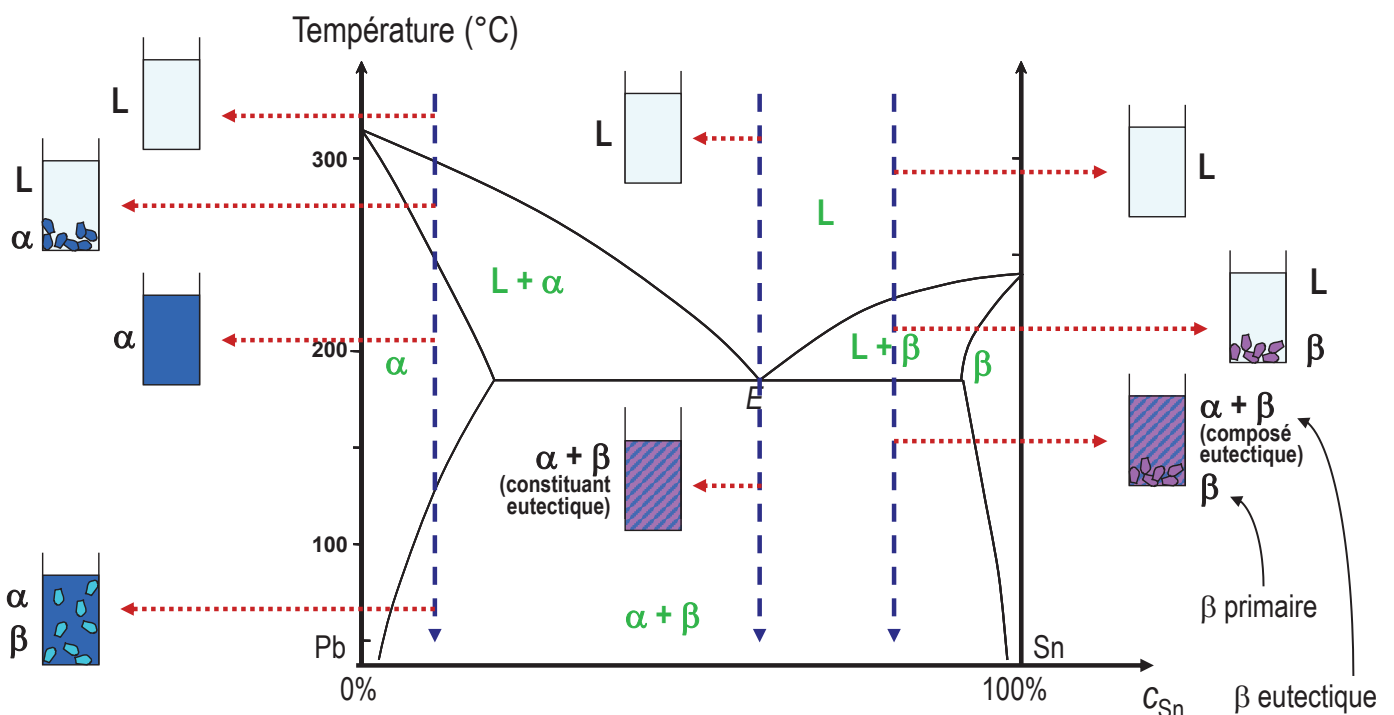
E = point eutectique =
trois phases en présence
(liquide, α et β)

α et β : solutions solides



Microstructure d'équilibre

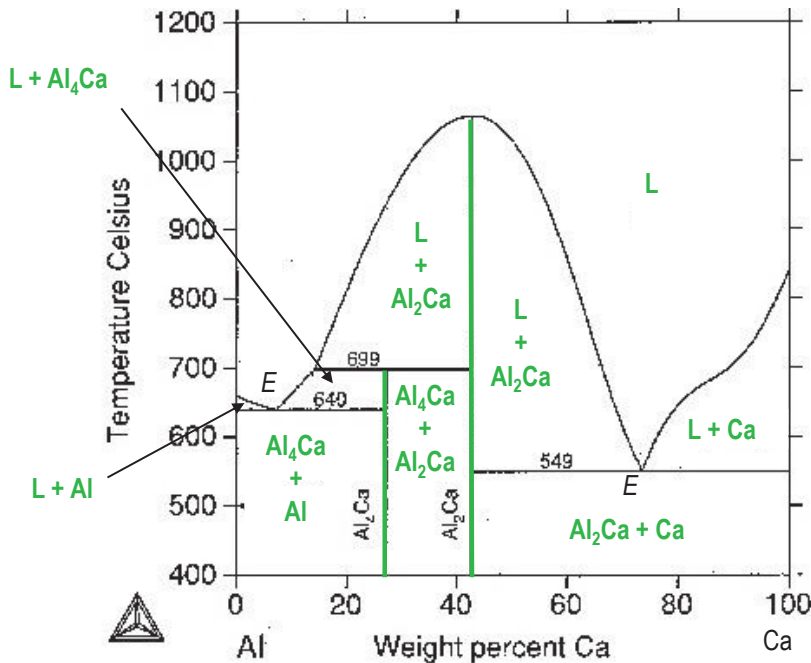
Transformations de phases lors d'un refroidissement très lent



Phases intermédiaires

Si les deux composants forment un composé défini

Ex. : Al - Ca, Cu - Mg, MgO - SiO₂, ...



celui-ci peut se comporter comme un corps pur (T_f unique)

fusion congruente
Ex. : Al₂Ca

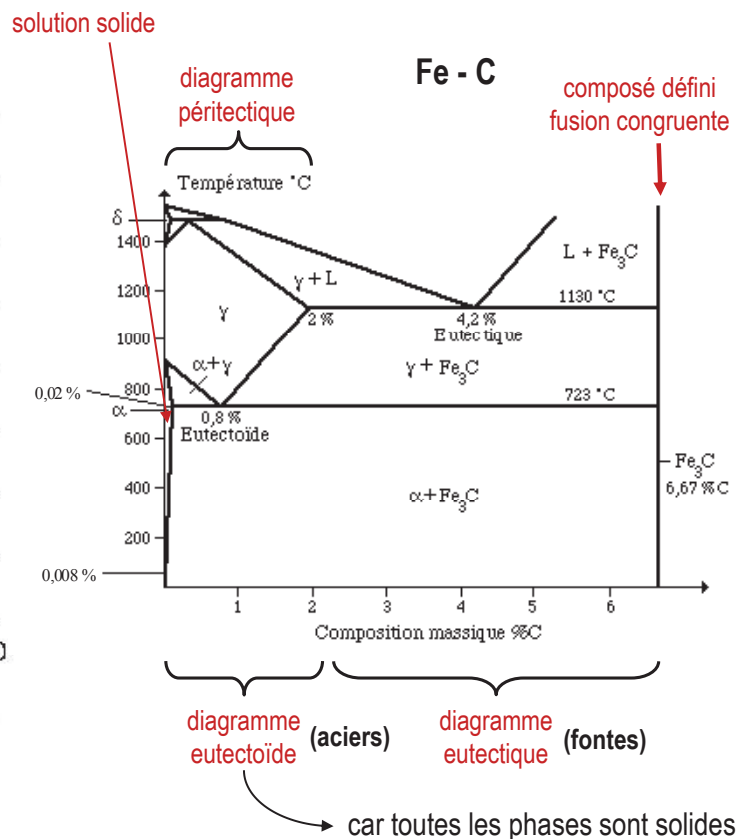
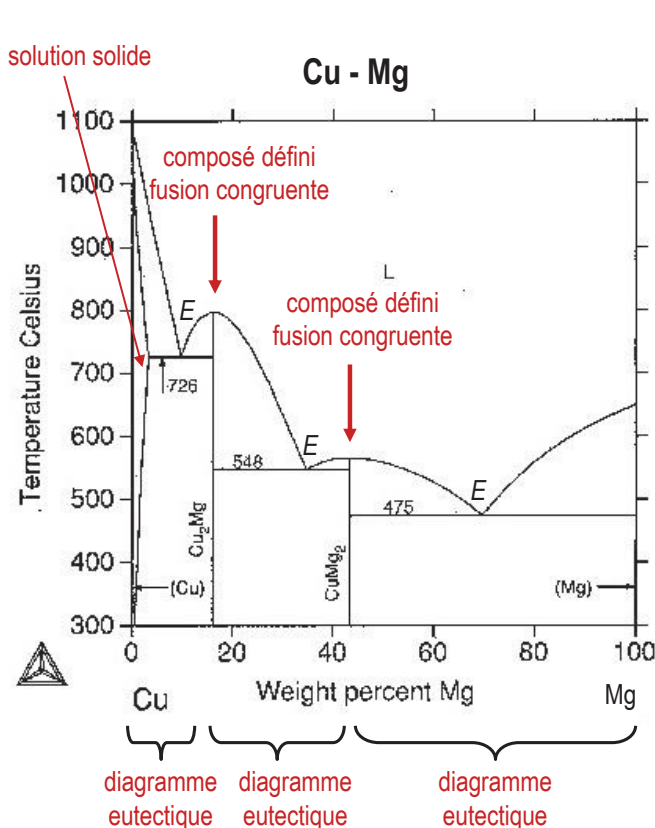
composés définis : Al₂Ca et Al₄Ca
(composés intermétalliques)

pas de solutions solides :

- Al insoluble dans Ca
- Ca insoluble dans Al

Phases intermédiaires

Autres exemples

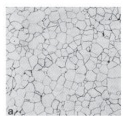


Phases intermédiaires

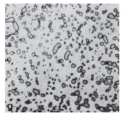
Il peut exister des solutions solides intermédiaires

fcc = cubique à faces centrées
hcp = hexagonal compact
bcc = cubique centré

ss = solution solide
cd = composé défini
l = liquide



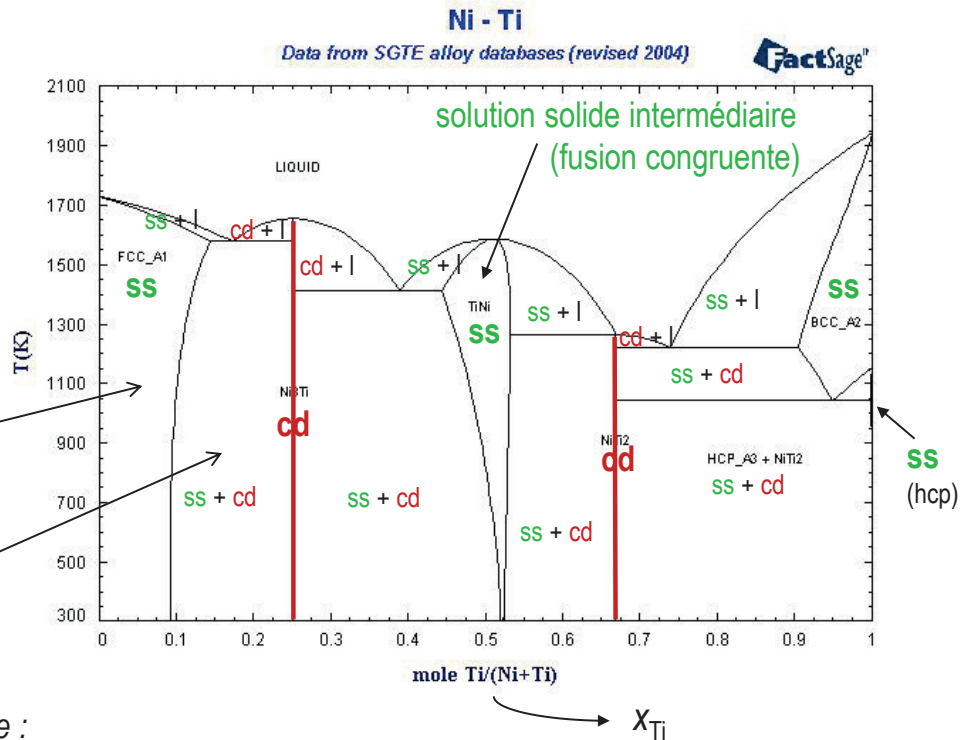
1 domaine
= 1 phase
(monophasique)



1 domaine
= 2 phases
(diphasique)

Diagrammes de phases en ligne :

<http://www.crct.polymtl.ca/fact/> (lien sur sdm.univ-lyon1.fr)



Bilan

diagramme de phases d'un mélange binaire = phases en présence à l'équilibre pour une concentration et une température donnée

solution solide et composé défini

température de transition, solubilité,

composition des phases



ligne de conjugaison

proportion des phases

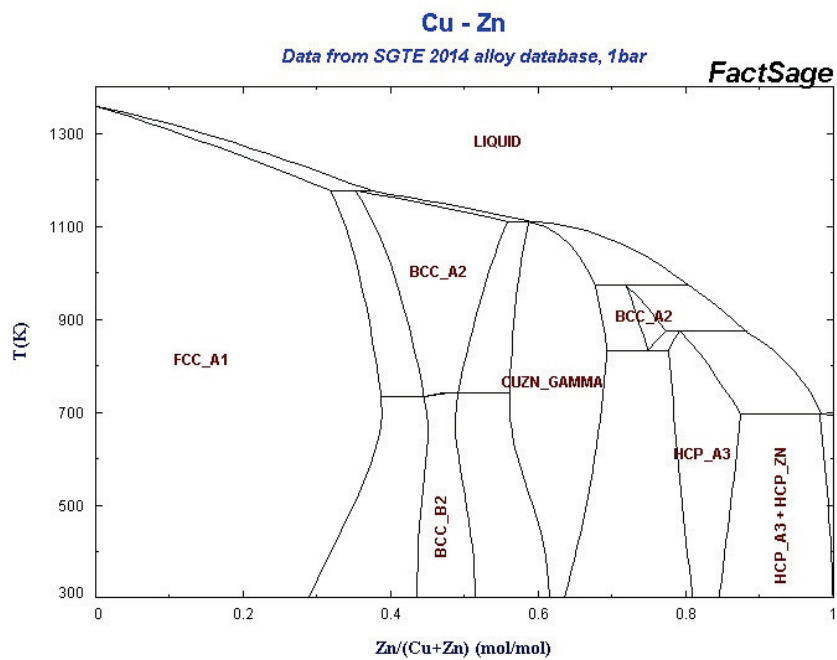


règle des segments inverses

diagrammes : en fuseau (solubilité complète), eutectique, eutectoïde, péritectique et fusion congruente

Toujours indiquer : % de **quoi** dans **quoi** !

Le laitton



- Nombre de phases :
- Nombre d'eutectiques :
- Nombre de péritectiques :
- Nombre d'eutectoïdes :
- Nombre de fusions congruentes :
- Solubilité de la phase FCC_A1 :
- Solubilité de la phase HCP_A3 :
- Composés définis :
- Solutions solides :
- Nombre de domaines biphasiques :