

# **CHAPITRE 4**

## **DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE**

**I.GENERALITES**

**II. RÈGLES D'INTERPRÉTATION ET DE  
LECTURE DES DIAGRAMMES DE PHASES**

**III.DIAGRAMME FER CARBONE**

---

# CHAPITRE 4

## DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE

### I. GENERALITES

Un **diagramme d'équilibre de phases** (ou diagramme de phases) est un diagramme qui ..... d'un mélange de corps purs à l'équilibre, en fonction de sa composition globale et de sa température.

**LA CONSTITUTION** d'un mélange décrit complètement son état physique et chimique dans les conditions expérimentales considérées. Elle comporte :

- le ..... **des phases présentes dans le mélange, qui définissent la nature de ce mélange;**
- la ..... **de chaque phase (concentrations en chacun des éléments purs constituant la phase, telle qu'une analyse chimique peut les fournir);**
- la ..... **de chaque phase dans le mélange (rapport masse de la phase/masse totale du mélange, telle qu'une pesée de chaque phase après séparation peut permettre de le déterminer).**

# CHAPITRE 4

## DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE

### I. GENERALITES

Les métaux sont rarement utilisés à l'état pur mais le plus souvent sous forme d'alliages. Les états d'équilibre thermodynamique des alliages sont définis par les diagrammes de phases à l'équilibre.

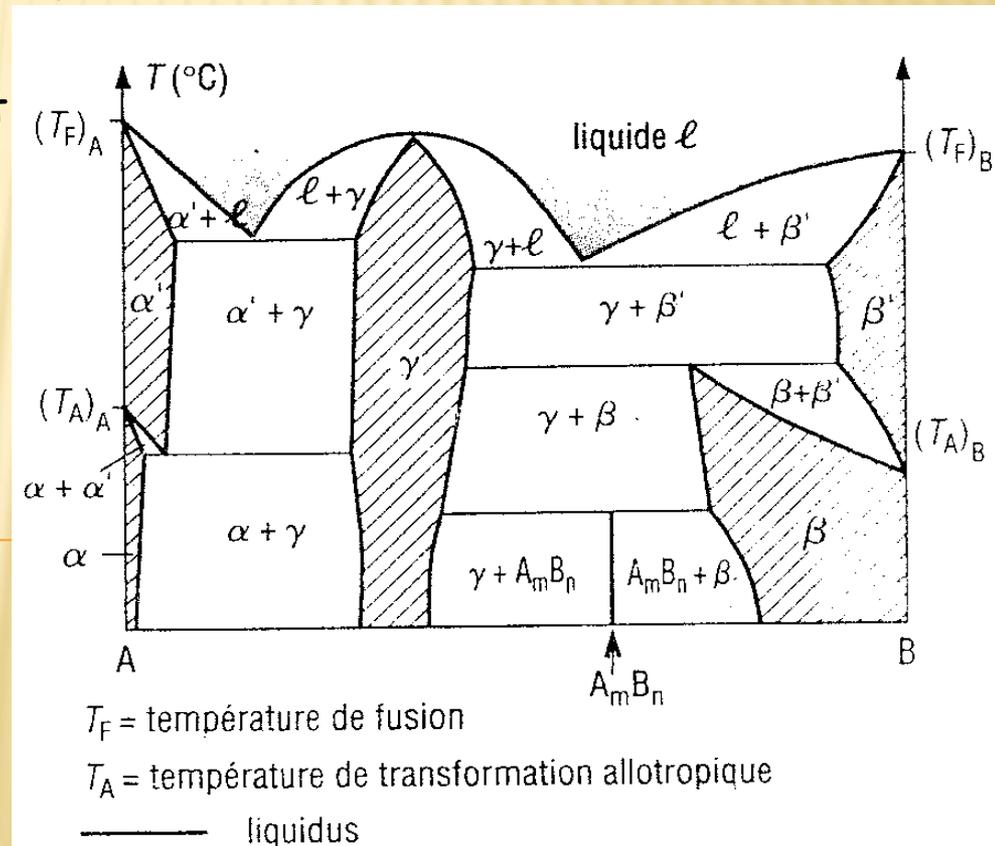
#### Définitions

▪ La composition chimique globale est définie par la teneur en chaque élément.

▪ Elle s'exprime en pourcentage massique (masse %) ou en pourcentage atomique (atome %) d'un des éléments.

▪ Elle est représentée sur l'axe des abscisses des diagrammes de phases.

▪ La température est représentée sur l'axe des ordonnées des diagrammes de phases.



# CHAPITRE 4

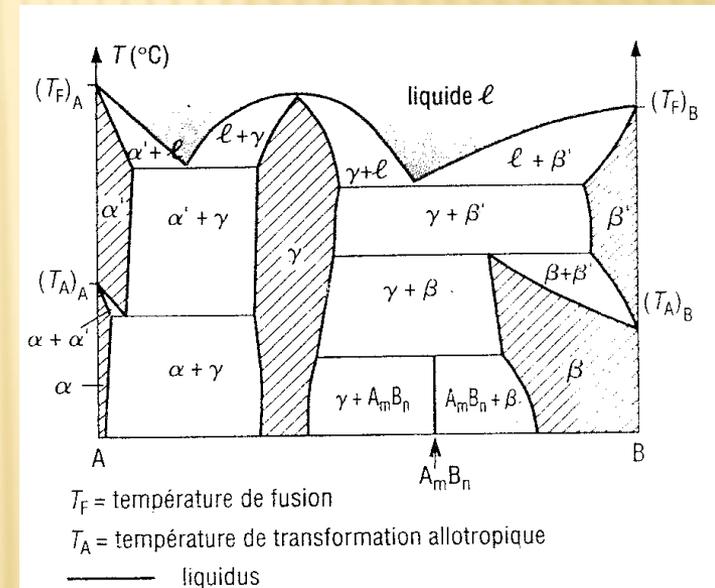
## DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE

### I. GENERALITES

#### Diagramme schématique

- La figure 1 schématise le diagramme de phases à l'équilibre d'un **système binaire A-B fictif**.
- Il met en évidence des *domaines monophasés, biphasés et triphasés*.
- Le diagramme présente sept phases différentes :

- $\ell$  : phase liquide ;
- $\alpha$  : solution solide de B dans A ;
- $\alpha'$  : solution solide de B dans A' ;
- $\beta$  : solution solide de A dans B ;
- $\beta'$  : solution solide de A dans B' ;
- $\gamma$  : solution solide intermédiaire ;
- $A_m B_n$  : composé défini.



- Les domaines monophasés, auxquels il faut ajouter la verticale du composé  $A_m B_n$ , sont hachurés.
- Tous les autres domaines sont biphasés, mis à part les horizontales sur lesquelles trois phases sont en équilibre.
- La courbe au-dessus de laquelle le système est à l'état liquide est le **liquidus**.
- La courbe en dessous de laquelle le système est à l'état solide est le **solidus**.

# CHAPITRE 4

## DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE

### II. Règles d'interprétation et de lecture des diagrammes de phases

□ **Domaines monophasés** (Si le point constitutif est situé dans un domaine monophasé : **La constitution se lit directement sur le diagramme**)

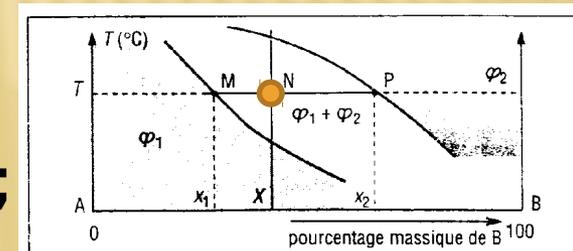
La température  $T$  et la composition  $X$  peuvent varier dans les limites du domaine sans changer la nature de la phase.

□ **Domaine biphasé** (Si le point constitutif est situé dans un domaine biphasé)

Deux règles simples, illustrées par la figure 1, permettent de déterminer, à une température  $T$ , la constitution de l'alliage de composition  $X$ , exprimé en pourcentage massique de l'élément B.

➤ **La composition des phases** est donnée par la **règle de l'horizontale** ;

➤ **La fraction massique des phases** est donnée par la **règle des segments inverses** ;

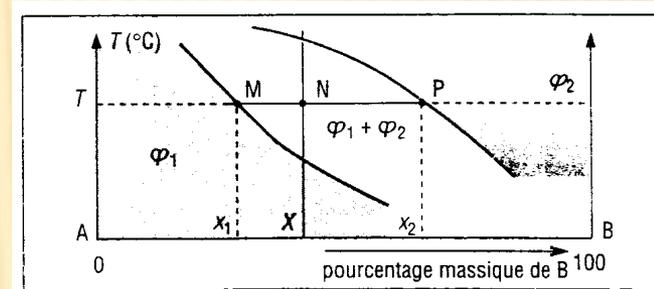


# CHAPITRE 4

## DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE

### II. Règles d'interprétation et de lecture des diagrammes de phases

**Règle de l'horizontale** : A la température  $T$ , tous les alliages de composition  $X$  tels que  $x_1 < X < x_2$  sont constitués de deux phases  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$ :



▪  $\varphi_1$  de teneur ..... en B et  $(100 - x_1)$  en A ;

▪  $\varphi_2$  de teneur ..... en B et  $(100 - x_2)$  en A ;

Les compositions  $x_1$  et  $x_2$  correspondent aux abscisses des points M et P intersections de « l'horizontale » avec les limites de domaine biphasé.

La règle de l'horizontale précise donc la **nature** et la **composition chimique des phases** en équilibre à toute température dans un domaine biphasé.

# CHAPITRE 4

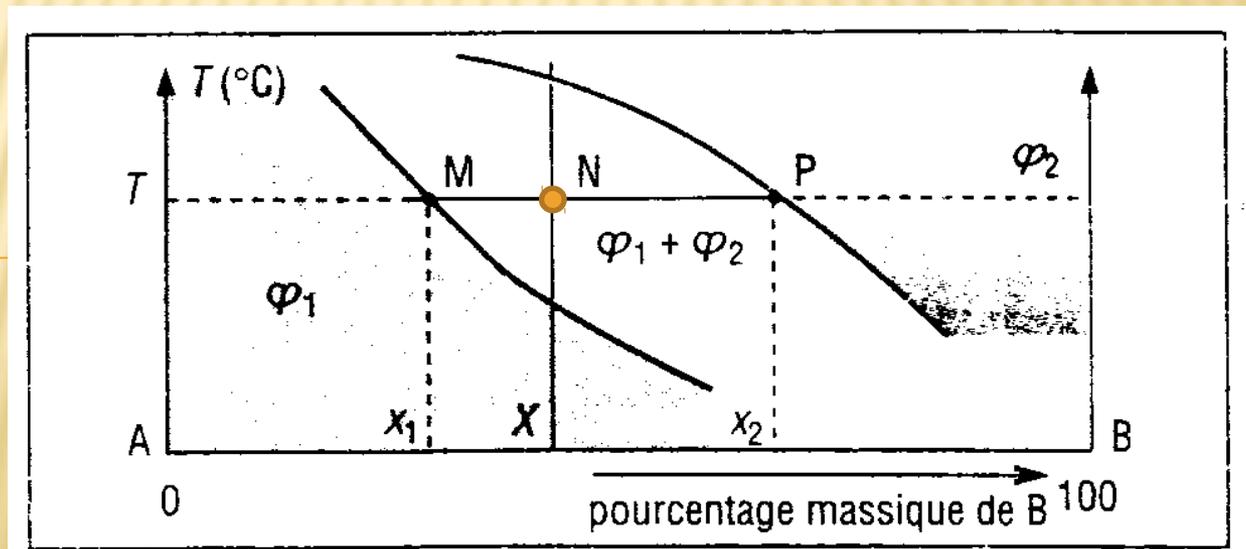
## DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE

### □ Domaine biphasé

Règle des segments inverses : À température  $T$ , l'alliage de composition  $X$  est constitué de deux phases  $\varphi_1$  et  $\varphi_2$ .

Leurs fractions massique  $y_{\varphi_1}$  et  $y_{\varphi_2}$  sont données par la règle des segments inverses. Si  $m_1$ ,  $m_2$  et  $m$  sont les masses respectives de  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  et de l'alliage, il vient:  $m_1 + m_2 = m$  et  $\varphi_1 + \varphi_2 = 1$

D'où .....



# CHAPITRE 4

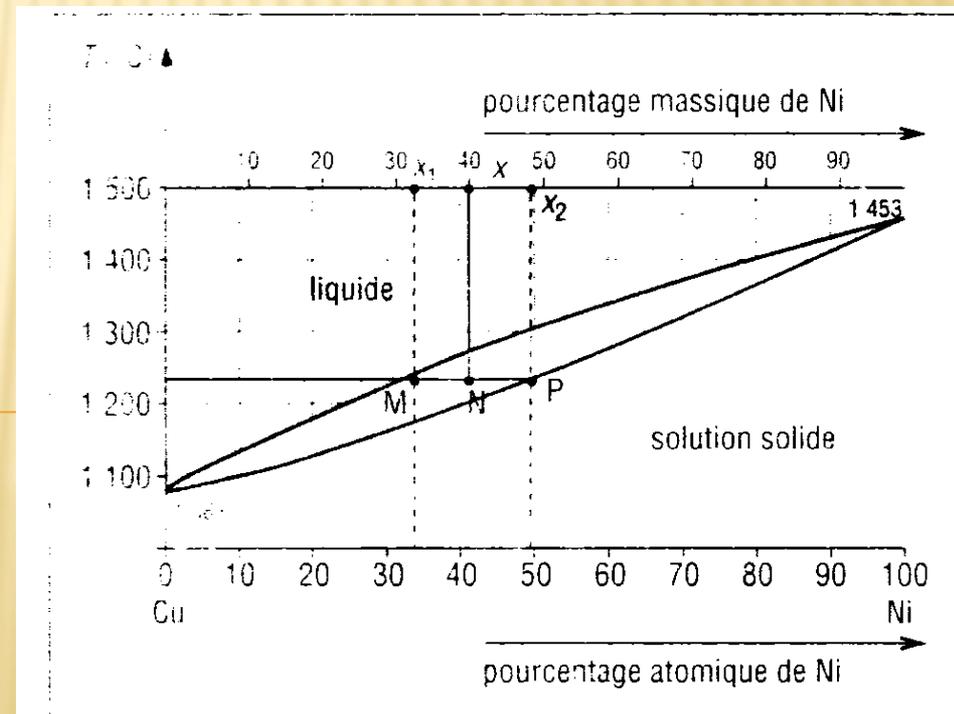
## DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE

### □ Domaine biphasé

#### Règle des segments inverses :

**Exemple:** à  $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , l'alliage cuivre-nickel à 40 %, en masse de nickel (fig. 3) est constitué d'une phase liquide et d'une phase solide.

1. Quelles phases sont présentes ?
2. Quelle est la composition chimique des phases ?
3. Quelle est la fraction massique de chaque phase ?



# CHAPITRE 4

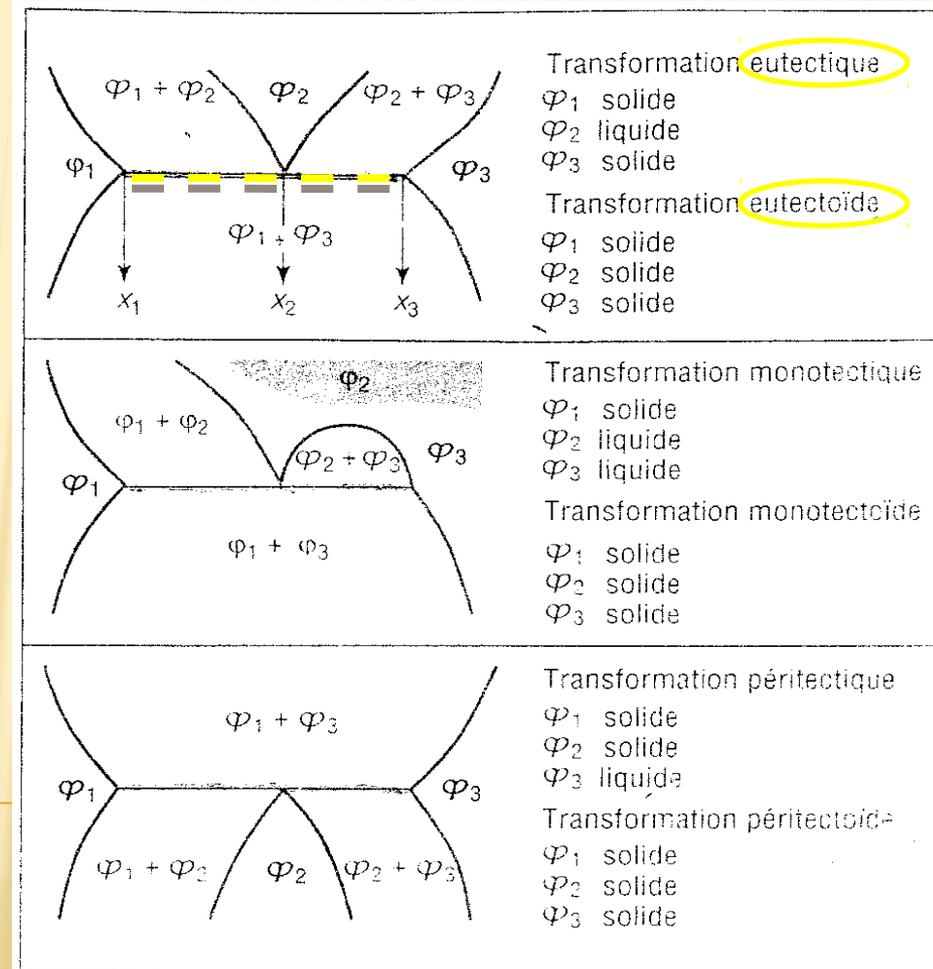
## DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE

### □ Domaine triphasé

A une température parfaitement déterminée, trois phases de compositions déterminées sont en équilibre isotherme:  
Il existe trois transformations isothermes principales rencontrées dans les diagrammes de phases usuels (fig. 4),

Sur cette figure, on peut remarquer que :

- tout domaine triphasé est adjacent à trois domaines biphasés distincts;
- chaque fois qu'une phase liquide intervient, le nom se termine par « ique » ;
- chaque fois que la transformation se fait uniquement entre phases solides, la terminaison est « oïde ».



# DIAGRAMME FER CARBONE

## 1. INTRODUCTION

**fer** : élément de base

Du point de vue métallurgique, la propriété du fer la plus importante est son polymorphisme cristallin.

-----912-----1394-----

Les points de transformation liés aux changements de structure sont déterminés par analyse thermique.

## 2. PHASES

Les phases susceptibles d'être présentes dans les alliages binaires fer-carbone sont les suivantes :

- **ferrite  $\alpha$**  : solution solide d'insertion de carbone dans le fer  $\alpha$ , la ferrite a est CC ;
- **ferrite  $\delta$**  : solution solide d'insertion de carbone dans le fer  $\delta$ , la ferrite d est CC ;
- **austénite  $\gamma$**  : solution solide d'insertion de carbone dans le fer  $\gamma$ , l'austénite est CFC ;
- **cémentite ou carbure de fer  $Fe_3C$**  : de composition égale à 6,67 % en masse de carbone.

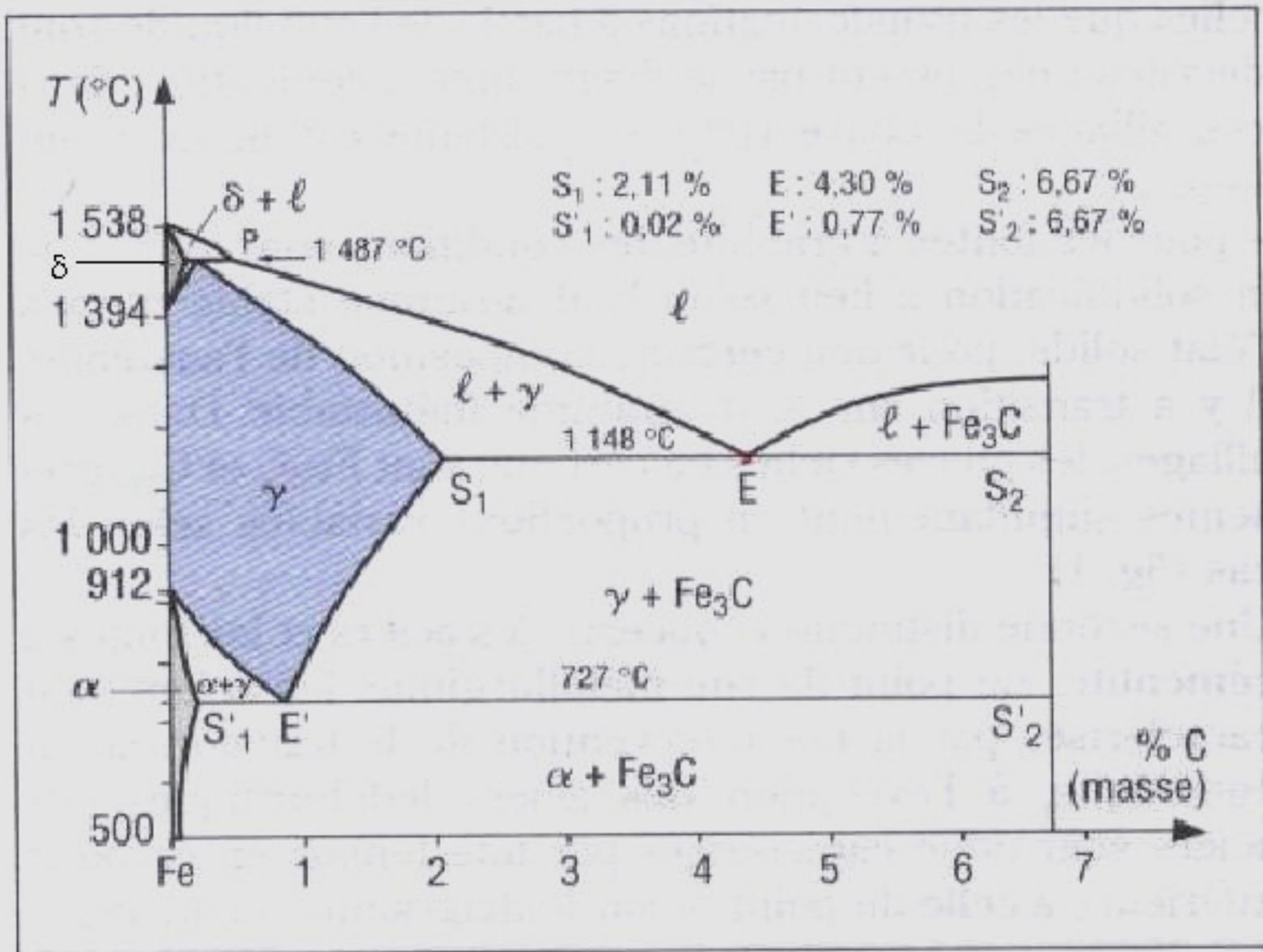
---

La cémentite est un carbure métastable, qui a tendance à se décomposer en ferrite (ou austénite) et graphite:

$$Fe_3C \longrightarrow 3Fe + C_{gr}$$

- carbone pur (graphite)  $C_{gr}$ : le graphite est la forme stable de la phase riche en carbone dans le système fer-carbone.

### 3. DIAGRAMMES DE CONSTITUTION À L'EQUILIBRE DU SYSTÈME FE-C



### 3. DIAGRAMMES DE CONSTITUTION À L'EQUILIBRE DU SYSTÈME FE-C

Le système binaire Fe-C peut subir deux types d'évolution selon que la phase riche en carbone qui se forme est la cémentite ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) ou le graphite ( $\text{C}_{\text{gr}}$ ) :

- si la phase riche en carbone formée est  $\text{Fe}_3\text{C}$ , l'évolution du système est décrite dans les conditions d'équilibre par le diagramme métastable ou à **cémentite** (fig. 1) ;

- si la phase riche en carbone formée est  $\text{C}_{\text{gr}}$  l'évolution du système est décrite dans les conditions d'équilibre par le diagramme stable ou à **graphite**.

- Le diagramme fer-C est caractérisé par trois types de transformation.

➤ Transformation eutectique :

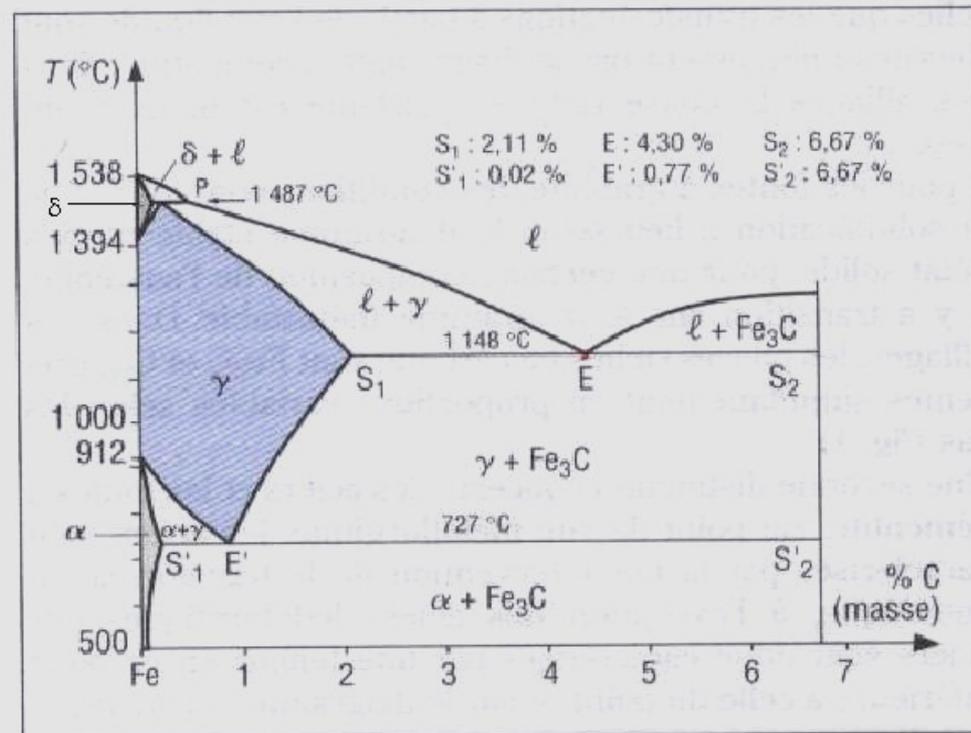
À  $1148^\circ\text{C}$  :  $\ell \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{C} + \gamma$  (lédéburite)

➤ Transformation eutectoïde :

À  $727^\circ\text{C}$  :  $\gamma \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{C} + \alpha$  (perlite)

➤ Transformation péritectique commune :

À  $1487^\circ\text{C}$  :  $\delta + \gamma \rightleftharpoons \delta$



# 3. DIAGRAMMES DE CONSTITUTION À L'EQUILIBRE DU SYSTÈME FE-C

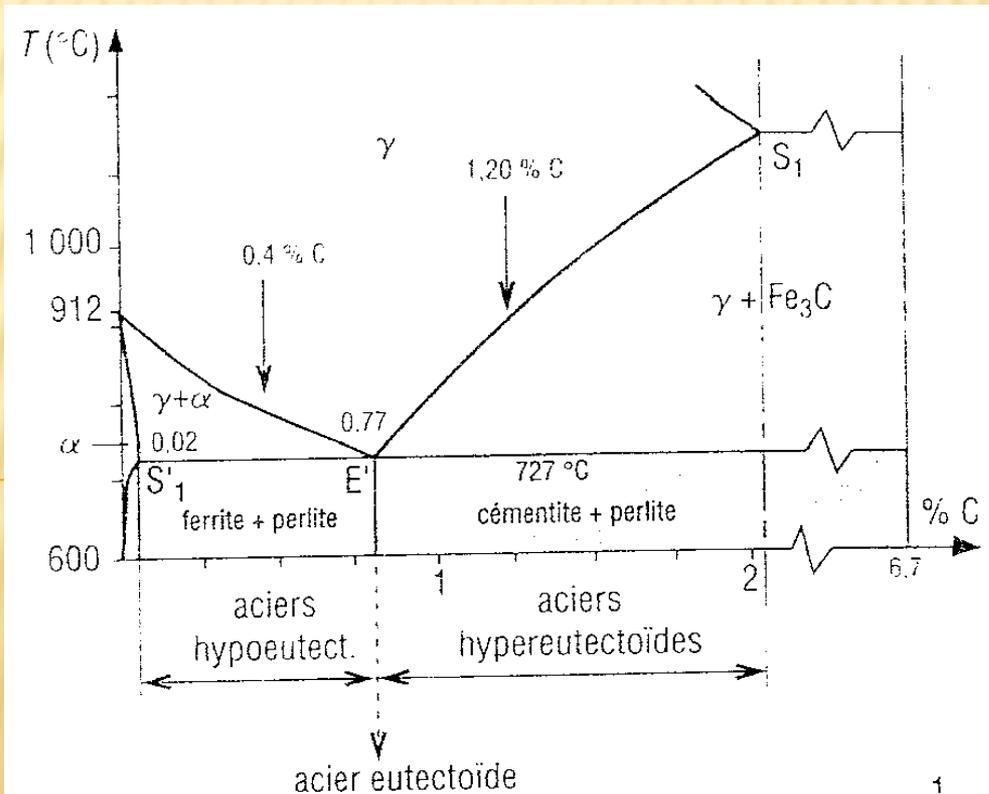
## 3.1 Aciers non alliés

Ce sont des alliages de teneur en carbone inférieure à 2 % (limite pratique: 1,4 à 1,5 %) dans lesquels les teneurs des autres éléments sont inférieures à des limites fixes par la norme NF EN 10020.

Aciers hypoeutectoïde : .....

Aciers eutectoïde : .....

Aciers hypereutectoïde : .....



# 3. DIAGRAMMES DE CONSTITUTION À L'EQUILIBRE DU SYSTÈME FE-C

## 3.2 Fontes non alliées

Les fontes, dont la teneur en carbone est supérieure à celle du point  $S_1$  des diagrammes à cémentite, sont caractérisées par l'intervention d'une transformation **eutectique**.

- Fontes hypoeutectiques : .....
- Fontes eutectiques : .....
- fontes hypereutectiques : .....

