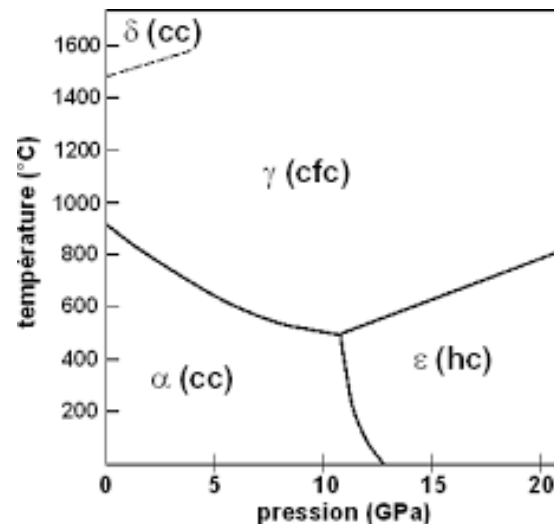


Chapitre 2 : Diagramme d'équilibre fer-carbone

1- Caractéristiques du fer et du carbone

Le fer existe sous trois formes allotropiques ou cristallines : cubique centrée (CC), cubique à faces centrées (CFC) ou hexagonale compacte (HC), et ce selon la température et la pression :



- La ferrite α : de structure CC, contient une très faible quantité de carbone (max 0.02% à 723°C, 0.01% à 300°C et 0.006% à 25°C).
- L'austénite γ : de structure cubique à faces centrées (CFC), dissout facilement le carbone (2.11% à 1147°C).
- La ferrite δ : de structure cubique centrée (CC), dissout moins le carbone (0.07% à 1493°C).
- La phase ϵ : de structure hexagonale compacte (HC), existe sous hautes pressions (>10 GPa) et à des températures inférieures à 800°C.

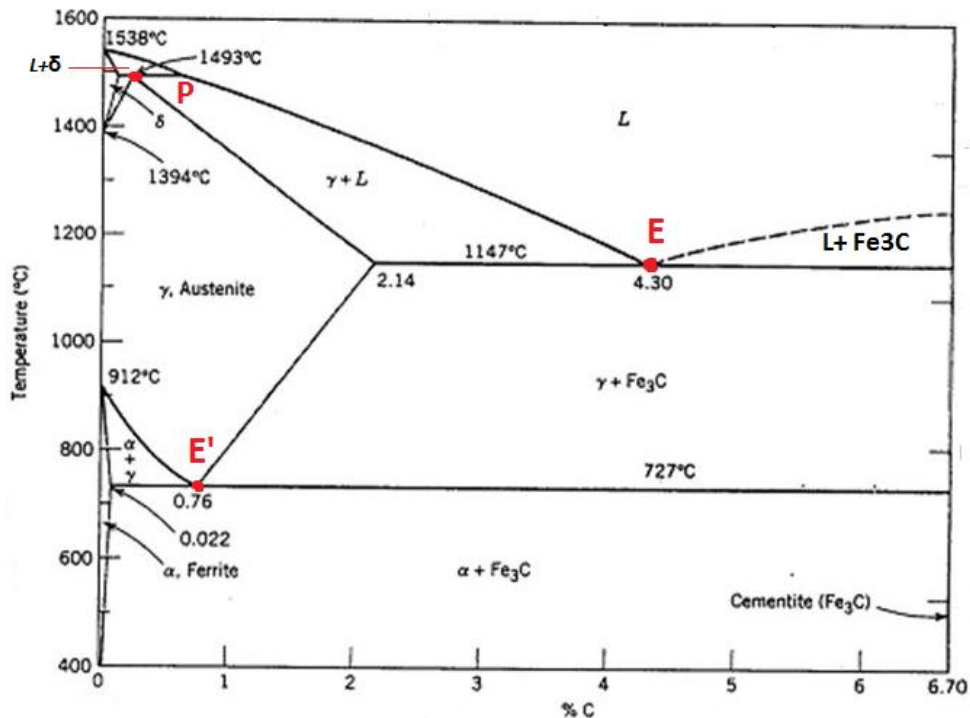
Les formes les plus fréquentes du carbone sont :

- Le graphite : naturel de structure hexagonale bidimensionnelle.
- Le graphène : naturel de structure hexagonale bidimensionnelle mélangé au graphite.
- Le diamant : naturel de structure cubique (deux structures CFC imbriquées).
- Le carbone amorphe : naturel non cristallin.

2- Diagramme d'équilibre fer-carbone

Ce diagramme présente deux types d'évolution :

- Formation de la cémentite Fe_3C , le diagramme est dit métastable ou à cémentite (figure ci-dessous).
- Formation d'une phase riche en graphite insoluble dans le fer, le diagramme est dit stable ou à graphite.



La cémentite : Fe_3C , composé se présentant sous forme de lamelles dans la perlite ou d'aiguilles dans les fontes. Sa décomposition est égale à 6.7% C en état métastable.

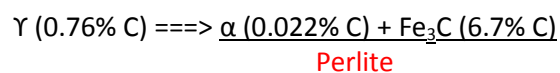
La perlite : agrégat eutectoïde sous forme de lamelles alternées de ferrite α et de cémentite, résulte de la décomposition de l'austénite, contient 0.76% C.

Le diagramme est limité à droite par la cémentite (6.7% C).

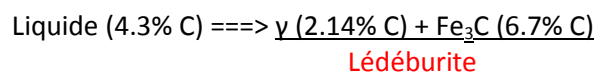
Pour une concentration comprise entre 0.008% et 2% ==> aciers

Pour une concentration comprise entre 2% et 6.7% ==> fontes

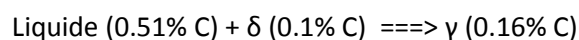
- Réaction eutectoïde : E' (0.76% C, 727°C)



- Réaction eutectique : E (4.3% C, 1147°C)



- Réaction péritectique : P (0.51% C, 1493°C)



3- Désignation normalisée des aciers et des fontes

3.1- Aciers

- Aciers non alliés, Fe-C + (Si, Mn, S, P)_{élaboration}
- Aciers alliés, Fe-C + X (éléments d'addition) : faiblement alliés et fortement alliés.

Faiblement alliés : Σ concentrations des éléments X est $< 5\%$.

Fortement alliés : la concentration d'au moins un élément est $> 5\%$, se divisent en aciers réfractaires et aciers inoxydables.

En plus de la désignation commerciale, la désignation des aciers et des fontes est normalisée. La plus utilisée est l'AFNOR (Française). Les concentrations des différents éléments seront exprimées en pourcentage massique.

Désignation symbolique par emploi : Elle commence par une lettre majuscule

B : acier pour béton, suivie de trois chiffres qui donnent la limite élastique Re en MPa. Exemple : B450

C : acier non allié dont les applications sont définies à l'avance, suivie de la teneur en carbone multipliée par 100. Exemple: C45, contient 0.45% de carbone.

E : acier pour la construction mécanique, suivie de trois chiffres (Re en MPa). Exemple : E400.

G : acier moulé, suivie de Re en MPa. Exemple : GE295, E pour la construction mécanique, Re=295 MPa.

P : aciers pour application sous pression, suivie de Re en MPa. Exemple : P300.

S : acier à usage général, suivie de Re en MPa. Exemple : S235.

Désignation symbolique par composition chimique

*** Aciers non alliés** : la concentration de Mn est inférieure à 1%

Ils sont désignés par la lettre C suivie de la teneur en carbone multipliée par 100. Exemple : C60.

**** Aciers faiblement alliés** :

Leur désignation commence par un nombre égal à 100 fois la teneur en carbone,

- Suivi des symboles chimiques des éléments d'alliage dans l'ordre décroissant des concentrations,
- Suivis de nombres séparés par des tirets égaux aux pourcentages des teneurs des éléments d'alliage multipliés par un facteur multiplicateur (voir tableau ci-dessous). Exemple : 45CrMo16-1, acier faiblement allié contenant 0.45% de carbone, 4% de chrome et 0.1% de molybdène.

- Les pourcentages des éléments minoritaires (traces) ne sont pas forcément donnés dans la désignation. Exemple : 45CrMoTi16-1, acier faiblement allié contenant 0.45% de carbone, 4% de chrome, 0.1% de molybdène et des traces de titane.

Tableau des facteurs ou coefficients multiplicateurs :

Coefficient multiplicateur			
Elément d'alliage	Coéf.	Elément d'alliage	Coéf.
Cr,Co,Ni,Si,W	4	Ce,N,P,S	100
Al,Be,Cu,Mo,Nb,Pb,Ta,Ti,V,Zr	10	B	1000

**** Aciers fortement alliés :**

Leur désignation commence par la lettre X suivie d'un nombre égal à 100 fois la teneur de carbone, des symboles chimiques des éléments d'alliage dans l'ordre décroissant des teneurs, puis de nombres séparés par des tirets correspondants aux pourcentages respectifs de ces éléments sans facteurs multiplicateur.

Exemple : X6CrNi10-2, acier fortement allié contenant 0.06% de carbone, 10% de chrome et 2% de nickel.

***** Aciers à outils ou rapides (High Speed HS):**

Elle commence par les lettres HS suivies de quatre nombres séparés par des tirets correspondants respectivement aux pourcentages des teneurs des éléments W, Mo, V et Co.

Exemple : HS7-4-2-5

3.2- Fontes

Leur désignation commence par les lettres majuscules EN-GJ

* Suivies par deux autres lettres :

- la première désigne la structure du graphite : L : lamellaire ; S : sphéroïdal ; M : graphite de recuit malléable ; V : vermiculaire ; Y : structure spécifique.

- la deuxième correspond à la constitution : A : austénitique ; F : ferretique ; P : perlitique ; L : lédéburitique ; Q : trempé ; T : trempé avec revenu ; N : blanche ; B : malléable à cœur noir ; W : malléable à cœur blanc.

Exemple : EN-GJMB

** Suivies d'un groupe de chiffres et lettres avec trois variables possibles :

1- Si ce groupe commence par un nombre : il correspond à la résistance à la traction R_m en MPa,

- s'il est suivi par une lettre : elle correspond au mode de production : S : coulé séparément ; U : attenant ; C : prélevé sur pièce.

- s'il est suivi d'un tiret et d'un autre nombre : il correspond à la valeur minimale de l'allongement à la rupture (A%). Il est alors suivi d'un tiret et d'une autre lettre donnant le mode de production.

Exemple : EN-GJMB-500-7-U, fonte malléable à cœur noir ayant $R_m=500$ MPa, $A=7\%$ et produite par mode attenant.

Un nouveau tiret suivi de deux lettres indique le domaine de température où la résistance à la flexion par choc est déterminée : RT : température ambiante ; LT : basse température.

2- Si ce groupe commence par la lettre H : indique l'essai de dureté suivie par le type : B : Brinell ; V : Vickers ; R : Rockwell, et le nombre suivant indique la gamme de dureté.

3- Si ce groupe commence par la lettre X : composition (comme pour les aciers mais sans facteur multiplicateur).

Exemples :

- EN-GJL100 : fonte lamellaire avec $R_m=100$ MPa,

- EN-GJS350-22-RT : fonte sphéroïdale avec $R_m=350$ MPa, $A=22\%$, testée par résistance à la flexion par choc à la température ambiante,

- EN-GJNX Ni-Cr-4-2 : fonte blanche contenant 4% de nickel et 2% de chrome.