



المؤسسة الوطنية للأشغال البترولية الكبرى



شركة مساهمة رأس المال 6.390.000.000 دج (فرع سوناطراك)
Entreprise Nationale de Grands Travaux Pétroliers
Société Par Actions au Capital de 6.390.000.000 DA
(Filiale 100% Sonatrach)



METALLURGIE

1

Document stagiaire :

« Inspecteur en Soudage »

GENERALITES

1- Définition de la métallurgie:

La métallurgie est la science qui étudie l'ensemble des procédés d'extraction, d'élaboration de traitement par déformation, traitement thermique des métaux et leurs alliages

2- Définition de la sidérurgie:

La sidérurgie est la métallurgie du fer qui consiste à extraire le fer ou ces alliages partir du minerai et leurs faire subir différents traitements à fin de fournir des produits semi- finis

3- Préparation des minerais:

C'est un traitement mécanique qui consiste à réaliser les opérations suivantes:

- a- concassage des gros morceaux des minerais à l'aide des concasseurs.
- b- broyage à sec à l'aide des broyeurs
- c- triage manuel magnétique
- d- lavage du minerai concassé par flottation

4- Extraction des métaux:

Pour extraire les métaux du minerai, on applique des traitements thermiques ou chimiques dont le déroulement dépend de la composition chimique du minerai,
Les traitements cités se font dans des fours portés à haute température

5- L'affinage:

En général les métaux élaborés par les méthodes précédente ne sont pas purs ils doivent encore subir des opérations de raffinage.

6- La mise en forme des métaux et des alliages:

Les opérations de mise en forme se font par déformation plastique les principales opérations sont :

- Le forgeage
- Le laminage
- L'emboutissage

Elles peuvent être faite à froid ou à chaud suivant la nature du matériau utilisé.

ELABORATION DE LA FONTE

Définition de la fonte:

La fonte est un produit intermédiaire entre le minerai et les aciers, la fonte est alliage à base de fer et de carbone contenant (2.5 à 6.7% de carbone), elle est obtenue à l'état liquide dans les hauts fourneaux par réduction des oxydes de fer par le carbone et l'oxyde de carbone.

Le coke : le carbone est introduit dans la charge sous forme de coke métallique qui doit avoir une porosité et une résistance à l'écrasement suffisant

Les fondants: ils permettent d'éliminer la gangue sous forme de laitier fusible

Différentes parties du haut fourneau: C'est un four vertical garni à l'intérieur de briques réfractaires, d'une hauteur environ de 30m, son diamètre intérieur varie entre 8 et 14m, il comprend les parties suivantes:

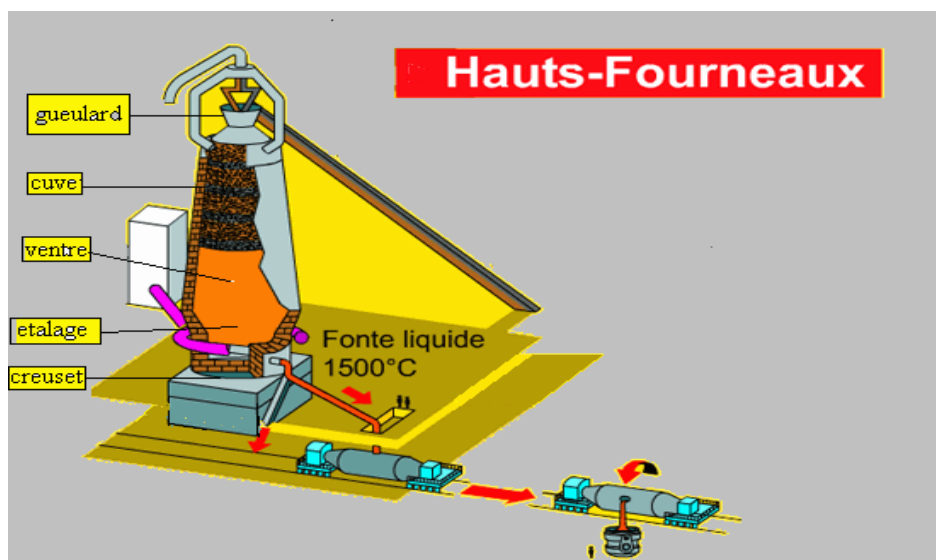
Gueulard: l'ouverture du haut fourneau par laquelle on introduit et on évacue les gaz

Cuve: tronc de cône évasé vers le bas pour permettre un déplacement de la charge et augmenté la surface de contact entre la charge et les gaz et diminue les risques d'accrochage de la matière sur les parois du haut fourneau.

Ventre: partie cylindrique pour relier la cuve et les étalages

Étalage: tronc de cône évasé vers le haut pour faciliter la répartition des gaz qui ont tendance à suivre la paroi

Le creuset: Partie cylindrique du haut fourneau, la partie supérieure appelée ouvrage contient les tuyères qui amènent l'air, la partie inférieure contient deux tissus l'un pour l'écoulement de la fonte l'autre pour la laitière.



Fonctionnement du haut fourneau:

On introduit dans le haut fourneau :

- la charge et on recueille de la fonte, du laitier et des gaz

Le haut fourneau est traversé par deux courants de matières dirigés en sens inverse

- Un courant descendant de matières solides puis pâteuses puis liquide à la vitesse de 1m/s
- Un courant ascendant d'air chaud environ (800:1000) °c à la vitesse de 50m/s qui est en contact avec le coke.

Les Principales phases de transformation du minerai:

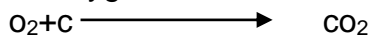
1-Dessiccation:

La charge perd son eau (évaporation)

2-Réduction :

L'air chaud introduit, facilite la combustion du coke qui produit la chaleur nécessaire et du gaz carbonique CO_2

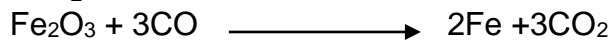
* L'oxygène en teneur dans l'air se combine avec le carbone contenu dans le coke



Au contact du coke, le CO_2 se transforme en oxyde de carbone (co)



* l'oxyde de carbone réduit l'oxygène contenu dans l'oxyde de fer libérant le fer et reformant le CO_2



3-Carburation:

Sous l'effet de la chaleur, le fer libéré se combine avec le carbone contenu dans le coke et se transforme en fonte ($\text{Fe} + \text{C}$).

4-Fusion:

Sous l'effet de la chaleur environ 1800°, la fonte devient liquide et la gangue combinée au fondant se liquéfie et donne le laitier.

Dans le creuset il y a séparation par différence de densité de la fonte liquide et du laitier qui surnage.

Quand le creuset est plein on élimine le laitier par orifice supérieur et on procède à la coulée de la fonte.

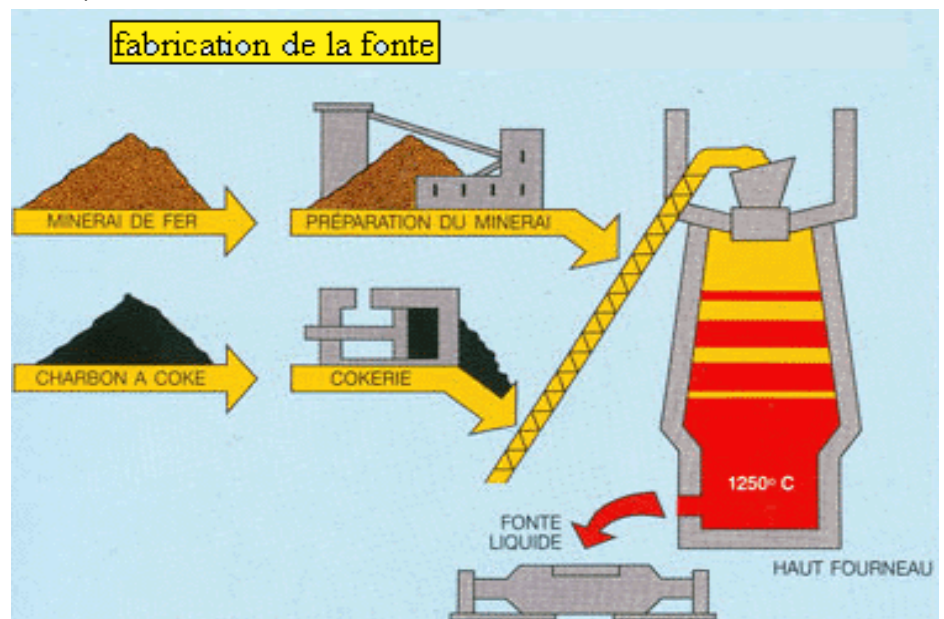


Schéma principal de fabrication de la

Fabrication de L'acier

Définition :

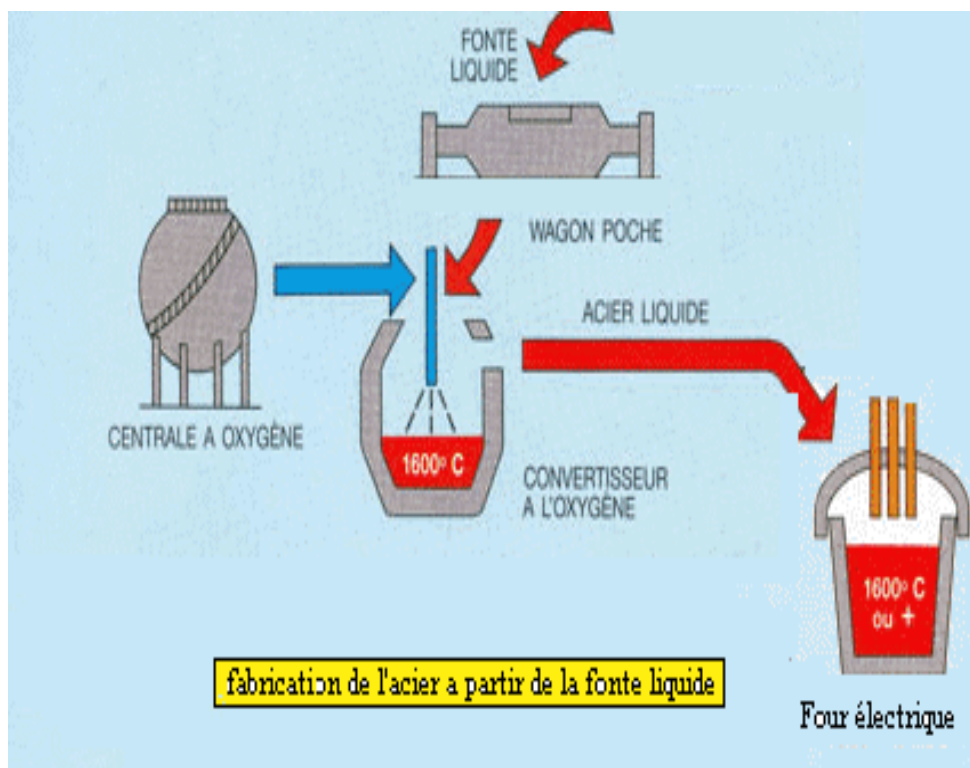
L'acier est un alliage à base de fer, carbone et impuretés, la teneur du carbone dans l'acier varie entre 0.4 - 2.5%.

On le prépare à partir de la fonte liquide dans des convertisseurs ou à partir de la ferraille dans des fours électriques

Principe de fabrication de l'acier :

Le principe de fabrication de l'acier est de diminuer la teneur des éléments (C, S, M_n , P) et d'augmenter la teneur du fer cette opération s'appelle affinage.

On magasine la fonte sortant du haut fourneau dans un réservoir appelé mélangeur son rôle améliore l'homogénéisation c'est-à-dire régularise sa composition.



Principaux procédés d'élaboration de l'acier :

1-convertisseur à oxygène pur :

La fonte liquide est introduite à environ 1250°C dans un convertisseur (c'est une grande poche en acier revêtu intérieurement de brique réfractaire l'oxygène est généralement soufflée à l'aide d'une lance).

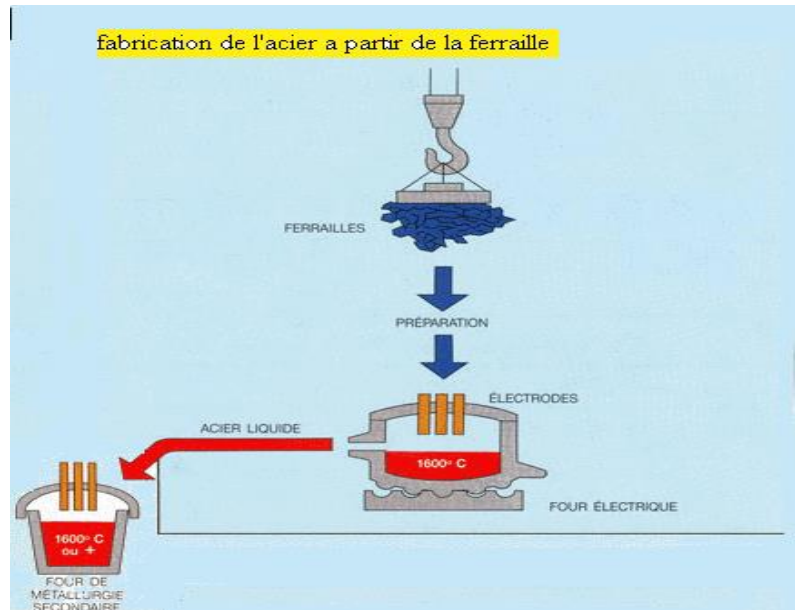
L'opération dure 40 mn et la capacité d'un convertisseur varie entre 15 et 360 tonnes l'acier obtenu a des propriétés mécanique supérieures aux autres aciers très faibles teneurs en s et p.

2- four électrique : (Acier électrique)

Le four électrique est un four à sol réfractaire sur laquelle sont placés les matériaux à refondre. L'énergie thermique est fournie par production d'arc électrique entre trois électrodes et la charge.

La marche comprend trois étapes :

- la fusion
- oxydation
- réduction

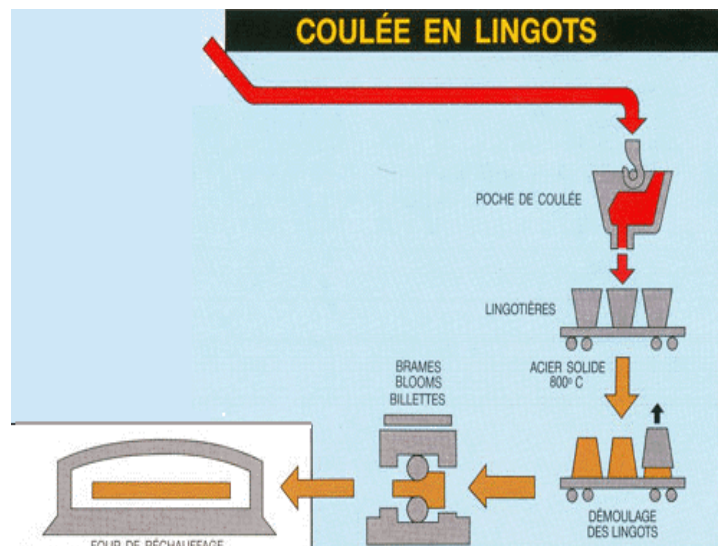


Coulée de l'acier liquide :

S'opère selon deux techniques différentes :

Coulée en lingotière :

L'acier élaboré selon les procédés précédents est recueilli à l'état liquide dans des poches pendant 5 à 10 mn (décantation) il est ensuite coulé et solidifié dans des lingotières qui sont en générale en fonte, la solidification terminée le démoulage a lieu et les lingots sont acheminés vers des fours la solidification s'achève, la température est maintenue à 1250°C.



Coulée continue :

La poche de coulée alimente directement un répartiteur qui alimente à son tour plusieurs lignes de coulée.

La coulée continue est constituée de :

- répartiteur
- lingotière
- 1 zone de refroidissement
- 2 zones de refroidissement
- Extracteur
- Oxycoupage

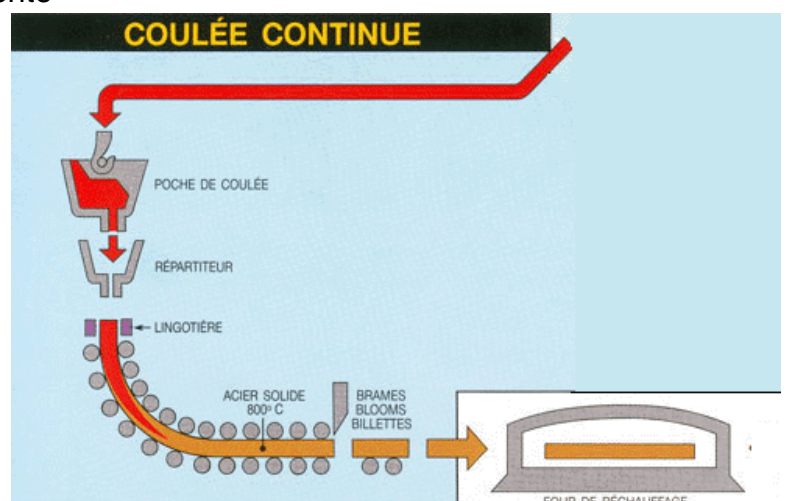


Schéma d'une coulée

Mise en forme :

- La mise en forme se fait par le laminage.
- Le laminage consiste en une série d'opération qui transforme le lingot en un produit de forme déterminée.
- Le laminoir est composé essentiellement d'une ou plusieurs cages qui maintiennent les cylindre entre les quelles passe le métal qui subit un écrasement progressif
- Après coulée en lingotière le dégrossissage des lingots s'effectue dans un blooming pour les produits longs et dans un clabing pour les produits plats

Pour les produits plats le premier délivre des blousons et le second des brames.

- Les produits plats fabriqués à partir brames du clabing ou de coulée continue.
 - Les tôles :
 - tôles fortes, épaisseurs supérieure 4.76mm
 - tôles moyennes, épaisseur de 3 à 4.75 mm
 - tôles minces, épaisseur à 3mm.
 - Les feuillards produits plats dont la largeur maximale est comprise entre 500 et 600 mm.
 - Les produits longs : fabriqués à partir des blousons du bloomings ou de coulée continue.
- EX : fil machine, les rails, poutrelles.

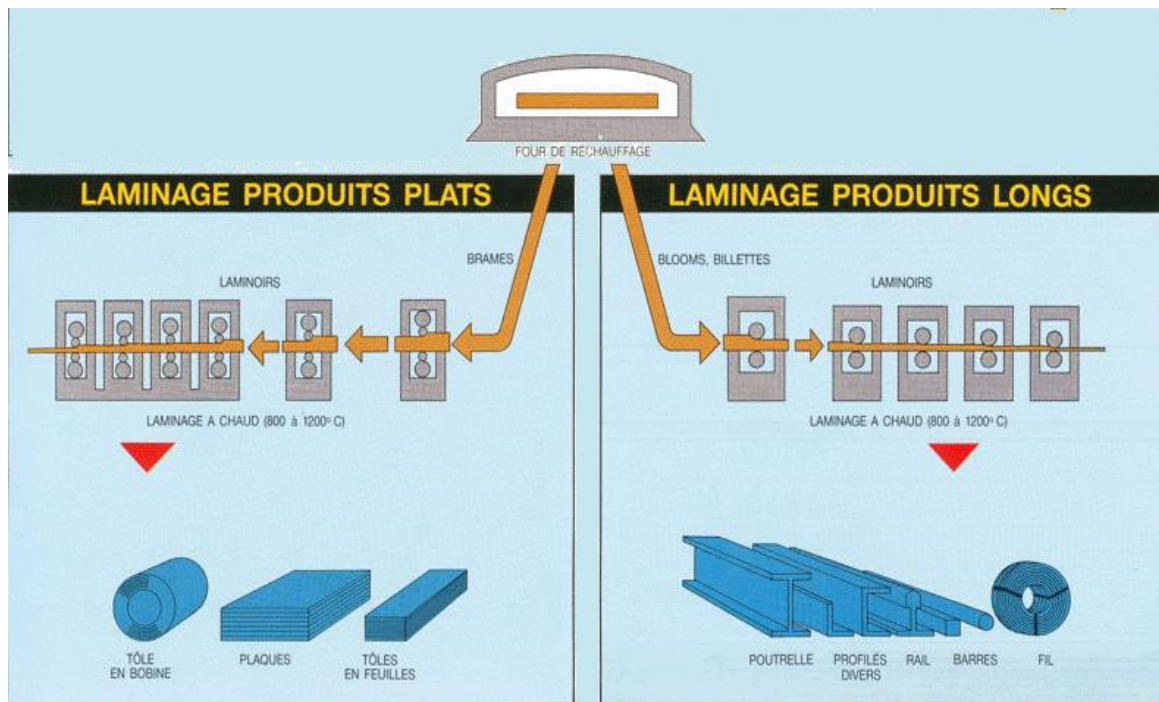


Schéma de la mise en forme

Alliages de fer aciers et fontes

1- Atouts du fer

Le fer et ses alliages occupent une place majeure dans les matériels industriels avec une production mondiale de l'ordre de 750 millions de tonnes, les autres métaux réunis ne représentant qu'environ 40 millions de tonnes. Le fer est largement disponible, De plus, son prix à l'unité de masse, comme celui des aciers ordinaires, est le plus faible parmi les métaux.

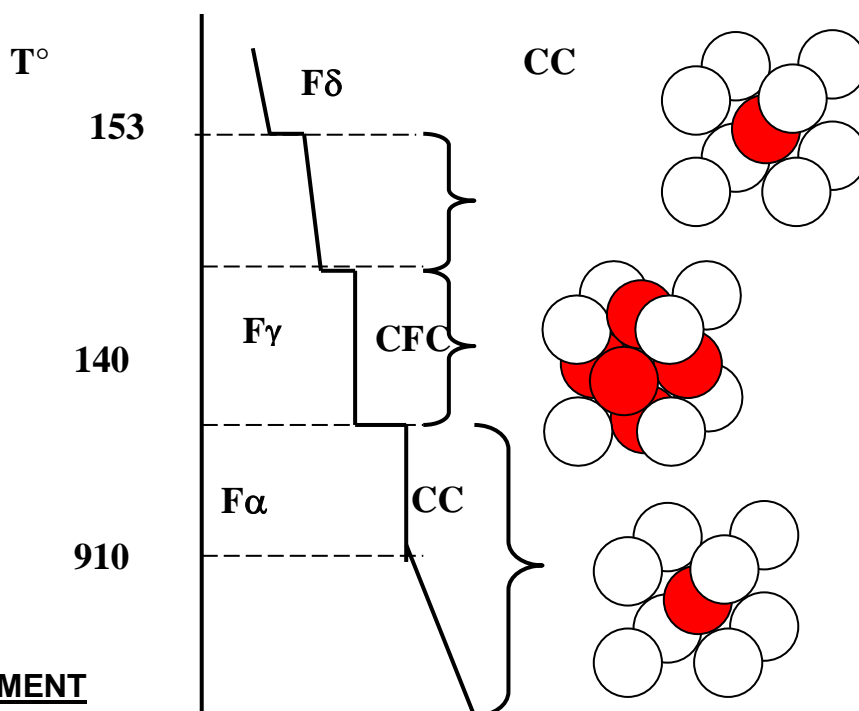
Le fer présente également les avantages suivants :

Sa **densité**, $r = 7,8$, est trois fois celle de l'aluminium, et six fois celle des matières plastiques.

Son **module d'élasticité** : $E = 210 \text{ GPa}$, est élevé, d'où une bonne raideur pour le travail en domaine élastique.

Sa **structure cristalline** apporte un atout décisif en présentant quatre formes allotropiques : CC (fer α) pour $T < 910^\circ\text{C}$; CFC (fer γ) pour $910^\circ\text{C} < T < 1392^\circ\text{C}$; CC (fer δ) de 1392°C à la température

de fusion $T_f = 1540^\circ\text{C}$. La 4e forme, HC, n'existe que pour des pressions supérieures à 13 GPa, obtenues par exemple par choc explosif.



COURBE DE REFROIDISSEMENT

L'**affinité du carbone pour le fer** se manifeste dans l'existence quasi stable de la cémentite Fe_3C , carbure de fer, dur ($\text{HV} = 700$) et fragile. D'où un diagramme d'équilibre métastable fer- cémentite de référence pour les teneurs en carbone inférieures à 1,5 % (**aciers**), alors que le diagramme d'équilibre stable fer- graphite ne vaut que pour les teneurs supérieures (**fontes**).

Le **ferromagnétisme** du fer est aussi un atout, en raison du prix élevé de ses concurrents (Ni et Co) dans le domaine des matériaux magnétiques.

La faible **résistance à l'oxydation** sèche et à la corrosion humide est un handicap compensé en partie par le développement de traitements de surface protecteurs, et par l'élaboration d'aciers inoxydables (évidemment plus chers).

Le fer **pur** n'a pas d'usage industriel en raison de ses faibles performances mécaniques.

Certains aciers, élaborés sévèrement, et quasiment sans atomes interstitiels (**aciers sans interstitiels** ou « IF ») avec 0,003 % C et de légères quantités de Ti (0,06 %) et de Al (0,02 %) piègeurs de carbone, sont très proches par la composition du fer pur et intéressants pour l'emboutissage difficile ($R_e = 125 \text{ MPa}$, $R_m = 300 \text{ MPa}$, $A = 44 \%$).

L'apport d'éléments d'alliage permet la réalisation de centaines d'aciers et de fontes, disponibles sur le marché.

Les principaux groupes sont schématisés dans le tableau 1.

2. Diagramme d'équilibre

En fonction de la vitesse de refroidissement et la présence d'éléments chimiques étrangers, on distingue :

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

Hypoeutectoïde 0.02 à 0.8 %C

Aciers -eutectoïde 0.8 %C

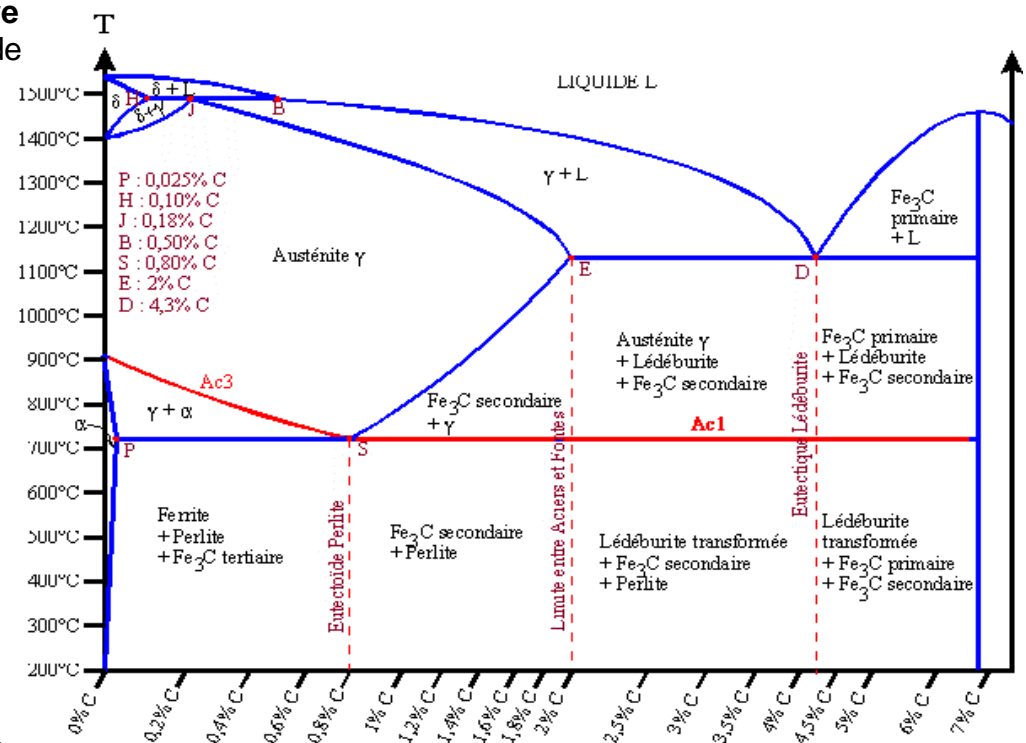
Hypereutectoïde 0.8 à 2.14 %C

-Hypo eutectique 2.14 à 4.3 %C

Fontes -Eutectique 4.3% C

-Hyper eutectique 4.3 à 6.67 %C

La teneur délimitant les aciers et les fontes (2.14% C) coïncide avec la solubilité limite du carbone dans l'austénite .après solidification, les aciers ne contiennent pas de composant structural fragile tel que la lédéburite, et chauffés jusqu'à une température élevée, n'acquièrent que la structure très plastique de l'austénite .c'est pourquoi les aciers se prêtent aisément aux déformations ordinaire et élevée c'est à dire qu'ils sont à la différence des fontes assez malléable.



2.1 Principales structures et microstructures d'un acier :

- Ferrite (F) : est une solution solide d'insertion du carbone dans le fer α et qui a un réseau cubique centré. Elle se trouve plus particulièrement dans les aciers hypoeutectoïdes qui ont subi un refroidissement lent. La ferrite est relativement douce ($HV = 80 + 100$), peu tenace ($R = 300 \text{ N/mm}^2$), mais très ductile ($A = 35 \%$) et résiliente ($K = 30 \text{ J/cm}^2$). Sa masse volumique est de $7,86 \text{ gr/cm}^3$, et elle est ferromagnétique jusqu'à 768°C .

-Cémentite (Fe_3C) : C'est un carbure de fer. En réalité, il peut exister plusieurs carbures de fer de composition légèrement différente ou même identique, mais ne cristallisant pas dans le même système cristallin. Ces carbures se rencontrent plus particulièrement dans les structures des aciers trempés et revenus. La cémentite, comme tous les carbures métalliques, est très dure ($HV = 800$), mais fragile.

- **Austénite (A)** : C'est une solution solide d'insertion du carbone dans le fer γ , qui ne peut exister à la température ambiante que dans un état métastable. Elle peut se rencontrer dans certains aciers hyper trempés (aciers alliés dits austénitiques). L'austénite est très ductile et possède une dureté de l'ordre de 250 HV. Elle est antiferromagnétique.

- **Martensite (M)** : On peut la considérer comme une solution solide de carbone dans le réseau distordu de la ferrite. Cette distorsion est proportionnelle au pourcentage de carbone en solution. Elle est caractéristique d'un acier refroidi rapidement depuis la température de l'austénitisation, et elle coexiste souvent avec la bainite et la troostite. La martensite possède une grande dureté (HV= 700 à 900), mais présente l'inconvénient d'être très fragile. Elle est ferromagnétique comme la ferrite.

La martensite peut se présenter sous différentes morphologies : massive ou aciculaire. Cette dernière forme est de loin la plus répandue dans le cas des aciers faiblement alliés,

Les micro textures ou microstructures que nous allons présenter sont toutes des produits de décomposition de l'austénite. Elles sont composées d'un mélange de ferrite α et de carbures (cémentite ou carbures plus ou moins complexes). La morphologie des deux phases en présence dépend essentiellement de la vitesse de refroidissement en fonction de laquelle, on trouve les microstructures suivantes :

- **Cémentite coalescée** : Pour des refroidissements excessivement lents, les carbures coalescent dans une matrice ferritique. C'est à cet état que correspondent les caractéristiques mécaniques les plus faibles (la dureté HV= 170).

- **Perlite (P)** : Pour des refroidissements lents (à l'air), on obtient un mélange homogène de cémentite et de ferrite. La perlite se présente le plus souvent sous la forme de lamelles alternées de cémentite et de ferrite qui peuvent être plus ou moins grossières selon la vitesse de refroidissement. Ceci conduit à distinguer entre différents types de perlite : lamellaire, grossière, moyenne, fine,... Les caractéristiques mécaniques de la perlite sont faibles :

* HV= (200 à 250)

* $R_m = (800 \text{ à } 900) \text{ N/mm}^2$

* $A = 10 \%$

- **Troostite (T)** : C'est une perlite extrêmement fine obtenue pour des vitesses de refroidissement assez importantes (huile), les " nodules " de troostite qui se développent à partir des joints de grains sont constitués par des lamelles ferrite- cémentite non séparables en microscopie optique, Cette microstructure est caractéristique d'une trempe douce. Les caractéristiques mécaniques de la troostite sont assez importantes (HV =450).

- **Bainite (B)** : Ce constituant qui présente une morphologie aciculaire est obtenu après des vitesses de refroidissement élevées. On distingue des **bainites supérieures** qui peuvent être considérées comme étant des plaquettes de ferrite contenant des carbures orientés parallèlement à l'axe de la plaquette, et des **bainites inférieures** qui s'assimilent à des plaquettes de ferrite contenant une fine précipitation de carbures dispersés dans la plaquette de ferrite. Ces carbures ne sont discernables qu'en microscopie électronique.

Les caractéristiques mécaniques associées à une texture bainitique approchent celles d'une structure martensitique.

- **Sorbite (S)** : Ce constituant n'est plus un produit de décomposition directe de l'austénite puisqu'il correspond, en fait, à un stade de décomposition de la martensite (pour des températures supérieures à environ 400°C). C'est un mélange complexe de carbure finement

réparti dans une matrice ferritique distordue. Elle conduit à des propriétés mécaniques intéressantes (la dureté reste encore élevée $HV = (300 \text{ à } 400)$ pour une bonne résilience).

3. Influence des éléments chimiques sur les propriétés de l'acier

Un acier est un alliage à composants multiples, constitué essentiellement par du fer et du carbone, et contenant plusieurs autres inclusions ou impuretés, constantes ou inévitables (Mn, Si, P, S, O, N, H etc. ...) et qui influent sur ses propriétés. La présence de ces inclusions s'explique :

- soit par la difficulté de l'élimination de certaines d'entre elles lors de l'élaboration (S, P).
- soit par leurs passages dans l'acier lors de l'opération "désoxydation" (Mn, Si).
- soit encore par additions en vue d'améliorer les propriétés de l'acier (Cr, Ni, Mo etc. ...)

Les fontes contiennent à peu près ces mêmes inclusions, mais en teneurs plus grandes. L'influence des éléments chimiques sur les propriétés de l'acier peut être divisée en deux groupes: les éléments chimiques constants et les éléments d'alliages.

3.1 Influence des éléments chimiques constants : Parmi les éléments chimiques, généralement contenus dans les aciers ordinaires, on peut citer :

- **Le carbone** : Après un refroidissement lent, la structure d'un acier comporte la ferrite et la cémentite. La quantité de cémentite dépend de la teneur en carbone. L'augmentation de la teneur en carbone accroît la dureté, la charge à la rupture et la limite élastique tout en diminuant l'allongement, la striction et la résilience. Notons toutefois que la résistance commence à chuter à partir de 1,2 % C. _

La figure, montre l'évolution des propriétés mécaniques en fonction de la teneur en carbone.

- **Silicium et manganèse** : La teneur en Si présente dans l'acier ne dépasse pas 0,4 % et, celle du Mn 0,8 % * Ces deux éléments désoxydent l'acier. Le Mn renforce sensiblement la résistance sans diminuer la plasticité, tandis que la présence du soufre dégrade la fragilité à chaud. Le Si de la ferrite augmente fortement la limite élastique, ce qui altère l'aptitude de l'acier à l'emboutissage.

- **Soufre** : C'est une impureté qui forme une combinaison chimique FeS insoluble dans le fer. FeS forme avec le fer un eutectique facilement fusible (988°C) et qui est responsable de la fragilité à chaud dans les aciers (tapures). Les inclusions de soufre modifient nettement les propriétés mécaniques de l'acier, la soudabilité et la tenue à la corrosion. La teneur en soufre dans l'acier ne doit pas dépasser 0,035 %.

- **Phosphore** : C'est une impureté soluble dans le fer α et si sa teneur est assez grande, elle forme le phosphore de fer Fe₃P (15,62 % P). Soluble dans la ferrite, le phosphore perturbe fortement son réseau cristallin, augmente la limite élastique et la charge de rupture tout en diminuant considérablement la plasticité et la ductilité, Sa teneur ne doit pas excéder 0,045 % dans les aciers.

- **Azote et oxygène** : Sont contenus dans l'acier sous forme d'inclusions non métalliques fragiles (oxydes, nitrures). Les inclusions d'insertion (N, O), en se concentrant aux joints de grains, élèvent le seuil de fragilité à froid et altèrent la résistance à la rupture fragile.

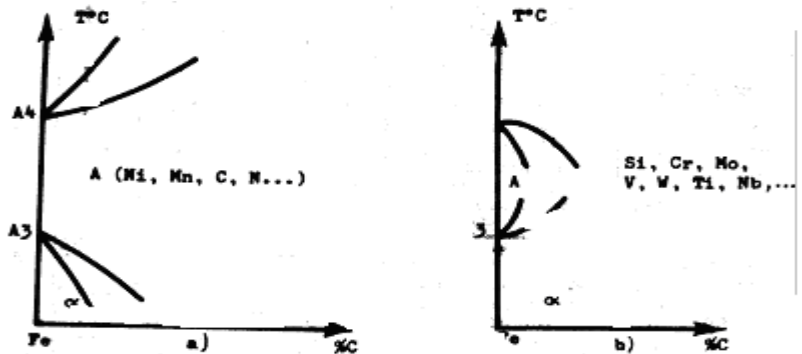
- **Hydrogène** : C'est un élément très nocif qui exerce une forte action fragilisante sur l'acier. Cette action s'observe aussi lors du soudage.

3.2 Influence des éléments d'alliages

Il est à signaler que les éléments d'alliages ont une certaine influence sur les transformations allotropiques du fer. Tous les éléments à l'exception de C, N, H, forment avec le fer des solutions solides de substitution. Leur dissolution dans le fer influe fortement sur la position des points (A4 = 1392°C) et (A3 = 910 °C) qui déterminent le domaine d'existence du fer α et du fer γ .

- **Eléments gamma gènes** (Ni, Mn) : ils abaissent le point A3 et élèvent le point A4. Il en résulte une extension du domaine austénite. Si la concentration en ces éléments est élevée, le point A3 peut s'abaisser jusqu'à la température ambiante empêchant ainsi la transformation $\alpha \rightarrow \gamma$ et les alliages de ce type sont dits "austénitiques" (voir figure a).

- **Eléments alpha gènes** (Cr, W, Mo, V, Al, Si,...) : abaissent le point A4 et élèvent le point A3. Il en résulte une extension du domaine ferritique et un rétrécissement du domaine austénite. Pour certaines concentrations en éléments d'alliages, les lignes de transformations A3 et A4 se rencontrent et les alliages de ce type sont dits "ferritiques" (voir figure b)



ELEMENT	FORMATION DE CARBURE	AFFINAGE DE GRAINS	AUGMENTE LES PROPRIETES	DIMINUE LES PROPRIETES
S	NON	-	Usinabilité, fragilité à chaud	Fluidité
P	-	NON	Résistance à la corrosion, résistance à chaud, fragilité à froid	Allongement, résistance aux chocs
Si	NON	NON	Grossissement du grain, résistance chimique d'aciers réfractaire, trempabilité, désoxydation	Solubilité du carbone, soudabilité, vitesse critique de trempe
Mn	OUI	-	Résistance aux chocs, à l'usure, à la traction trempabilité, désoxydation	Usinabilité, température de transformation, vitesse critique de trempe
Ni	-	OUI	Résistance à la fatigue, à la corrosion résilience, trempabilité	Vitesse de grossissement du grain, risque de surchauffe, vitesse critique de trempe
Cr	OUI	-	Résistance à la traction, à la corrosion et à l'usure, capacité de coupe, pénétration de trempe	Déformation, vitesse critique de trempe
Mo	OUI	-	Résistance à la traction, et à la fatigue, dureté, trempabilité	Allongement, forgeabilité
W	OUI	OUI	Résistance à l'usure, dureté, capacité de coupe	-

Différents types d'aciers

1. Différents aciers

Différentes classifications sont utilisées pour décrire la gamme des aciers. Elles font référence à la composition chimique, aux modes de transformation, aux propriétés ou aux emplois.

C'est ainsi on considère deux classements.

D'une part :

—**les aciers de base** : aciers ne faisant l'objet d'aucune prescription nécessitant des précautions spéciales durant la fabrication ;

—**les aciers de qualité** : aciers répondant à des prescriptions plus sévères que celles relatives aux aciers de base et demandant donc certaines précautions lors de la fabrication ; toutefois de tels aciers ne satisfont à aucune exigence concernant la réponse au traitement thermique et l'état inclusion aire ;

—**les aciers spéciaux** : aciers présentant une plus grande pureté que les aciers de qualité et généralement destinés à subir un traitement thermique pour lequel ils assurent une régularité de réponse ; l'ajustement soigné de leur composition et les conditions spéciales de leur élaboration leur confèrent des propriétés particulières de mise en oeuvre et d'emploi ;

D'autre part :

—les aciers non alliés

—les aciers alliés

Partant de ce dernier classement, nous listerons les aciers en croisant les critères relatifs à la composition chimique, aux propriétés et aux emplois ; ce choix permet de distinguer différents types parmi les aciers non alliés et alliés.

1.1 Aciers non alliés

1.1.1 Aciers de construction métallique

Aciers de base non alliés au Fe/C ou Fe/C/ Mn livrés généralement prêts à l'emploi et dits parfois *d'usage général*. Ils sont soudables et ne sont pas destinés à subir des traitements thermiques. Ils doivent parfois satisfaire à des conditions particulières relatives à leur mise en forme à température ambiante (pliage, ...). En température, leur domaine d'emploi est limité approximativement à l'intervalle – 60 à + 350°C.

1.1.2 Aciers au carbone pour appareils à pression

Aciers de qualité non alliés (Fe/C ou Fe/C/ Mn) Ces aciers doivent satisfaire à des exigences particulières relatives à leur résistance à la rupture fragile et, lorsqu'ils sont employés à température supérieure à l'ambiante, à leur limite d'élasticité à chaud et à leur tenue au fluage.

1.1.3 Aciers pour armature du béton

Elles sont réalisées en aciers spéciaux non alliés à teneur en carbone élevée parfois traités par trempe et revenu et le plus souvent écrouis et vieillis pour permettre d'améliorer la résistance à la relaxation.

1.1.4 Aciers pour emboutissage et pliage à froid

Aciers de qualité livrés en produits plats auxquels il est demandé de présenter des propriétés particulières de ductilité, d'emboutissage et d'état de surface. En général, les teneurs en éléments interstitiels de ces aciers sont réduites le plus possible (sauf parfois en phosphore ajouté pour augmenter la limite d'élasticité).

Parmi ces aciers, on peut classer les aciers pour emballages, aciers de qualité auxquels, outre l'aptitude à l'emboutissage, on demande une propreté inclusionnaire particulière et, dans certain cas, une protection spécifique contre la corrosion (fer blanc et fer chromé notamment).

1.1.5 Aciers non alliés à outils pour travail à froid

Aciers spéciaux au carbone aptes aux traitements thermiques avec, pour certains, de très faibles teneurs en éléments résiduels et pour d'autres de petites additions de Cr ou de V.

1.1.6 Aciers non alliés de construction mécanique

Aciers spéciaux destinés à subir des traitements thermiques. Ils peuvent, par ailleurs, présenter des aptitudes particulières quant à leur mise en oeuvre (usinabilité notamment).

1.2 Aciers alliés

1..2.1 Aciers alliés pour appareils à pression

Aciers spéciaux alliés (généralement au molybdène et au chrome et parfois au vanadium)

1.2.2 Aciers de construction mécanique

Aciers spéciaux destinés à subir des traitements thermiques. Ils peuvent, par ailleurs, présenter des aptitudes particulières quant à leur mise en oeuvre (usinabilité notamment). Des éléments d'alliage (Cr, Ni, Mo, V notamment et parfois Si) Cette catégorie d'aciers comporte de nombreuses nuances prévues pour des usages spécifiques (boulonnerie, chaînes, ressorts, roulements, soupapes...).

1..2.3 Aciers inoxydables

Aciers spéciaux dont l'élément d'alliage de base est le chrome à des teneurs supérieures à 10 % et contenant souvent peu ou très peu de carbone mais, par contre, des éléments d'alliage agissant sur l'état structural et sur la résistance à la corrosion (nickel, molybdène, cuivre, titane, niobium...).

Les fortes additions d'éléments d'alliage alphagènes (Cr, Mo...) ou gammagènes (Ni, Mn) modifient profondément l'état structural d'emploi de ces aciers, et on distingue quatre catégories.

Les aciers inoxydables martensitiques qui contiennent de 12 à 18 % de chrome et des teneurs en carbone variables de 0,1 à 1 % environ. Ils sont utilisés après trempe martensitique et revenu et sont susceptibles,

Les aciers inoxydables ferritiques (12 à 20 % de chrome) et super-ferritiques (% chrome > 20) ne comportent pas d'addition de carbone et les résidus présents (< 0,08 %) sont généralement fixés par du titane ou du niobium.

Les aciers inoxydables austénitiques avec des teneurs en chrome égales ou supérieures à 17 % et des proportions de nickel (et de manganèse) suffisantes (en général au moins 8 % de Ni). Ces aciers ne comportent généralement pas d'addition volontaire de carbone mais contiennent, le plus souvent, des éléments d'addition améliorant leur tenue aux corrosions tels que molybdène (solutions chlorurées), cuivre, titane, niobium (fixation des résidus de carbone).

Les aciers inoxydables austéno - ferritiques dont la composition (en chrome, nickel, molybdène et silicium notamment) est équilibrée pour conserver à l'état d'emploi une structure mixte constituée d'austénite (30 à 50 %) et de ferrite (70 à 50 %). Cet état confère à ces aciers des performances mécaniques élevées et une résistance particulière à certaines corrosions.

Avec les aciers inoxydables on peut classer aussi les aciers dits réfractaires qui sont des aciers résistant à la corrosion par les gaz chauds.

1.2.4 Aciers à outils alliés

Aciers spéciaux auxquels il est demandé d'être aptes à atteindre, par traitements thermiques, des niveaux élevés de résistance à la température ambiante ou, souvent, à hautes températures.

Normalisation des aciers et alliages ferreux

1- Aciers de construction mécanique (NF EN 10027)

E 295 GC	E	acier de base non allié
	295	limite élastique minimale à la traction en MPa
	GC	symbole additionnel: aptitude au formage

Observations: *aciers d'usage général, non destinés aux traitements thermiques.*

2- Aciers de construction (NF EN 10027)

S 355 JR	S	acier non allié, laminé à chaud
	355	limite élastique minimale à la traction en MPa
	JR	symbole additionnel: énergie de rupture

Observations: *aciers d'usage général, en construction métallique, non destinés aux traitements thermiques.*

— pour les aciers de construction dont la désignation commence par la lettre S, on trouve dans le premier sous-groupe relatif à l'acier :

- Un symbole précisant le niveau garanti (et la température correspondante) d'énergie de rupture par choc sur éprouvette entaillée ; ainsi, par exemple :

JR (27 J à 20 °C)

J4 (27 J à – 40 °C)

K2 (40 J à – 20 °C)

L5 (60 J à – 50 °C)

3- Aciers pour appareils à pression (NF EN 10027)

P 310 NB	P	acier de base non allié
	310	limite élastique minimale en MPa
	NB	symbole additionnel: bouteille à gaz

4- Aciers non alliés pour trempe et revenu

C 22	C	acier de base non allié
	22	teneur moyenne en carbone ×100 (0,22% de carbone)

5-Principaux symboles chimiques des éléments utilisés

Symbole	. Elément	Symbole	. Elément	Symbole	. Elément
Al	. Aluminium	Mg	. Magnésium	Si	. Silicium
B	. Bore	Mn	. Manganèse	Sn	. Etain
Be	. Béryllium	Mo	. Molybdène	Ti	. Titane
Co	. Cobalt	Ni	. Nickel	V	. Vanadium
Cr	. Chrome	Pb	. Plomb	W	. Tungstène
Cu	. Cuivre	S	. Soufre	Zn	. Zinc

6- Aciers faiblement alliés (Aucun élément ne dépasse 5% en masse)

30 Cr Ni Mo 8	30	teneur moyenne en carbone x100 (0,3% de carbone)
	Cr Ni Mo	symboles chimiques des éléments d'addition par ordre de teneur décroissant
	8	teneur moyenne en % des éléments d'addition par ordre décroissant
		La teneur est: x4 pour: Cr; Co; Mn; Ni; Si; W x10 pour les autres éléments x100 pour: S / x1000 pour: B
		la teneur est <1% si elle n'est pas indiquée.

Ici: Acier faiblement allié à 0,3% de carbone, 2% de chrome, <1% de nickel et <1% de molybdène

7- Aciers fortement alliés (Au moins un élément dépasse 5% en masse)

X 4 Cr Ni 18-10	X	acier fortement allié
	4	teneur moyenne en carbone x100 (0,04% de carbone)
	Cr Ni	symboles chimiques des éléments d'addition par ordre de teneur décroissant
	18-10	teneur moyenne en % réel des éléments d'addition par ordre décroissant
		la teneur est <1% si elle n'est pas indiquée.