

DIAGRAMMES DES PHASES DES ALLIAGES

VI.1. Phases et Composants

Une phase décrit les états du matériau avec des caractéristiques physiques et chimiques uniformes. Les spécificités de cette partie sont structurées et la même disposition atomique.

Un composant est un corps simple (par exemple : Ti, Ag, Cu ...) ou composés (H_2O , Al_2O_3 , SiO_2 ...)



Figures VI.1 : (A) Phase, (B) Composant

VI.2. Solutions solides

L'élément de base représente le solvant, l'atome d'ajout dissout sous forme de soluté.

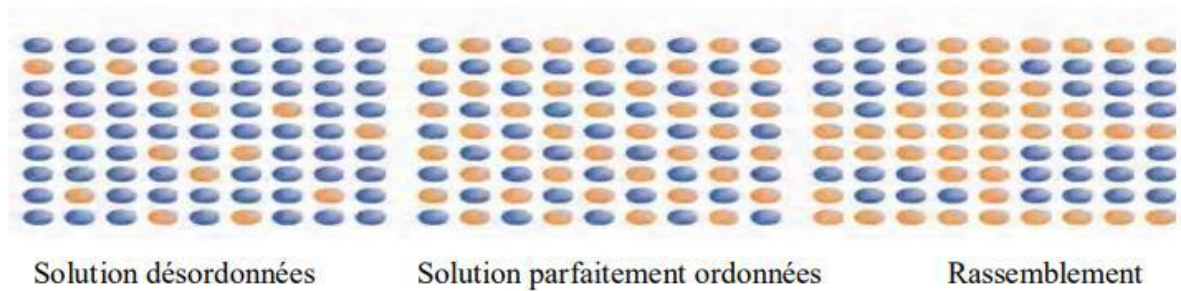
- **Solution solide de substitution**

L'atome du soluté (en rouge) substitue un atome du solvant (en bleu) et dans ce cas la miscibilité est partielle et qui sera totale lorsque le solvant deviendra minoritaire. Pour pouvoir substituer, il faut que les deux atomes adjacents aient des rayons atomiques R_a très proches. Plus les rayons atomiques sont proches plus la solubilité augmente ainsi que le seuil de la saturation.

Ex. : Cu-Zn (Cu est solvant, Zn est le soluté)

Le seuil de la saturation de Zn dans Cu est 35% en masse.

Cu (CFC) + Zn (**HC**) → Laiton (CFC)



Figures VI.2 : Répartition des solutions solides de substitution

- **Solution solide d'insertion**

Dans le cas d'une solution solide d'insertion le rayon atomique du soluté est inférieur à celui du solvant. ($R_{\text{soluté métallique}} < R_{\text{solvant métallique}}$), donc le soluté se mettra dans les sites interstitiels du solvant.

Les atomes qui sont capables d'être des solutés inertiels dans une matrice de solvant sont : H, B, C, N et O. Dans ce cas il y aura une modification des paramètres de maille par la distorsion locale et des propriétés physiques et mécaniques

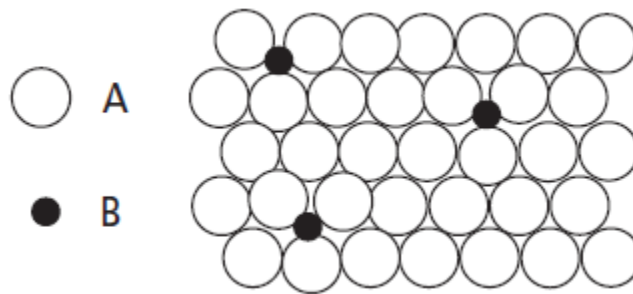


Figure IV.3 : Schéma d'une solution solide d'insertion de B dans A.

VI.3. Courbe de refroidissement

- Solidification d'un métal pur

Lorsqu'un métal pur en fusion est refroidi, sous pression constante (pression atmosphérique par exemple) une contraction se met en place pendant le refroidissement, en arrivant à la température de solidification $T_S = T_{\text{fusion}}$ on aura un plateau isotherme. Sur ce plateau aura une transformation du liquide en solide (liq $\leftrightarrow$ sol) graduellement pendant un certain temps. Donc en général on aura l'état liquide ensuite sur le plateau il y aura deux phases(liq+sol). Quand on aura fini de solidifier complètement le métal, ce solide va pouvoir refroidir à l'état solide.(Figure VI.4).

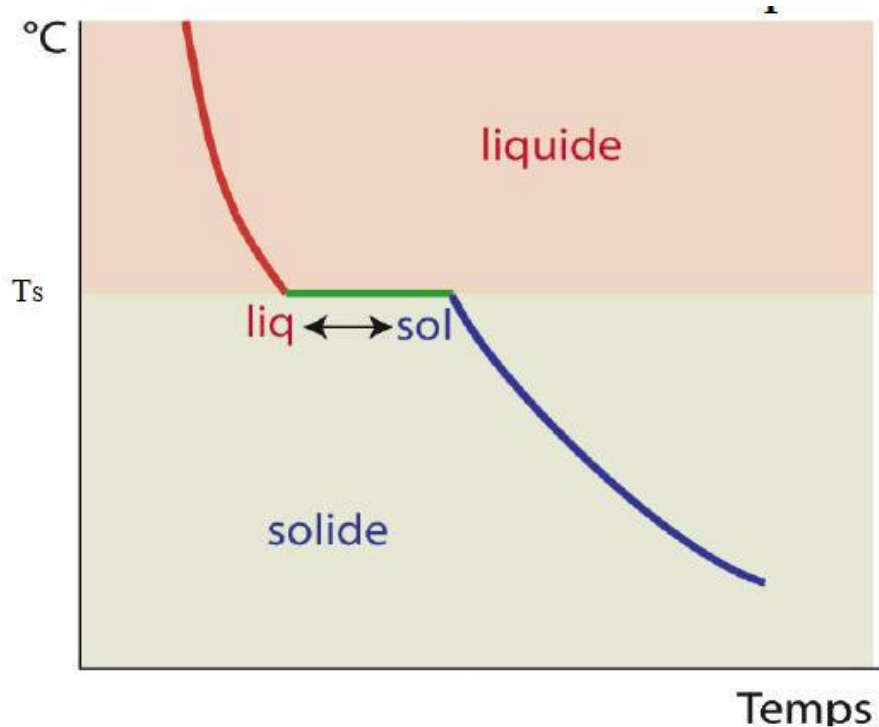
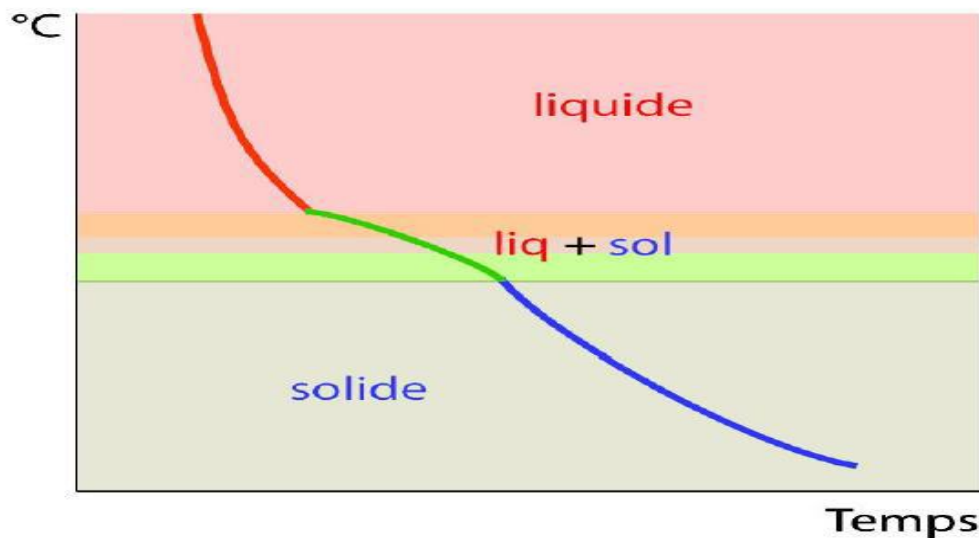


Figure VI.4 : Courbes d'échauffement ou de refroidissements spontané d'un métal pur passant de l'état liquidé l à 'état solide

Courbe de refroidissement d'un alliage de composition AB Exemple Ni et Cu

Si on prend un mélange binaire de 50% en masse de nickel et 50% en masse de cuivre à l'état liquide et on fait un fondu des deux atomes et on fait un suivi thermique par thermocouple, on aura une courbe de refroidissement ou la transition liquide et solide (**liq+sol**) qui n'est pas constante donc non isotherme (intervalle de solidification de couleur verte).

Le nickel a une température de fusion très élevée ($T_{\text{fusion du Ni}} = 1453\text{ }^{\circ}\text{C}$) alors que la température de fusion de cuivre est plus basse ($T_{\text{fusion du Cu}} = 1083\text{ }^{\circ}\text{C}$), donc il va y avoir un combat thermodynamique entre les deux pour savoir qui va solidifier le premier et donc on aura des abaissements des températures de fusion en fonction du mélange et on aura la courbe de couleur verte qui est présentée sur la figure VI.5



Figures VI.5 : Courbe de solidification d'un mélange binaire en même pourcentage en masse de Ni et Cu

VI.4. Système à miscibilité totale à l'état solide

VI.4. 1. Condition de miscibilité

Les éléments A et B peuvent être complètement miscibles, à l'état solide, à quatre conditions :

- Les diamètres atomiques des éléments A et B ne diffèrent pas plus que 15%,
- Les éléments doivent avoir la même structure cristalline,
- Les valences des deux éléments doivent être égales (nombre d'électrons sur la couche extérieure de l'atome pouvant faire une liaison avec un autre atome),
- Une électronégativité semblable

VI.4.2. Diagrammes de phases

Dans le diagramme de phases trois domaines sont délimités par le liquidus et le solidus:

Dans le domaine aux températures supérieures à la ligne liquidus (ligne de saturation du liquide), se présente uniquement une phase qui est le liquide homogène. Le liquidus représente les points correspondant au début de la cristallisation du liquide binaire pendant son refroidissement et la fin de fusion du solide lors de son échauffement

Dans le domaine, entre le solidus et le liquidus, se trouve une phase thermodynamiquement stable qui est constituée de liquide et les cristaux mixtes

Dans le domaine, en dessous du solidus, il n'y a que la phase solide. Le solidus indique le point correspondant à la fin de la cristallisation lors du refroidissement du liquide binaire et au début de la fusion lors du chauffage du solide binaire.

VI.5. Système à miscibilité partielle à l'état solide

Lorsque les règles de miscibilité ne sont pas respectées (cas le plus courant), la miscibilité est alors partielle. Par conséquent, le diagramme d'équilibre prend une forme plus complexe

- Diagramme **eutectique** caractérisé par une transformation eutectique,
- Diagramme **péritectique** caractérisé par une transformation péritectique,
- Diagramme **monotectique** caractérisé par une transformation monotectique

VI.5. 1. Diagramme eutectique

Dans le cas d'une solubilité partielle lorsque on refroidit l'élément liquide on aura un liquidus avec un point de jonction on va apparaître un solidus avec décrochement par rapport à la zone de transition liquide plus solide. Un solvus est une transformation entre un solide et un autre solide.

Le domaine α est une solution solide primaire à $T < T_{\alpha}$

Le domaine β est une solution solide primaire à $T < T_{\beta}$

Le domaine $\alpha+L$

Le domaine $\beta+L$

Entre les éléments A et B il ya des solutions solide $\alpha + \beta$ c.-à-d. un domaine biphasé.

Au point E ou point eutectique, un équilibre s'établit entre trois phases : une liquide et deux solides. A ce point, le liquide se convertit simultanément en deux phases solides ($\alpha + \beta$) en même temps.

Dans ce type de mélange on prend une température eutectique a une concentration eutectique $T_E < T_{fa}$ et T_{fb} .

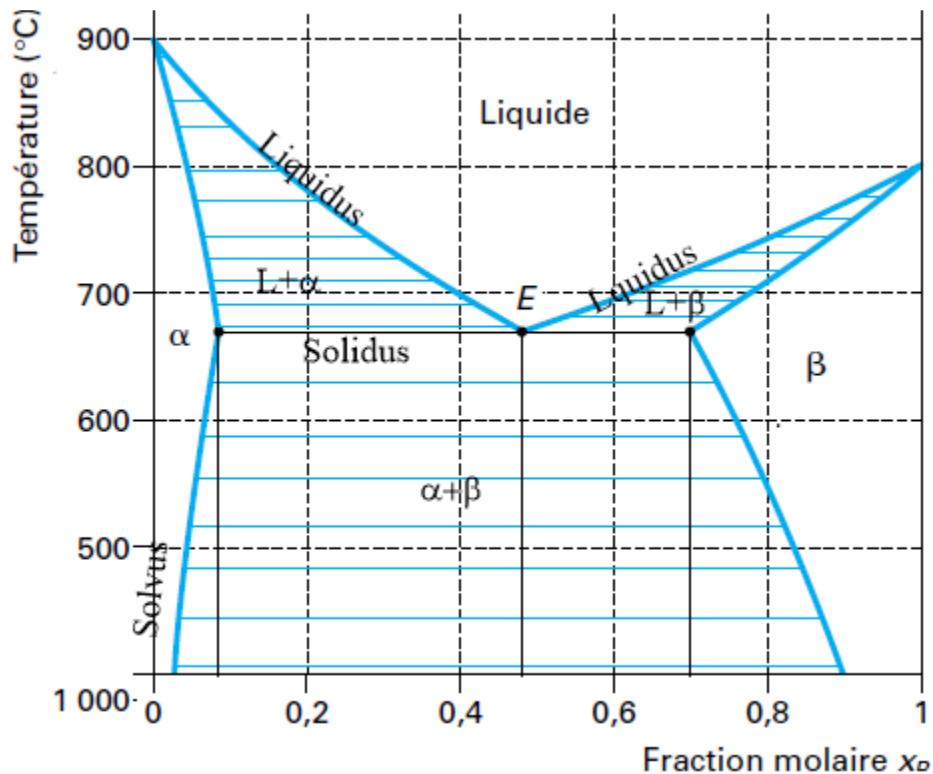


Figure VI.6 : Diagramme eutectique

VI.5.2. Exemple de système eutectique argent-cuivre

On considère que les diagrammes d'analyse thermique des compositions 1 et 4 (**Figure VI.7**) des constituants purs et de l'alliage eutectique sont du même type, c'est-à-dire qu'ils comportent un arrêt durant toute la transformation.

Les courbes de refroidissement de la composition 2 situées en dehors du plateau eutectique ne présentent qu'un ralentissement de refroidissement comme dans l'exemple 2 de la **figure VI.7.(b)**.

Pour les compositions situées entre les points de solubilité maximale de phases α et β , les courbes de refroidissement présentent, après un ralentissement du refroidissement, un arrêt de durée variable pendant lequel le liquide résiduel se transforme en un solide biphasé eutectique

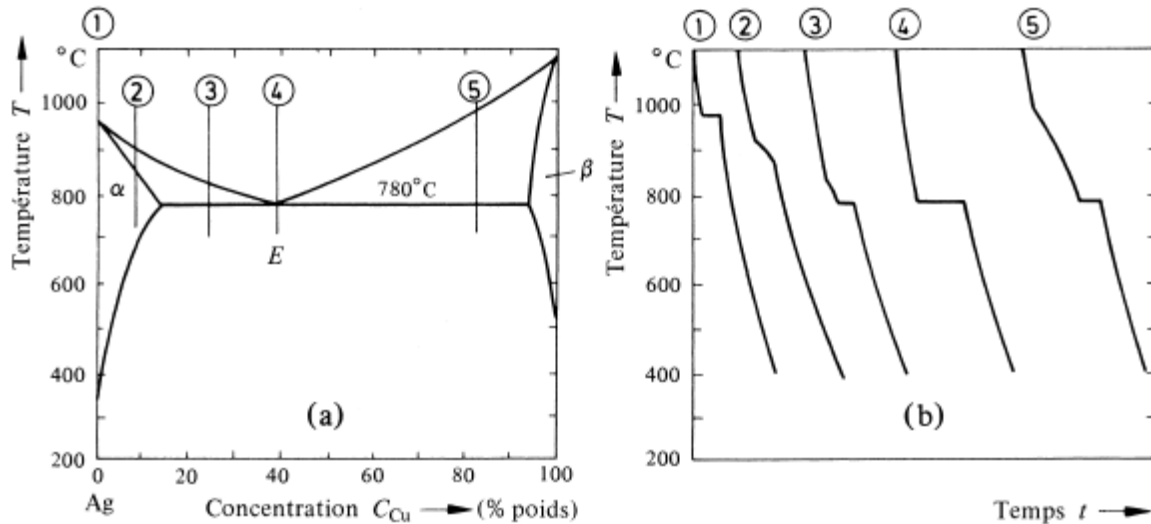


Figure VI.7 : Exemple d'un alliage formant un eutectique : (a) le diagramme d'équilibre de phases du système argent-cuivre, et (b) les courbes d'analyse thermique 1-5 repérées sur le diagramme d'équilibre.

- (1) : polycristal de α pur ;
- (2) : polycristal de solution solide α
- (3) solution solide de cristaux α entourés de l'eutectique biphasé ($\alpha+\beta$)
- (4) polycristal eutectique ($\alpha+\beta$) ;
- (5) solution solide de cristaux β entourés de l'eutectique biphasé ($\alpha+\beta$) .

VI5. 3. Diagramme péritectique

Un diagramme péritectique représente la coexistence des fuseaux d'équilibre liquide-solide α et liquide-solide β inclinés de la même manière par rapport à l'axe des concentrations.

A la composition P2, Il existe un équilibre triphasique : deux solutions solide α et β et solution liquide L, et en accord avec la règle des phases et en considérant de nouveau que la pression est fixée, on calcule encore ici une variance nulle pour le point peritectique P. Ce type de diagramme est moins important que le diagramme eutectique. On retrouve un exemple d'un système binaire peritectique dans le diagramme **Figure VI.8 (exemple Ag-Pt)**.

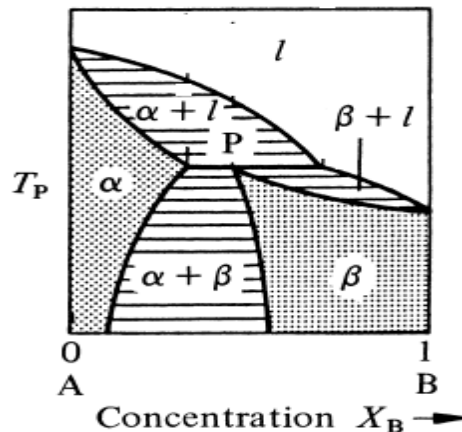


Figure VI.8: diagramme de phase de l'alliage Ag-Pt

VI.5.4. Diagramme eutectoïde

Le mécanisme de la transformation eutectoïde est très ressemblant à la transformation eutectique, mais au cours de cette transformation, c'est une phase solide S_1 qui se transforme simultanément en deux nouvelles phases solides respectivement S_2 , S_3 .

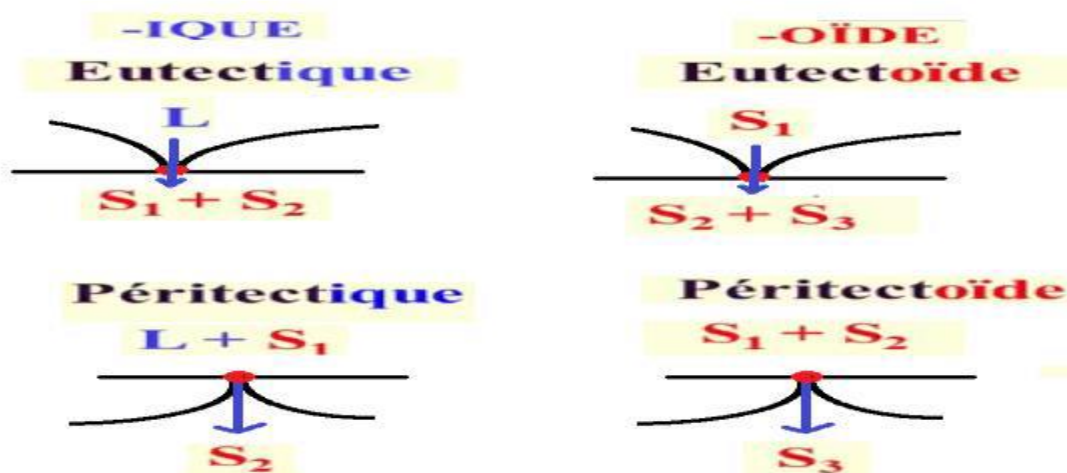


Figure VI.9 : Fiche de transformation eutectique, eutectoïde, péritectique et peritectoïde

VI.5. 5.Exemples d'application

VI.5. 5.1. Alliages métalliques : fer-carbone

Le diagramme d'équilibre fer-carbone regroupe deux types de matériaux qui sont les aciers les fontes, il peut être décomposé en une série de diagrammes simples.

- Le diagramme péritectique à haute température,
- Le diagramme eutectique qui est autour de 4% massive de carbone c'est une zone où la transformation eutectique qui intervient dans le matériau.
- Le diagramme eutectoïde qui est la zone des aciers entre 0.02% à 2% massique de carbone. Dans cette zone il y a le point eutectoïde qui intervient à 723°C et 0.8% massique de carbone dans le fer, il y a une transformation particulière de la solution solide γ qui va former deux phases solides une avec la phase α et l'autre avec Fe_3C .

- **La ferrite**

C'est une solution solide α qui comporte un faible taux de carbone, la ferrite est une maille principale du fer α qui contient quelques atomes de carbone. La ferrite α est de structure cubique centrée où les atomes de carbone allaient se placer sur les sites interstitiels, ce qui donne un taux de carbone très faible. Notons que le carbone est ajouté au fer, donc nous parlons d'acier.

- **Austénite**

C'est une solution solide γ qui existe à haute température au-dessus de 723°C à 1400°C la solubilité optimale du carbone dans fer à 1130°C est de 2% en masse qui est la limite des aciers. L'austénite est une maille principale du fer gamma γ de structure cubique à faces centrées où les atomes de carbone allaient se placer sur les sites interstitiels de cette maille de fer. Plus on ajoute le carbone dans le fer plus on va durcir le matériau.

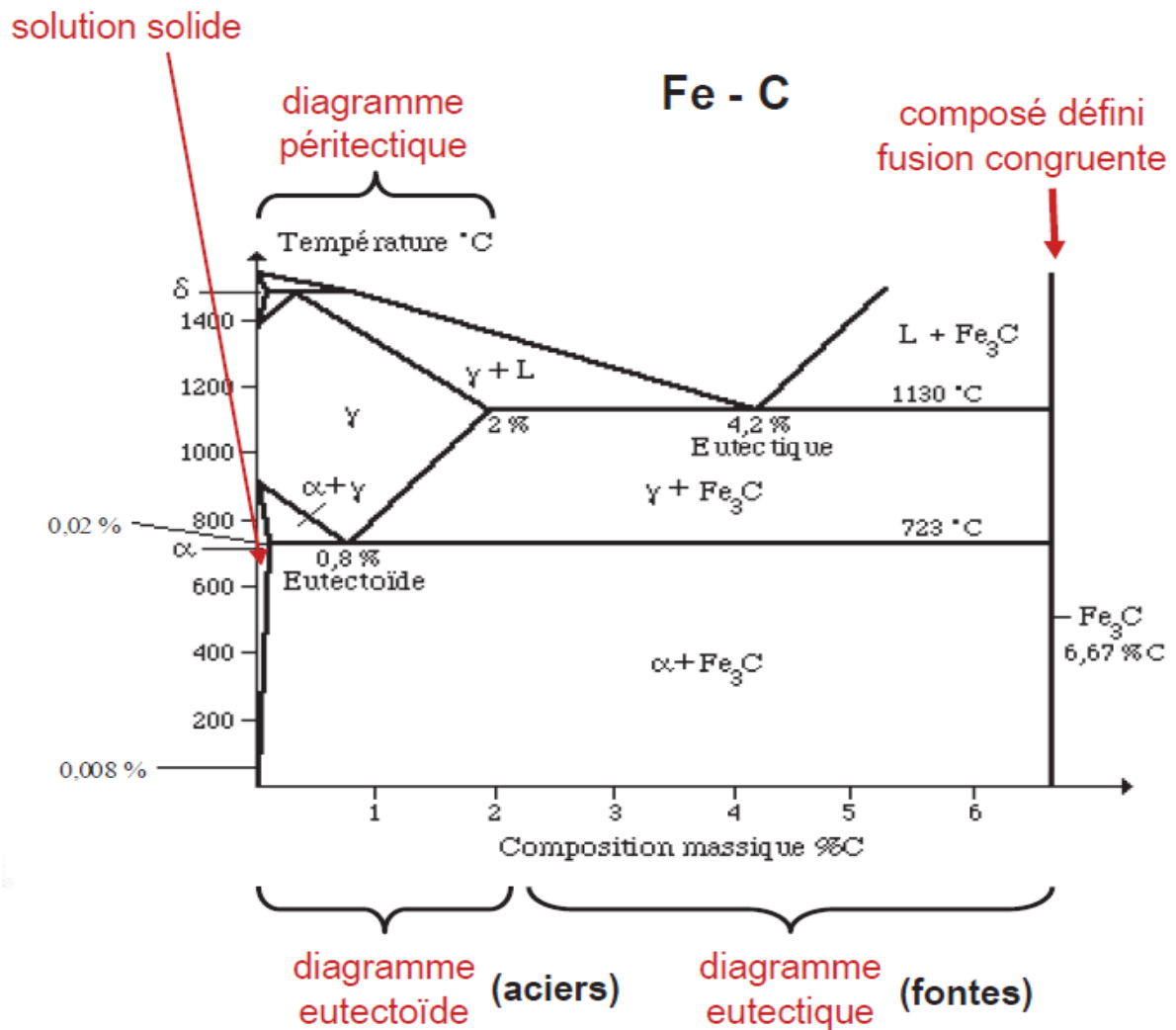


Figure VI.10: Diagramme binaire Fer Carbone zone des aciers