

Chapitre 2 – METAUX ET ALLIAGES METALLIQUES

2.1– INTRODUCTION

2.2 – ETAT METALLIQUE

2.3 - ALLIAGES FERREUX

- 2.3.1 - Aciers d'usage général ou à bas
- 2.3.2 - Aciers à outils
- 2.3.3 - Aciers de traitement thermique
- 2.3.4 - Aciers inoxydables
- 2.3.5 - Fontes

2.4- DESIGNATION NORMALISEE DES ACIERS (norme NF EN 10025)

- 2.4.1- Classification par emploi
- 2.4.2- Classification par composition chimique

2.5 – METAUX ET ALLIAGES NON FERREUX

- 2.5.1 - Aluminium et ses alliages
- 2.5.3 - Zinc et ses alliages
- 2.5.4 - Titane et ses alliages
- 2.5.5 - Alliages réfractaires

2.6- FABRICATION DE L'ACIER

- 2.6.1 – Matières premières :
- 2.6.2 - Haut fourneau
- 2.6.3 - Convertisseur à l'Oxygène
- 2.6.4 – Station d'affinage

Chapitre 2 – METAUX ET ALLIAGES METALLIQUES

2.1 – INTRODUCTION : Les matériaux métalliques, comme leur nom l'indique, comportent des liaisons essentiellement métalliques, c'est-à-dire en partie assurées par des électrons périphériques faiblement liés aux noyaux. Ces électrons sont responsables des bonnes propriétés de conductivités thermiques et électriques. La température de fusion de ces matériaux est en général élevée. Ils sont pour la plupart ductiles et relativement tenaces. L'association de leur ténacité et de leur ductilité est un atout majeur pour leur mise en forme.

Par contre, après mise en forme, on peut facilement donner aux alliages métalliques une bonne résistance mécanique par des traitements thermiques appropriés grâce à la formation de phases durcissantes. Du fait de leur plasticité, leur tenue à la fatigue peut poser des problèmes. De plus, ils sont souvent sensibles à la

corrosion. Enfin, les métaux sont en général des matériaux lourds et denses, ce qui est parfois un handicap.

- Les métaux sont généralement classés en deux groupes :
 - les métaux ferreux (fer et ses alliages)
 - les métaux non ferreux (Al, Cu, Ni, Zn, Mo,...)
- Les aciers et les fontes sont des **alliages fer-carbone**. Ils représentent une grande famille de métaux à large spectre d'utilisation (charpentes métalliques, bâtis de machines, tôles, pièces mécaniques diverses, outils,...).
- L'utilisation des **métaux non-ferreux** est relativement limitée. Elle est surtout réservée pour des **applications spécifiques**.

Exemples :

- **Cuivre (Cu)** pour sa bonne conductibilité thermique et électrique (fils électriques,...),
- **Aluminium (Al)** pour sa légèreté et son inertie chimique (aviation,...),
- **or (Au)** comme bijoux (bagues, colliers,...).

2.2 – ETAT METALLIQUE : A l'état solide et en partie à l'état liquide, les métaux se distinguent par plusieurs propriétés caractéristiques :

- Conductibilité thermique et électrique élevée.
- Augmentation de la résistivité des métaux purs avec l'élévation de la température
- Bonne émission thermoélectronique.
- Bonne aptitude à la réflexion (éclat métallique particulier)
- Bonne aptitude à la déformation plastique par rapport aux verres, céramiques,...
- Durcissement par écrouissage lors d'une déformation plastique



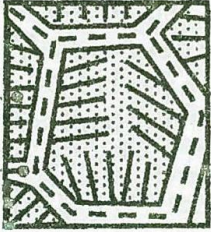
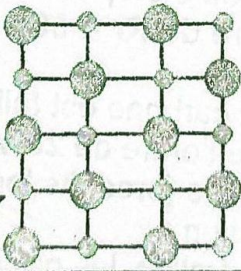
Les propriétés physiques essentielles des métaux sont généralement comme suit :

- **Température de fusion** : très variable de -39°C (Hg) à 3410°C (W)
- **Densité** :
 - métaux usuels : 6-9,
 - métaux légers : 1 à 4,2 (Li, Mg, Al, Ti)
 - métaux lourds : > 9 (Ag, W, Mo, Pb, Pt, U)

L'observation des structures métalliques se fait généralement par microscopie après les étapes suivantes :

- **prélèvement** et préparation des échantillons
- **décapage mécanique** pour l'élimination de la rouille, des bavures,...
- **polissage** pour réduire la rugosité et obtenir un bon état de surface
- **attaque chimique** par un agent approprié pour mettre en valeur les différents types de grains (forme, aspect,...).
- **Observation microscopique** après un bon nettoyage.

Le tableau suivant représente schématiquement l'aspect des structures en fonction des moyens d'observation.

Méthode d'observation	Résultat de l'observation	Description de l'état observé	Champ d'observation
Œil	<p>Matériau</p> <p>Aspect Homogène</p> 	Grains généralement indiscernables à l'œil	> 1 mm
Microscope optique	<p>Echantillon</p> <p>Grains :</p> <p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> 	Grains polygonaux, de même nature ou de nature différente	> 0,1 mm
Microscope électronique	<p>Grain A</p> <p>Domaines :</p> <p>α</p> <p>β</p> 	Distinction éventuelle des domaines différents	> 1 μ m
Diffraction électronique	<p>Phase α</p> <p>Atomes :</p> <p>i</p> <p>j</p> 	Organisation atomique au sein d'une phase	< 0,1 nm

2.3 - ALLIAGES FERREUX : Les alliages à base de fer (aciers et fontes) jouent et continuent de jouer un rôle capital sur le plan technologique. Ils constituent en masse près de 90 % de la production mondiale de matériaux métalliques.

Plusieurs facteurs expliquent cette importance :

- les alliages ferreux se prêtent facilement à une production en masse,

- ils sont bon marché et disponibles
- on peut les acquérir sous des formes très variées (plat, rond, profilés) grâce à la diversité des traitements thermiques et des éléments d'addition.
- Ils ont un fort module d'élasticité et une grande limite élastique.

En général, nous pouvons distinguer entre les nuances d'aciers et de fontes :

- les aciers les plus connus sont :

- * les aciers de traitement thermique (généralement faiblement alliés)
- * les aciers à outils (alliés)
- * les aciers inoxydables (alliés au chrome et nickel)
- * les aciers spéciaux (à ressort, à mémoire de forme, réfractaires...)

- les fontes les plus connues sont :

- les fontes blanches (fer + cémentite Fe_3C)
- les fontes grises (Fer + carbone graphite)
- les fontes malléables,...

Les métaux ferreux sont des alliages fer-carbone qui se distinguent par la teneur en carbone :

- L'acier contient entre (0 et 2,1)% de carbone,
- alors que la fonte est plus riche en carbone (de 2,1 à 6,7%).

Les caractéristiques essentielles de l'acier et de la fonte sont :

- l'acier est un métal ductile : il peut subir des changements de forme par compression ou traction à chaud ou à froid. Il est caractérisé par une propriété fondamentale : il « prend la trempe », c'est-à-dire qu'il est susceptible d'acquérir une grande dureté sous l'effet de la trempe. Un des défauts majeurs des aciers ordinaires est l'altération par l'action de l'atmosphère (la rouille).
- La fonte est un métal dur et fragile. Elle contient plus d'impuretés que les aciers. Elle présente une bonne résistance à l'usure, mais par contre elle résiste mal au choc.

2.3.1 - Aciers d'usage général ou à bas carbone (%C < 0,2%) (Exp. : S355, E335)

Ces aciers sont définis principalement par leurs propriétés mécaniques :

- Leur résistance mécanique est de l'ordre de $R_r = 500 \text{ MPa}$ pour la rupture et de $R_e = 350 \text{ MPa}$ pour la limite élastique ;
- Ils sont ductiles puisque leur teneur en carbone est faible (%C < 0,2%)
- l'allongement relatif avant rupture est de l'ordre de 25 %.

Ces aciers sont produits sous la forme de profilés (produits longs) ou sous la forme de tôles (produits plats) en fonction de leur utilisation :

- Les produits longs comprennent les poutrelles, les profilés de sections diverses, les fers marchands, les tubes, les fils, les câbles et les rails.
- Les produits plats comprennent les tôles fortes, les plaques (épaisseur > 5 mm), les tôles minces pour l'emboutissage.

2.3.2 - Aciers à outils (Exp. : 35 Cr Mo 4, 100 Cr 6) : Toutes les étapes de la fabrication des métaux nécessitent des outils de coupe dont les conditions d'utilisation peuvent être très variées. Ils doivent posséder la dureté la plus élevée possible, une très bonne résistance à l'usure et une grande ténacité. La teneur en carbone est en général assez élevée (de l'ordre de 0,6 à 1%) sauf pour les outils travaillant aux chocs (moules d'injection pour matière plastique). Ce sont en général des aciers fortement alliés en chrome (entre 5 et 12 %) pour éviter la corrosion.



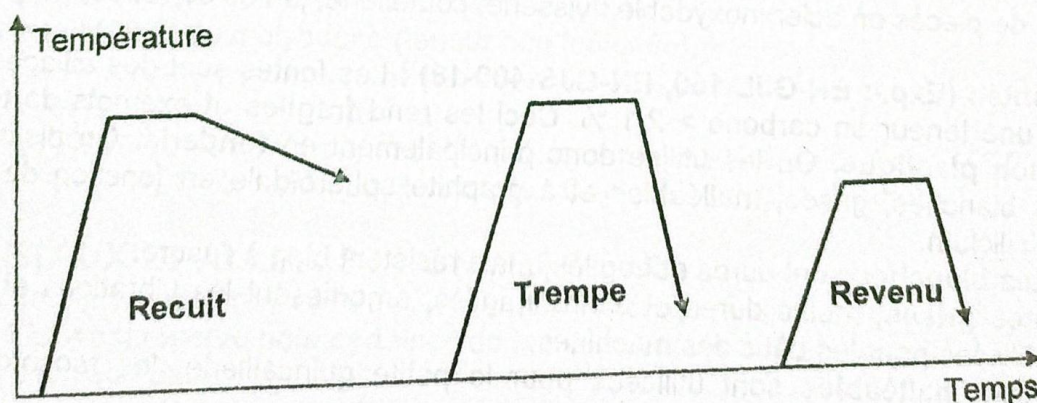
Exemple d'outils de coupe : scie circulaire, forets, fraises

2.3.3 - Aciers de traitement thermique (Exp. : C 32, 20 Ni Cr 6, 35 Ni Cr Mo 16) : On distingue 3 grands types de traitement thermique : les recuits, les traitements dans la masse (trempe, revenu) et les traitements de surface (trempe superficielle, cémentation, nitruration...).

Recuit : traitement thermique consistant à chauffer le métal à une certaine température "dite de recuit" et à le refroidir très lentement pour obtenir un état physico-chimique en équilibre. Il permet d'éliminer les contraintes résiduelles et les structures hors d'équilibre.

Trempe : traitement thermique consistant à chauffer le métal à une certaine température de transformation structurale et à le refroidir rapidement pour obtenir un état hors d'équilibre. On obtient une structure très dure et fragile.

Revenu : traitement thermique qui suit la trempe et qui consiste en un réchauffage à faible température (< 550°C) suivi d'un refroidissement. Il a pour fonction de réduire la fragilité du métal trempé.



Cycles thermiques du recuit, de la trempe et du revenu.

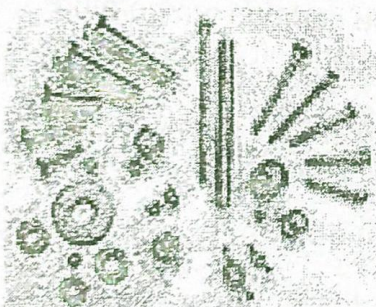
Les traitements de surface : sont de deux types, soit :

- **trempe superficielle au chalumeau** : chauffage rapide de la couche superficielle suivi d'un refroidissement rapide à l'eau. Seule la couche externe subit la trempe.
- **Saturation de la couche superficielle en carbone (cémentation)**, en azote (nituration),...

Les aciers de traitement thermique sont définis par leur **composition chimique**. Celle-ci détermine le type de traitement qu'on peut leur appliquer. Les aciers de traitement thermique sont soit :

- des **aciers au carbone** (sans autre élément d'addition que les éléments d'accompagnement, Mn et Si),
- soit des **aciers alliés** contenant en proportions variables, un ou plusieurs éléments d'addition (Cr, Ni, Mo, V, ...).
 - o le chrome favorise le durcissement et augmente la résistance à la corrosion ;
 - o le nickel augmente la ténacité à basse température ;
 - o le molybdène augmente la résistance mécanique, la dureté et la résistance au fluage.

2.3.4 - Aciers inoxydables (Exp. : X 30 Cr 13, X 8 Cr Ni 18-12) : Les aciers inoxydables comprennent un ensemble de familles d'alliages de fer contenant du chrome et du nickel. La principale propriété est la résistance à la corrosion. Le chrome est l'élément essentiel qui, à des teneurs supérieures à environ 12 % rend l'acier inoxydable en favorisant, en milieu oxydant, la formation d'un film passif à sa surface. On utilise ce type d'acier en tuyauterie, en chirurgie, en visserie, pour les ressorts, pour les arbres de pompes, la coutellerie, les soupapes ...



Exemples de pièces en acier inoxydable : visserie, coutellerie, jantes de roues

1.1.5 - Fontes (Exp. : EN-GJL 150, EN-GJS 400-18) : Les fontes sont des alliages de fer ayant une teneur en carbone $> 2,1$ %. Ceci les rend **fragiles** et exempts de toute **déformation plastique**. On les utilise donc principalement en **fonderie**. On distingue les fontes blanches, grises, malléables et à graphite sphéroïdale en fonction de leur teneur en silicium.

- Les **fontes blanches** sont dures et fragiles, mais résistent bien à l'usure.
- Les **fontes grises**, moins dures et moins fragiles, amortissent les vibrations et sont souvent utilisées pour les bâtis des machines.
- Les **fontes malléables** sont utilisées pour la petite quincaillerie, les raccords de plomberie ...
- La **fonte à graphite sphéroïdale** possède des propriétés mécaniques élevées (résistance, ténacité) comparables à celles des aciers et résistent mieux à l'usure. C'est

