

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.

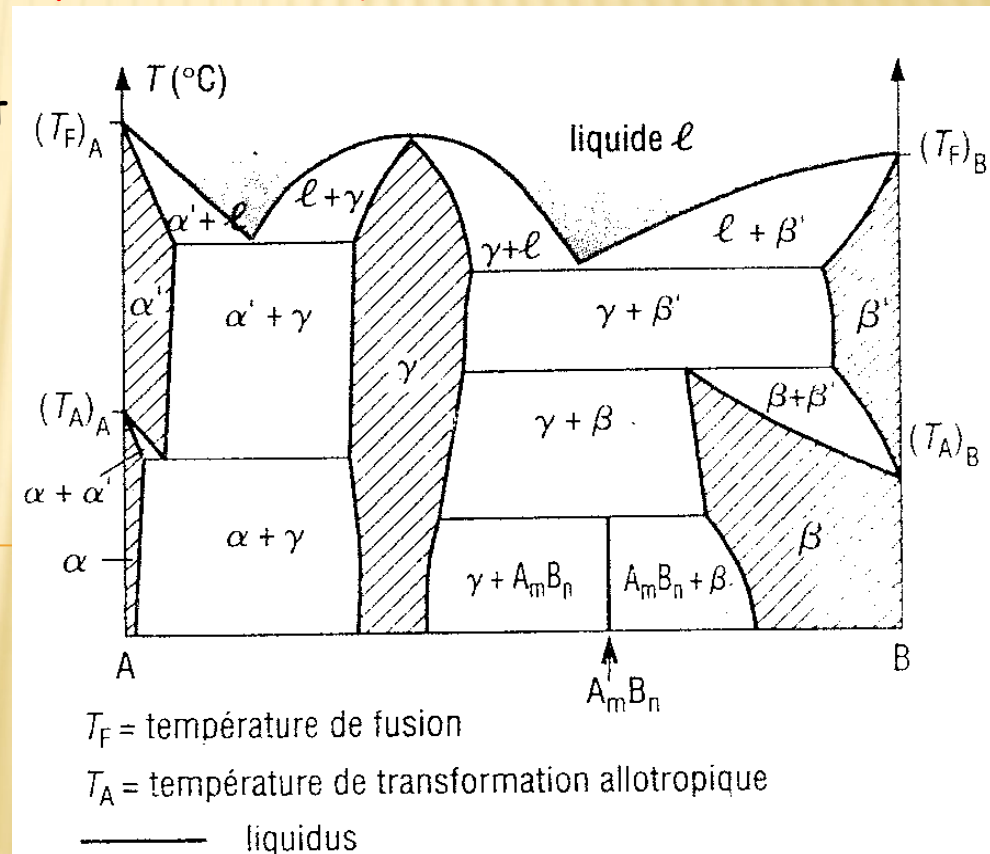
Définitions

▪ 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

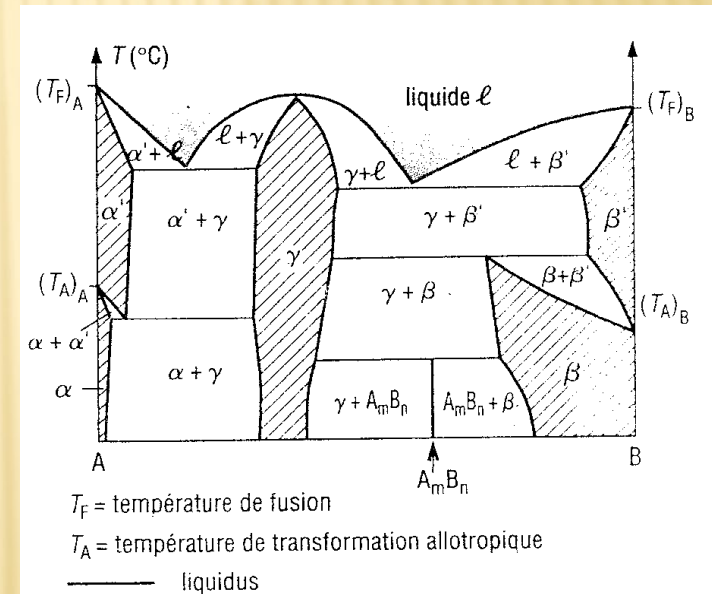
DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE

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 :

- ℓ : phase liquide ;
- α : solution solide de B dans A ;
- α' : solution solide de B dans A' ;
- β : solution solide de A dans B ;
- β' : solution solide de A dans B' ;
- γ : 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**)

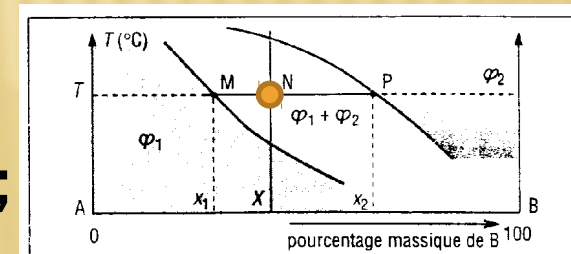
La température T et la composition X peuvent varier dans les limites du domaine sans changer la nature de la phase.

□ **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** ;

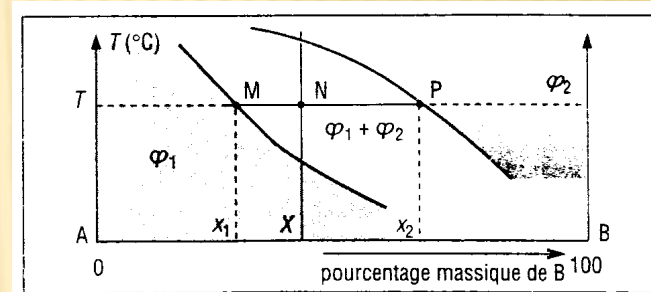


CHAPITRE 4

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 φ_1 et φ_2** :



▪ φ_1 de teneur en B et $(100 - x_1)$ en A ;

▪ φ_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

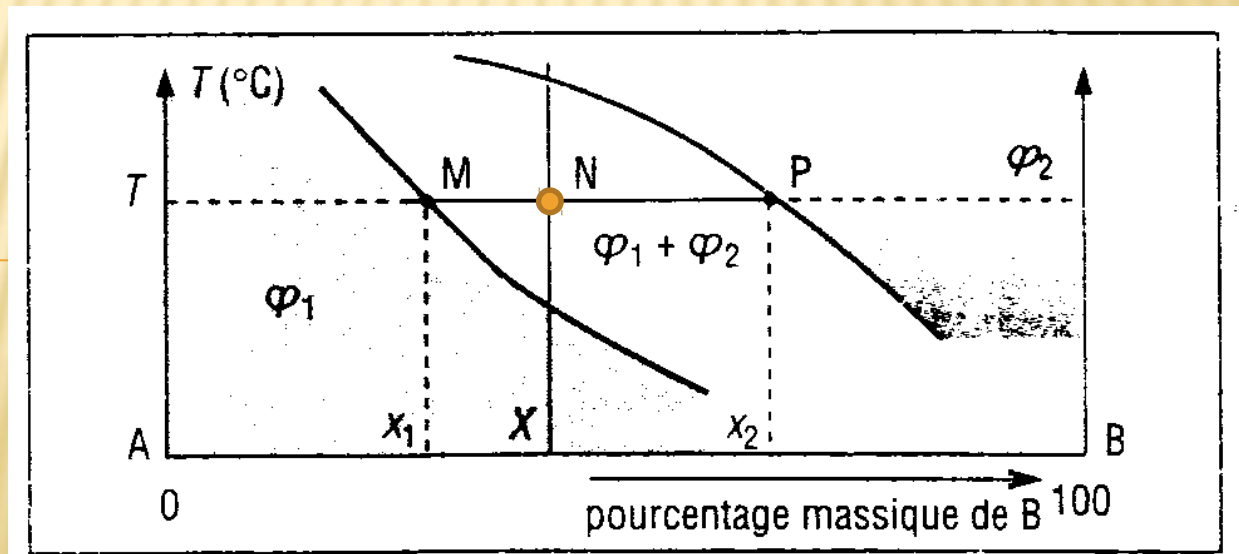
DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE

□ Domaine biphasé

Règle des segments inverses : À température T , l'alliage de composition X est constitué de deux phases φ_1 et φ_2 .

Leurs fractions massique y_{φ_1} et y_{φ_2} sont données par la règle des segments inverses. Si m_1 , m_2 et m sont les masses respectives de φ_1 , φ_2 et de l'alliage, il vient: $m_1 + m_2 = m$ et $\varphi_1 + \varphi_2 = 1$

D'où



CHAPITRE 4

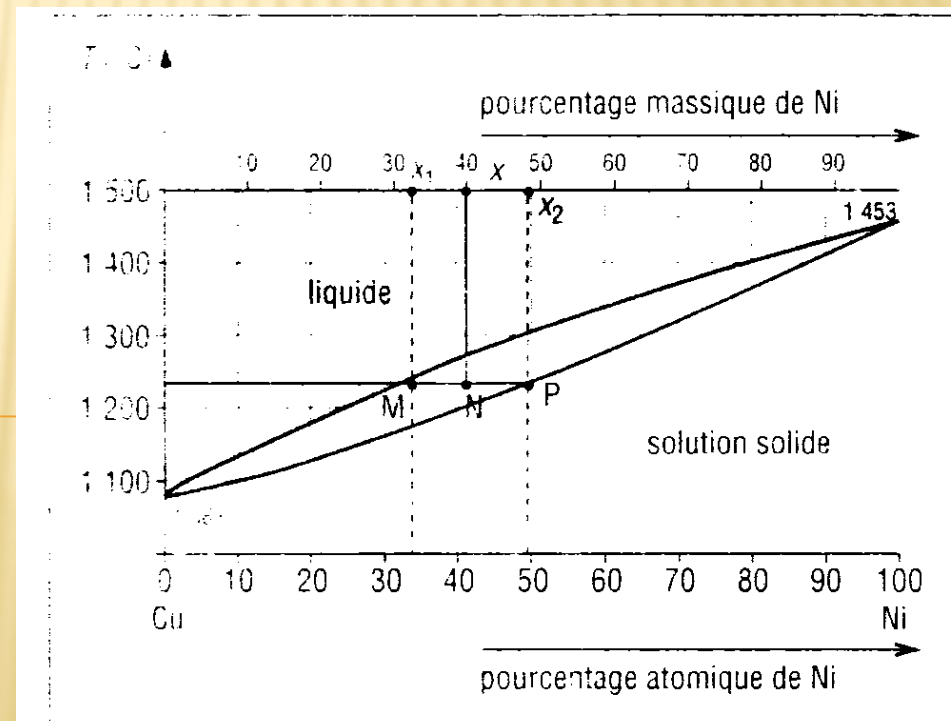
DIAGRAMME DE PHASE À L'EQUILIBRE

□ 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 ».

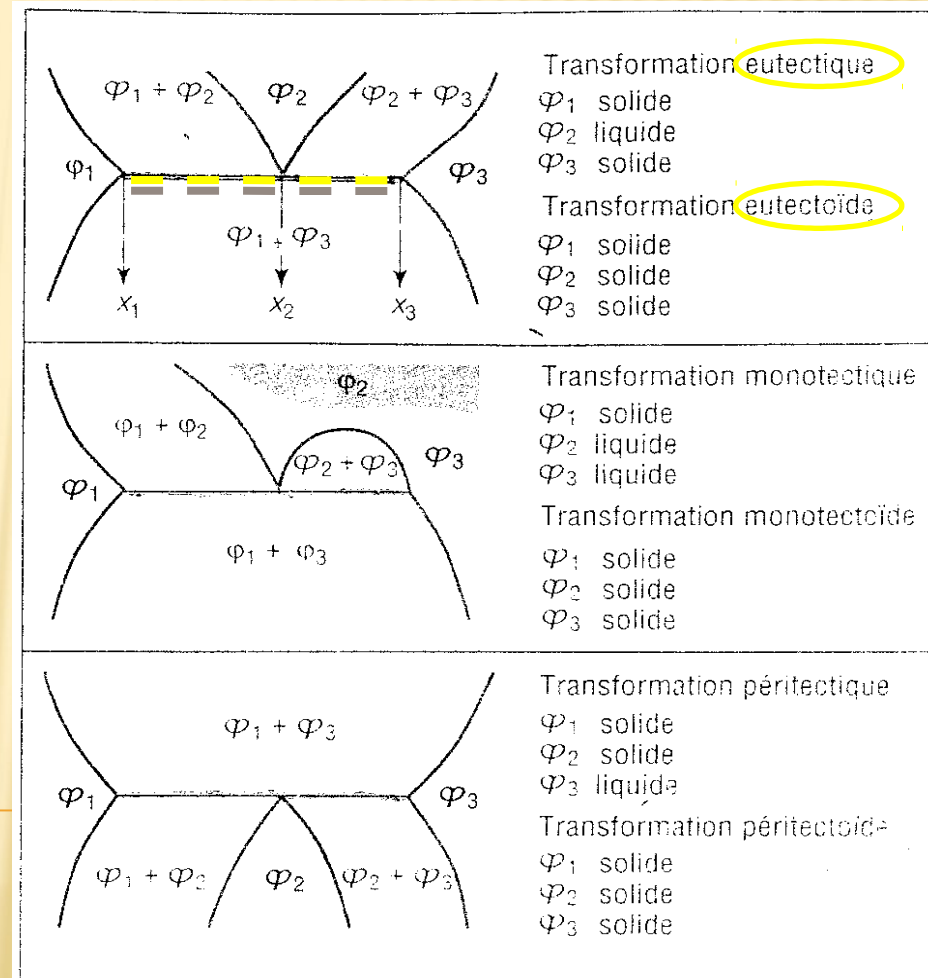


DIAGRAMME FER CARBONE

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 :

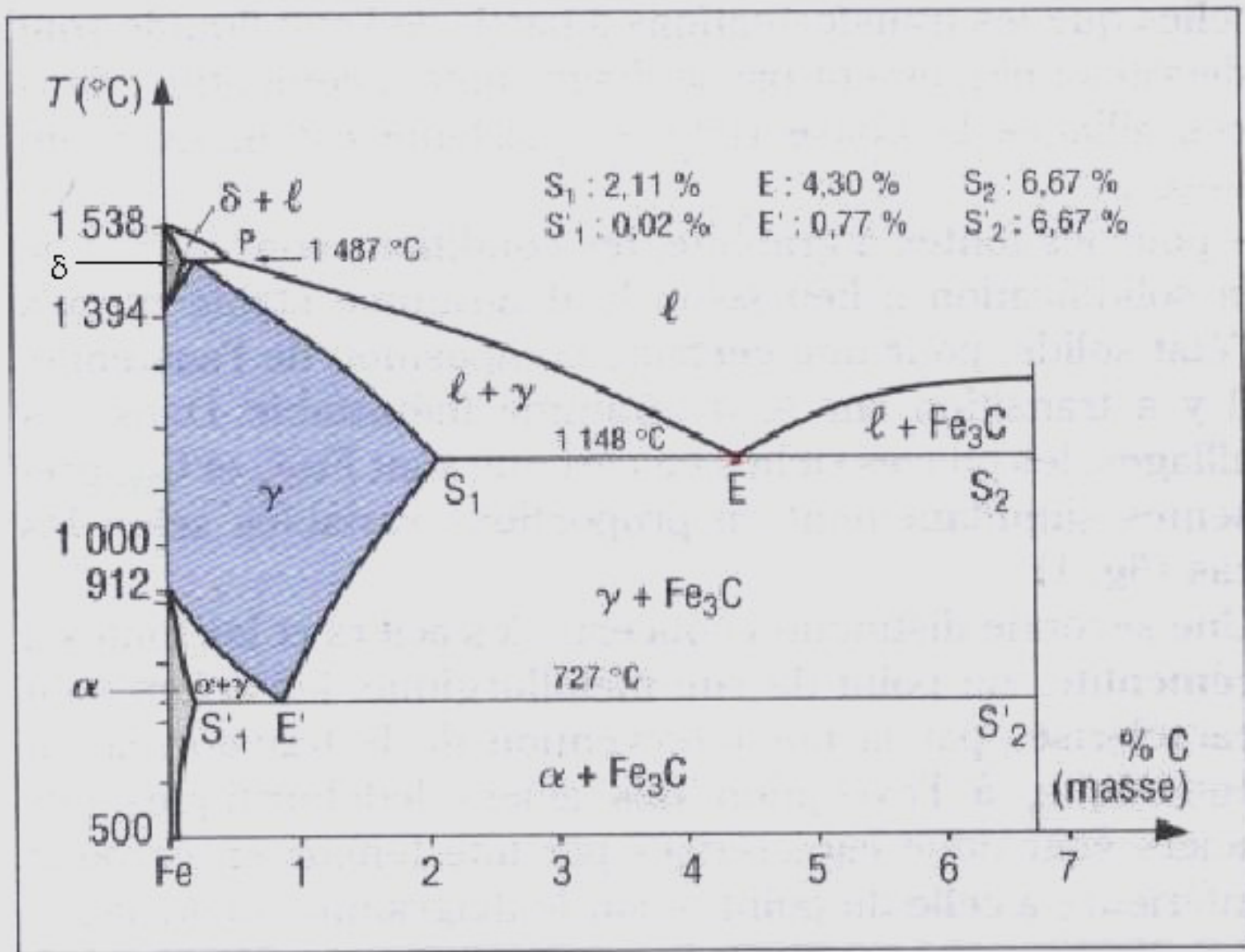
- **ferrite α** : solution solide d'insertion de carbone dans le fer α , la ferrite a est CC ;
- **ferrite δ** : solution solide d'insertion de carbone dans le fer δ , la ferrite d est CC ;
- **austénite γ** : solution solide d'insertion de carbone dans le fer γ , l'austénite est CFC ;
- **cémentite 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 (Fe_3C) ou le graphite (C_{gr}) :

- si la phase riche en carbone formée est Fe_3C , 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 C_{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 :

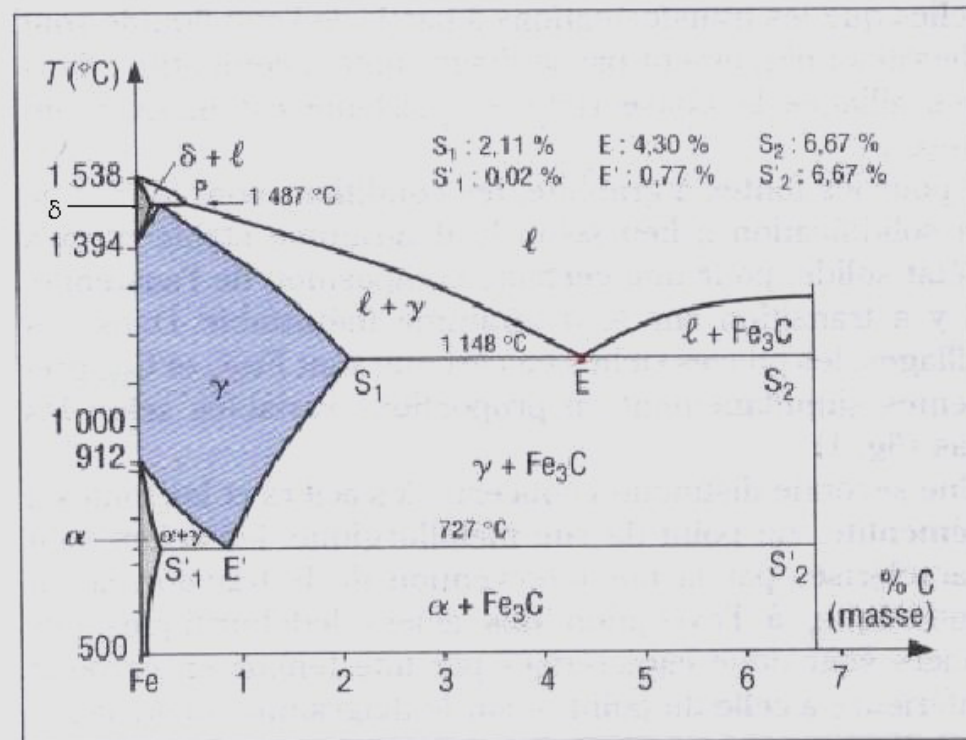
À 1148°C : $\ell \rightleftharpoons \text{Fe}_3\text{C} + \gamma$ (lédéburite)

➤ Transformation eutectoïde :

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

➤ Transformation péritectique commune :

À 1487°C : $\delta + \gamma \rightleftharpoons \ell$



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

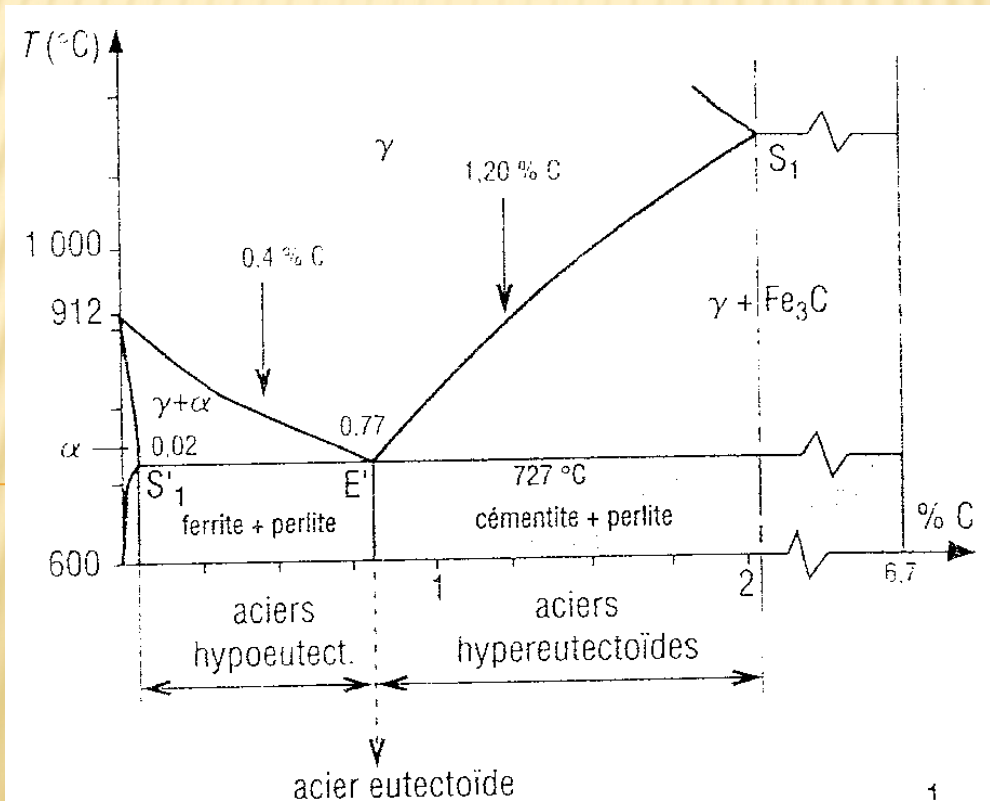
3.1 Aciers non alliés

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 :

