

Chapitre 3 : diagrammes fer-carbone

3.1 Caractéristiques du fer et du carbone

Le fer est le métal de base le plus important pour les alliages techniques. Le fer pur n'est pas employé dans l'industrie, les plus employés sont les alliages de fer avec le carbone qui sont la fonte et l'acier.

✓ **Caractéristiques du fer:**

Le fer est de couleur blanche possédant les caractéristiques suivantes :

- Masse atomique : 55,85.
- Nombre atomique : 26.
- Rayon atomique 1,27 Å (CFC).
- Masse volumique 7,8 g/cm³.
- Température de fusion 1539°C

Il possède une dureté HB de 60 kp/mm², une contrainte limite de traction d'environ 20 kp/mm² et une faible limite d'élasticité.

C'est un bon conducteur de chaleur et d'électricité (une résistivité électrique à 20°C de $9,76 \cdot 10^{-8} \Omega m$).

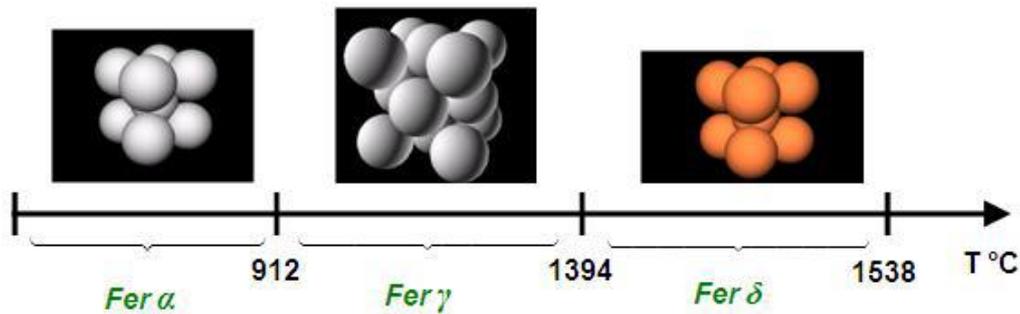
Grâce à sa grande perméabilité magnétique, il est très utilisé dans l'électrotechnique. Les propriétés magnétiques du fer dépendent dans une grande mesure de sa pureté et des régimes de traitement thermiques.

On connaît deux formes (variétés) allotropiques du fer (deux réseaux cristallins différents). Le fer α dont le réseau est cubique centré (CC) et le fer γ dont le réseau est cubique à faces centrées (C.F.C).

Le Fer existe sous deux variétés allotropiques différentes, c'est-à-dire avec deux formes cristallines : CC et CFC.

- À des basses températures et jusqu'à 912°C (A3), ses atomes sont disposés suivant un réseau cubique centré (CC) : On l'appelle alors Fer α . Le fer α ne dissout pratiquement pas le carbone : 0.02%C au maximum à 723°C, moins de 0.01%C à 300°C.
- À des températures supérieures à 912 °C et jusqu'à 1394°C (A4) le réseau cristallin est du type cubique à faces centrées (CFC) : on l'appelle Fer γ . Le fer γ dissout facilement le carbone : 0.8%C à 723°C, 2.14%C à 1147°C.
- Au-dessus de 1394°C et jusqu'au point de fusion à 1538°C, le fer retrouve la structure cubique centrée du Fer α : On l'appelle alors Fer δ . Il dissout un peu mieux le carbone que le Fer α (0.07%C au maximum à 1493°C).
- Jusqu'à 768°C (A2) point de Curie, le fer est ferromagnétique, au-delà il devient paramagnétique. Le caractère ferromagnétique se dit d'une substance qui peut prendre une forte aimantation.

Rq: Le phénomène de la modification du réseau cristallin sous l'effet de la température porte le nom de transformation allotropique.



Transformation allotropique du Fer

✓ **Caractéristiques du carbone :**

C'est un élément non métallique très abondant, (0,1% en masse dans l'écorce terrestre). Il est rare à l'état libre, on le rencontre à l'état combiné dans toutes les substances végétales et animales comme dans le pétrole, le charbon, le bois, la houille, etc. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- Numéro atomique : 6.
- Masse atomique : 12.
- Rayon atomique : 0,77 Å.
- Masse volumique : 2,5 g/cm³.
- Température de fusion : 3500°C.

C'est un élément polymorphe et il existe deux variétés cristallines dans les conditions ordinaires, le diamant et le graphite. La variété du diamant est métastable à réseau cristallin C.F.C et il est classé comme le plus dur des corps solides, c'est aussi un isolant électrique.

Le graphite possède un réseau hexagonal simple, c'est un matériau réfractaire, relativement bon conducteur d'électricité.

Le carbone dont le point de fusion est supérieur à 3500°C est soluble dans le fer et peut se cristalliser à l'état pur en formant le graphite ou se combiner avec le fer en formant une phase intermétallique Fe₃C appelée cémentite ou carbone de fer (HB = 800kp/mm²).

La présence aussi du silicium peut favoriser la décomposition de la cémentite (formation du graphite). Donc on a l'existence de deux diagrammes d'équilibres :

- Le diagramme d'équilibre métastable Fe-Fe₃C (cémentite).
- Le diagramme d'équilibre stable fer-graphite.

3.2 Diagramme d'équilibre fer-carbone

La phase riche en carbone qui reste à l'état de graphite pur qui a une miscibilité nulle avec le fer. Le diagramme correspondant est dit stable ou à graphite. Son obtention exige la décomposition du carbure Fe_3C en refroidissant avec une vitesse très lente et en ajoutant un catalyseur à grande pouvoir de graphitisation tel que le silicium

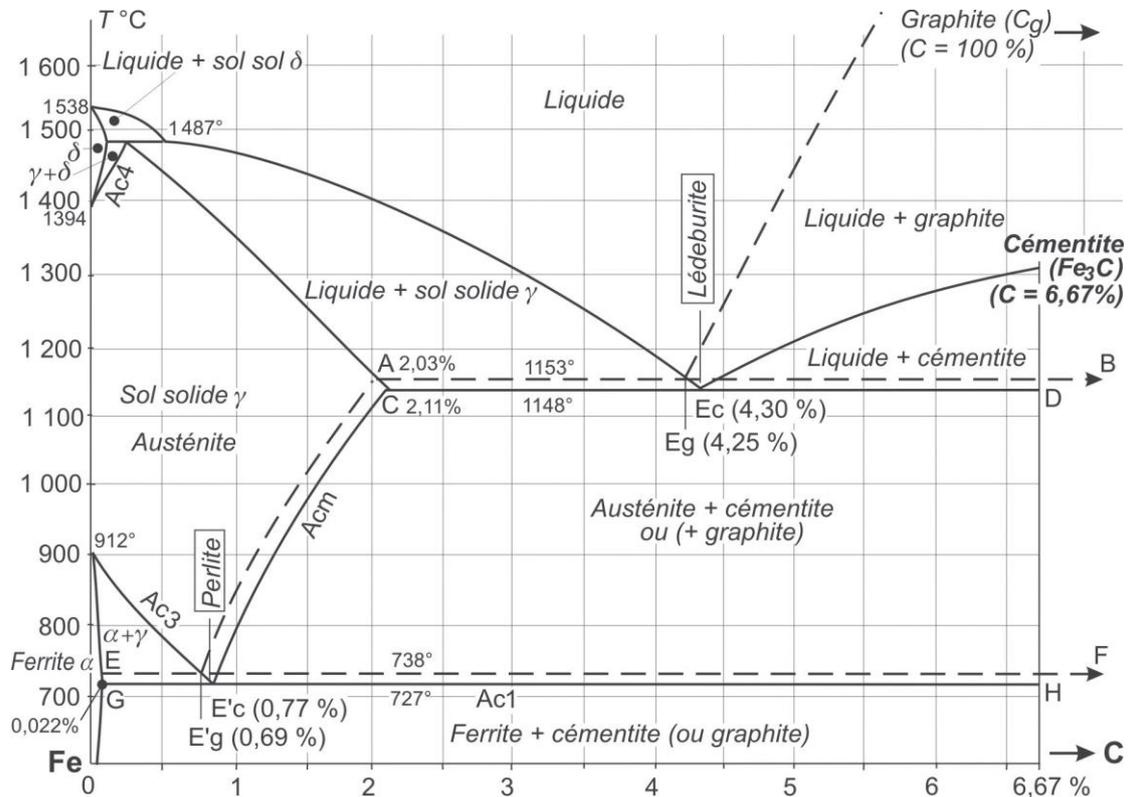


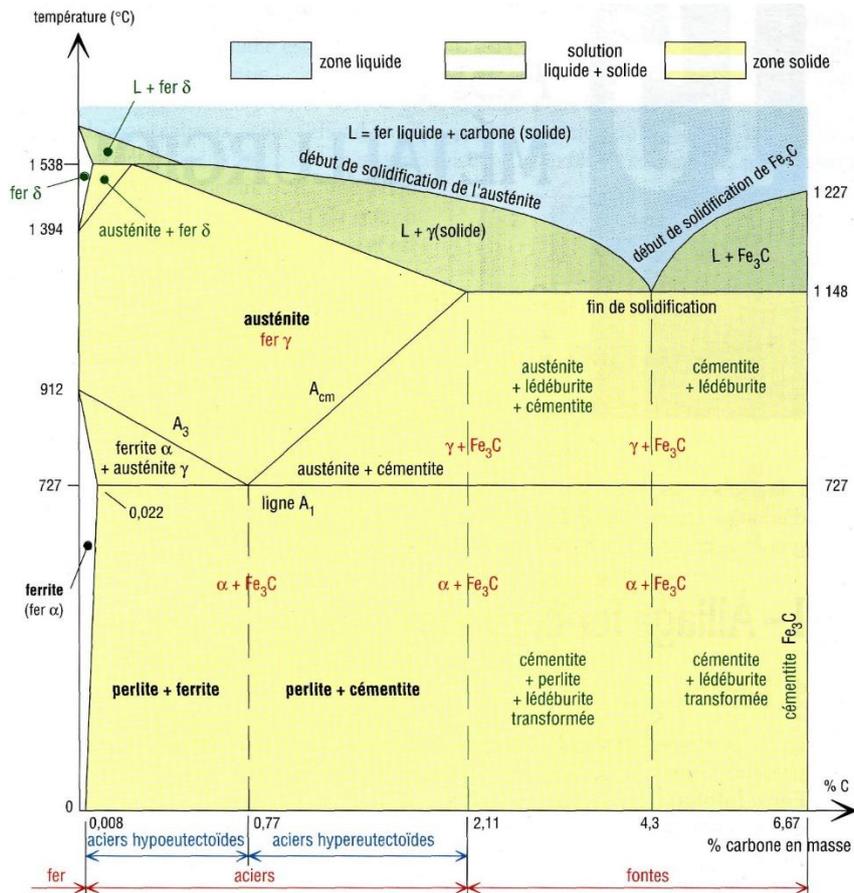
Diagramme fer-cémentite (en traits pleins) et diagramme fer-graphite (en traits interrompus). Les constituants de structure sont encadrés pour les distinguer des phases.

3.3 Diagramme d'équilibre fer-cémentite

C'est le diagramme d'équilibre Fer-carbone métastable. Il représente la composition des phases et la structure des alliages dont la concentration varie du fer pur à la cémentite. La cémentite correspond à 6,67 % de carbone.

Les alliages à teneur en carbone inférieure ou égale à 2,06 % C s'appellent aciers et dont la teneur en carbone est supérieure à 2,06 % C s'appellent fontes.

Pour des températures élevées, la cémentite se décompose en fer et en carbone et c'est la cause qui ne laisse pas connaître la température de fusion de la cémentite, on considère sa température de fusion à environ 1392°C et peut être, elle est plus élevée.



A partir du diagramme fer-cémentite, on peut définir les aciers et fontes suivant la teneur en carbone.

% de carbone	Désignation
0,02 à 0,8	Aciers hypoeutectoides
0,8	Aciers entectoides
0,8 à 2,06	Aciers hypereutectoides
2,06 à 4,3	fontes hypoeutectiques
4,3	Fontes eutectiques
4,3 à 6,67	Fontes hypereutectiques

Les différentes phases du système Fer-Carbone

- **La ferrite α**

Solution solide d'insertion de carbone dans le Fer α , à structure cubique centrée. Elle est relativement tendre (HB \approx 80), peu tenace (R \approx 300 MPa), mais très ductile (A \approx 35%).

- **La ferrite δ**

Solution d'insertion de quelques atomes de carbone dans le fer δ . Sa structure est cubique centrée CC. Il se forme à la marge 1394-1538 °C et renferme 0.11% de carbone.

- **L'austénite γ**

Solution solide d'insertion d'atome de carbone dans le Fer γ , à structure cubique à face centrée, la quantité de carbone atteint $\approx 2\%C$ à $1145^\circ C$. Il est stable qu'à haute température. L'austénite est très ductile.

- **La cémentite (Carbone de fer Fe_3C)**

La cémentite est un composé chimiquement défini. Sa décomposition égale à $6,67\%$ en masse de carbone, en état métastable. La cémentite se présente sous forme de lamelles ou de globules dans la perlite ou d'aiguilles dans les fontes blanche. Elle est très dure et très fragile.

- **La perlite**

Agrégat eutectoïde ayant une structure de lamelles alternées de ferrite et de cémentite. Ce constituant contient $0,8\%C$, La perlite est dure ($HB \approx 200$), résistante ($R_m \approx 850$ MPa) et assez ductile ($A\% \approx 10$).

- **La lédéburite**

C'est un mélange eutectique entre l'austénite et la cémentite et provenant lors du refroidissement du métal liquide avec $4,3\%$ de carbone à la température eutectique.

3.4 Désignation normalisée des aciers et des fontes

- **Désignation des aciers**

-Aciers non alliés

Désignation selon la composition chimique
aciers non alliés sont désignés par la lettre C suivi d'un chiffre représentant le la teneur en carbone $\times 100$

Exemple : C 45

Cet acier non allié (C) possède une teneur en carbone de $0,45\%$

Désignation selon l'emploi

Aciers non-alliés d'usage général-

S + Re ; Re est la valeur minimale de la limite d'élasticité en Mpa

Exemple: S 235

Aciers non-alliés pour la construction mécanique

E + Re ; Re est la valeur minimale de la limite d'élasticité en Mpa

Exemple: E295

- **Désignation des Fontes**

Les fontes a graphite lamellaire

la désignation de fontes a graphite lamellaire est composée de :

- Le préfixe EN suivi d'un tiret

- Les lettres GJL qui représente la fonte a graphite lamellaire

- Un tiret
 - Un nombre correspondant a la résistance minimale a la rupture par traction en MPa.
- Exemple : **EN- GJL-250**
 Cette fonte a graphite lamellaire possède une résistance a la traction d'au moins 250 Mpa .

Les fontes a graphite sphéroïdale

la désignation de fontes a graphite sphéroïdale est composée de :

- Le préfixe EN suivi d'un tiret
- Les lettres GJS qui représente la fonte a graphite sphéroïdale
- Un tiret
- Un nombre correspondant a la résistance minimale a la rupture par traction en MPa.
- Un tiret
- Un nombre correspondant au % d'allongement apres rupture.

Exemple : **EN- GJS-500-7**

Cette fonte a graphite sphéroïdale possède une résistance a la traction d'au moins 500 Mpa et une valeur minimale d'allongement de 7%.

Les fontes malléables

la désignation de fontes malléables est composée de :

- Le préfixe EN suivi d'un tiret
- Les lettres GJM qui représente la fonte malléable
- la lettre W pour le cœur blanc (white) ou la lettre B pour le coeur noir (black)
- Un nombre correspondant a la résistance minimale a la rupture par extension en MPa.
- Un tiret
- Un nombre correspondant au % d'allongement après rupture.

Exemple : **EN- GJMW-450-7**

Cette fonte malléable a cœur blanc possède une résistance a la traction d'au moins 450 Mpa et une valeur minimale d'allongement de 7%

3.5 Désignation normalisée d'autres aciers alliés

- Aciers faiblement alliés

Ce sont des aciers dont la teneur de chaque élément d'addition est inferieur a 5 % et dont la teneur en manganèse est inferieure a 1%

Ces aciers sont désignés par :

- Un chiffre représentant le centuple de la teneur en carbone.
- Les symboles chimiques des elements d'alliage dans l'ordre decroissant de leur teneur.
- Les teneurs des éléments d'alliage sont multipliés par un facteur dépendant du matériau.

Éléments	Facteur
Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	4
Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr	10
Ce, N, P, S	100
B	1000

Si l'acier est moule, la désignation est précédée d'un G

Exemple :

20MoCr5

- Acier faiblement allié possède une teneur en carbone de 0,2 % - La teneur en molybdène est de 0,5 %
- Il y a des traces (non quantifiées) de chrome.

G18NiCrMo6

- Acier faiblement allié est moule et possède une teneur en carbone de 0,18 %
- La teneur en Nickel est de 1,25 % .
- Il y a des traces (non quantifiées) de chrome et de molybdène Aciers fortement alliés

- Aciers fortement alliés

Ces aciers sont désignés par :

- La lettre X
- Un chiffre représentant le centuple de la teneur en carbone.
- Les symboles chimiques des éléments d'alliage dans l'ordre décroissant de leur teneur.

- Les teneurs des éléments d'alliage séparées par un trait d'union.

Si les aciers désignés sont moules, leur désignation est précédée d'un G

Exemple : **X6 Ni Cr Ti 17-12**

- Cet acier fortement (X) allié possède une teneur en carbone de 0,06 %
- Il est allié à du nickel (Ni) du chrome (Cr) et du titane (Ti).
- La teneur en nickel est de 17 % (17).
- La teneur en chrome est de 12 % (12).
- Il y a des traces (non quantifiées) de titane.