**Chapitre 3 : Les métaux ferreux et non-ferreux**

**1.Généralités:**

Les métaux sont obtenus à partir de minéraux. Par des procédé de fusions et de purifications,



Nous les transformons en métal. Nous utilisons rarement les métaux à l'état pur. Nous combinons differents métaux pour obtenir ce que l'on appelle un alliage afin d'obtenir les propriétés désirés.

Les matériaux métalliques se classent en 2 catégories : **ferreux et non ferreux.**

* les métaux ferreux : l'élément principal qui les compose est le fer. La fonte et l'acier sont en fait des alliages de fer et de carbone +/- 2%, la fonte est fragile et dure tandis que l’acier est tenace, ductile et élastique. Ils ont la particularité d'être attirés par un aimant.
* les métaux non ferreux: sont ceux qui ne contiennent pas de fer. Il en cxiste plusieurs sortes : le cuivre et ses alliages (le laiton et le bronze), le plomb, le zinc, le nickel, sont tous des mètaux non ferreux.

Métaux les plus communs :

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| METAL | COULEUR | CHALEUR FUSION | COMPOSITION |
| Acier | Gris | Autour de 15350 | Fer et carbone (0.5% à 1.5%) |
| Acier  Inoxydable | Gris brillant | Autour de 15350 | Fer-carbone avec au moins 10% de chrome(parfois du Nickel, du molybdène ou du vanadium) |
| Aluminium | Blanc métallique | 6660 |  |
| Bronze | Jaune or | 2800 à 9500 | Cuivre-étain |
| Cuivre | Rouge | 10800 |  |
| Etain | Blanc pur | 2300 |  |
| Fer | Blanc gris | 15000 | Carbone(0.1% à 0.5%) |
| Fonte | Blanc ou gris | 11000 | Fer et carbone (1.5 à 5 %) |
| Laiton | Jaune rouge | 8700 à 10000 | Cuivre  Zinc |
| Plomb | Blanc bleuatre | 3300 |  |
| Titane | Gris foncé brillant | 16600 | Titane, Aluminium, Vanadium. |
| Zinc | Blanc bleuatre | 4200 |  |

En raison de son altérabilité et sa faible résistance mécanique, le fer n'est plus utilisé industriellement. Les métaux les plus utilisés dans la construction sont la fonte et l'acier puisqu’ils presentent les avantages suivants : haute résistance, plasticité, conductibilité thermique élevée, assemblage par soudage.

En revanche, ces matériaux présentent aussi des inconvénients à savoir : corrosion en présence d'eau et déformation sensible avec l'augmentation de la température.

**2. Propriétés des métaux :** 

**2.1 Propriétés physiques :**

Sont caractérisés par : la couleur, la masse spécifique, le point de fusion (il est important de connaître le point de fusion des métaux pour pouvoir les traiter à chaud afin d'obtenir des éléments coulés). la conductibilité et le coefficient thermique de dilatation (la dilatation produite par l'échauffement est caractérisé par le coefficient de dilatation linéaire ou volumique). Ces coefficients sont pris en compte lors de toute étude de construction métallique puisque des désordres peuvent survenir à la suite d'une variation de température.La densité de la majorité des métaux dépasse 7000 kg/m3, celle des métaux légers (Al, Mg) est inférieure à 3000 kg,/m.3( Plus la densite du métal est petite et plus les éléments de construction qui en découlent sont légers et efficaces. Cela explique le fait que les alliages d'aluminium sont de plus en plus utilisés dans la construction) ,

**2.2 Propriétés mécaniques :**

Sont caractérisés par : la résistance, la dureté, la résilience, la fatigue et le fluage.

La résistance mécanique est la capacité d'un métal de résister aux efforts extérieurs. Suivant la nature de ces efforts on distingue : les résistances à la traction, à la compression, à la flexion, et à la torsion qui sont caractérisées par les charges limites par lesquelles le métal se rompt,

la dureté d'un métal détermine son pouvoir de résister à l'enfoncement d’une bille en acier ou d'un cône, la résilience est caractérisée par la quantité de travail nécessaire à la rupture d'une éprouvette subissant des chocs, le fluage caractérise la capacité dtun métal à se déformer à la suite d'une charge constante. II peut donc conduire à l'accroissement des flèches des éléments des constructions et à la perte de stabilité, la fatigue est la propriété de soumettre un métal aux effets alternés, répétés et conjugués d'efforts externes (statique ou dynamique),

**2.3 Propriétés Technologiques :**

Sont caractérisés par la possibiiité d'usinage des métaux. ce qui est conditionné par leur plasticité.

**3. Elaboration des métaux:**

Les métaux n'existent pas à l'état pur dans la nature, mais sous forme de combinaisons chimiques, uniquement dans certains cas le cuivre, l'argent et l'or peuvent se trouver à l'état pur, c'est à dire à l'état métallique. La croûte terrestre est constituée principalement de minéraux avec de diverses pourcentage et selon les zones par l'oxygène et le silicium (27,7 0/0), le reste par l'aluminium (8 %), le fer (5 %), Na (2,8%), Mg (2,8 %), Cu (0,01 %), les autres éléments dont la part est insignifiante par exemple : l'or (5.10 —7 %) et Ag (1.)0 —5 %). Les éléments ne sont pas répartis d'une façon homogène dans les différentes régions. Donc les métaux sont rencontrés sous formes de minerais à partir desquels on peut extraire un ou plusieurs métaux par les differents procédés métallurgiques.

l- Le procédé métallurgique par voie ignée (thermique), fusion et réduction du minerais. l'agent réducteur le plus employé est le carbone (C) ou le CO.

2- Le procédé par électrolyse en fusion.

**4.Elaboration des métaux ferreux (acier et fonte):**

**4. 1 Elaboration de la fonte :** On traite le minerai dans une sorte de four cylindro-conique on brique réfractaire, et en couche métallique à l'extérieure, le four lui-meme appelé (Haut-fourneau).

* La fonte s'obtient dans les hauts fourneaux à partir de minerai de fer et du coke (carbone

 L'élevation de température conduit à la fusion de la charge et à la transformation chimique. ce qui permet d'obtenir de la fonte liquide et des résidus: laitier et gaz.

* Le produit obtenue n’est pas du fer pur mais un alliage de fer et du carbone de 2,3 à 4.5% appelé fonte. Selon la façon de traitement on obtient soit de fonte blanche, soit de fonte grise. la fonte produite par le (Haut-fourneau) appelé fonte de 1ère fusion elle a 3 Utilisateurs.

\*1 ière fusion de l'utilisateur : coulée destinée à être utiliser dans 2ème fusion \*2ème utilisateur : exécution de grosse pièce par coulée directe dans les moules.

\*3ème utilisateur : fabrication de l'acier

**4.1.1 Principaux fontes de 1ère fusion :**

\* Fonte grise: le carbone se trouve à l’état libre sous forme de graphite elle à une teneur en carbone et de silicium très élevée : (C: 3,5 à 4.5% et Si : 1.5 à 5%) .

**Propriétés**: résiste mal à la traction, usinable,bonne résistance à la compression

- température de fusion 1200 oC épouse bien la forme des moules



\*Fonte blanche: le carbone est combiné au fer pour donner le carbure de fer. Elle contient peu de silicium et de carbone.

**Propriétés :** très dur, très fragiles, difficile à usiner

- température de fusion 1 160 C (moulage difficile).

\*Fontc truité : Intermédiaire entre la fonte blanche et la fonte grise, le carbone et en partie  déposer dans la masse sous forme de graphite et partie combinée au fer pour donner le carbure de fer. Elle est employée pour la coulée des pièces plus résistance que les pièces en fonte grises.

**4.1.2 Affinage de la fonte de 2éme fusion :**la fonte obtenue en haut-fourneau contient trop d'impuretés, pour utiliser dans la fabrication il est nécessaire de l'affiner c.à.d. de purifier, cette opération obtenue dans un cubilot par fusion de gueuses, le métal obtenue et de la fonte de 2ème fusion. Différentes fontes obtenues au cubilot . suivant la construction de charge on obtient :

Fonte grise : riche en carbone de 3,5 à 4% et de silicium de 2,5 à 2,7%

Fonte blanche: peu de carbone 2 à 2,5% et peu de silicium

Fonte à haute résistance mécanique: en mettant dans le cubilot de la fonte grise + quelque ruban d'acier.

**4.2. Elaboration des aciers :** L'acier peut être obtenu par :

**4.2.1. Fabrication de l'acier à partir de la fonte :**

A partir de la fonte de la 1ère fusion élaborer en haut fourneau soit par :

\*L’action combiner de la chaux et de l'oxygène de l'air qui traverse la masse de la fonte en fusion , c’est le procédé « BESSEMER »

**Procédé BESSEMER.** oxydation de carbone par l'oxygène de l'air le procede Bessemer est un procedé d'affinage de la fonte brute, aujourd'hui disparu, ayant servi à fabriquer de l'acier peu coûteux. Ce procédé porte le nom de son inventeur, Henry Bessemer. qui le brevette en 1855.le procédé consiste à oxyder avec de l'air les éléments chimiques indésirables contenus dans la fonte pour en obtenir du fer ou de l'acier. L'originalité du procédé consiste à exploiter la chaleur dégagée par les réactions chimiques pour maintenir la masse de métal en fusion.

\*Ou l’action combincr dc la chaux et de l'oxygène d'un oxyde de fer mélangés à fonte maintenue en fusion procédé « MARTIN »

**Procédé MARTIN:** oxydation de carbone par l'oxygène de l'oxyde de fer \*Fabrication dans des fours à creuset : c'est un procédé de synthèse. On fait ensemble les matériaux necessaires à l'obtention des aciers s'efforçant de provoquer leurs mélanges afin d’obtenir un alliage homogène, ce procédé, long et coûteux, et réservé à la fabrication des aciers à outils

**4.2.2. Fabrication de l'acier à partir de la ferraillc :**

Les ferrailles sont fondues ensembles On prélève. après fusion complète une éprouvette dont en fait l'analyse. Si la teneur en carbone est inférieure à celle de l'acier désiré, on ajoute de la fonte Dans le carbone en excès. De la chaux introduire dans le bain permettra d'éliminer les impurtés sous forme de laitier.

**5. Les étapes de la fabrication de l'acier :**

1. La formation de la fonte : le minerai de fer et le coke sont introduits dans le haut fourneau par le haut, la chaleur provoquant la combustion du coke et l'élimination des éléments chimiques contaminants. Le fer se charge ensuite de carbone au cours de sa descente et se transforme en fonte, qu'il faut alors séparer d'un mélange de déchets appelé laitier.
2. La conversion de la fonte en acier : la fonte en fusion est ensuite versée sur de la ferraille dans un convertisseur à oxygène où de l'oxygène est insufflé pour éliminer le carbone sous forme de CO2.
3. L'affinage : l'acier obtenu est affiné en ajoutant des éléments (nickel, chrome...) pour former différents alliages et modifier les propriétés mécaniques de l'acier en fonction des besoins.
4. La coulée : l'acier est refroidi progressivement jusqu'à solidification.
5. Le laminage : l'acier est à nouveau monté à température pour le rendre malléable. Il est ensuite aplati dans des laminoirs et la forme voulue lui est donnée.

**6. Elaboration des métaux non ferreux :**

**6.1 Elaboration de l’Aluminium**

L’extraction de l'alumine à partir de la bauxite par le (procédé Bayer) .L'industrie utilise un procédé inventé en 1887 par Bayer. La bauxite est le minerai le plus utilisé pour obtenir de l'alumine ; son nom vient du village des « Baux-de-Provence » en France, où le français Pierre Berthier découvrit ce minerai en 1821. La bauxite contient l'élément aluminium sous forme d'oxyde hydraté A1203, n H20 (n : étant égal à 1, ou 3), également de la silice (Si02), de l'oxyde de titane (TiO2) et de l'oxyde de fer, Fe2O3.

**6.2 Etapes de fabrication de l’Aluminium :**

- Le broyage: la bauxite est broyée en fines particules pour faciliter l'extraction

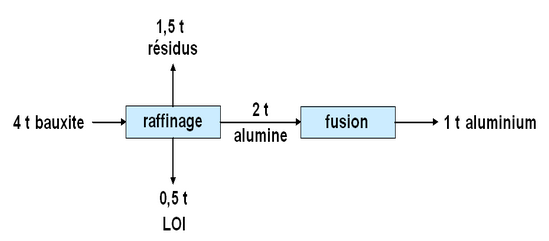
- L'attaque: la bauxite est mélangée avec de la soude et de la chaux dans des réacteurs à haute température et haute pression

- La décantation: on sépare la phase liquide, riche en aluminium, de la phase solide dans des clarificateurs. Les résidus sont lavés plusieurs fois et forment les "boues rouges". Leur couleur est due à leur forte concentration en oxyde de fer.

- La précipitation: la liqueur est refroidie et diluée pour faire précipiter l'aluminium sous forme d'hydrate d'alumine (Al2O3, 3H2O).

- La calcination: l'alumine chauffée à plus de 1000°C pour la déshydratée.

Le produit obtenu en fin de cycle est une poudre blanche d'alumine (Al2O3).

Le schéma ci-dessous présente le débit massique type du procédé BAYER.(LOI : perte au feu )

**6.3 Groupes d’alliages d’Aluminium :**

Le tableau ci-dessous donne les différents groupes d'alliage d'aluminium

|  |  |
| --- | --- |
| **Groupe** | **Aluminium ou alliage d’aluminium** |
| **1** | Aluminium non allié (teneur ≥ 99.0.%) |
| **2** | Aluminium –Cuivre |
| **3** | Aluminium-Manganèse |
| **4** | Aluminium-Silicium |

**6.4 Elaboration du cuivre :**

Le cuivre n'est présent dans l'écorce terrestre qu'à la concentration moyenne de 55 parties par million. II n'existe plus dans la nature à l'état natif. comme dans l'antiquité. II se présente sous forme de sels contenant 30 à 90 % de cuivre, eux -mêmes mélangés aux stériles et quelques fois à d'autres métaux, dont certains peuvent être plus rares que le cuivre, comme l'or et l'argent.

Un minerai est considéré comme riche à partir de 1,8 % de cuivre pur. Le cuivre est le deuxième en importance des métaux non ferreux aprés l'aluminium devançant largement le zinc, le plomb, le nickel et l'étain.

**6.3 Matières premières :**

La source de cuivre la plus importante est constituée par les minerais soufrés primaires qui sont des sulfures et qui conduisent à plus de 80% de la production mondiale du cuivre. Les plus courants de ces minerais sont la chalcopyrite, sulfure contenant à l’état juxtaposé, ou à l'état solution solide ou même de composé Cu2S - FeS2 - FeS, la chalcosine Cu2S et dans une moindre mesure la bornite Cu5FeS4.

Lorsque ces minerais primaires ont pu réagir avec l'air et l'eau, ils se sont transformés en oxydes, en hydroxydes ou carbonates qui constituent des minerais secondaires tels que principalement la malachite CuC03, Cu(OH)2, l'azurite CuC03, Le cuivre de récupération, qu'il s’agisse de "déchets neufs" qui sont des déchets de fabrication immédiatement réutilisables ou de "déchets de récupération" provenant de produits finis, représente une source extrêmement importante.

En effet, à cause de son excellente stabilité chimique, notamment vis-à-vis de l'oxydation, 85 % du cuivre utilisé peut-être aisément récupéré et environ 1/3 du cuivre consommé provient du cuivre recyclé. Le recyclage s'effectue soit au niveau du raffinage, soit lors de la fabrication de demi-produits tels que laminés, tubes en cuivre et barres en laiton

**6.4 Extraction et concentration des minerais :**

L'exploitation des gisements se fait essentiellement dans des mines à ciel ouvert ou les couches proches de la surface contiennent surtout des minerais oxygénés et les couches profondes des minerais soufrés.

Ces minerais sont mélangés à des stériles de sorte que la teneur en cuivre de la roche dépasse rarement 2%. Une mine n'est plus considérée comme intéressante si cette teneur est inférieure à 0,5%.Dans tous les cas on doit procéder à une concentration et le premier objectif est de débarrasser les minerais de la gangue par des méthodes mécaniques. physiques et chimiques.

Les méthodes mécaniques sont le tamisage, le concassage, le broyage et le triage des minéraux. Les minerais soufrés sont séparés par flottation, à l'aide d'agents sélectifs hydrophobes tels que l'Amy-xanthate de potassium et l'on obtient ainsi des concentrés ayant des teneurs en cuivre comprises entre 20 et 40%.

**6.5 Etapes de fabrication du cuivre:**

* Après l’extraction, le minerai brut a une teneur de 1 à 6%, pour le purifier le processus de transformation requiert diverses étapes.
* Le broyage, le lavage et la flottation par laquelle les composants minéraux du cuivre se séparent. A l’issue de cette étape, le minerai a une teneur d’environ 30 à 35%.
* La métallurgie traitant la matière concentrée soit par voie sèche (pyrométallurgie), soit par voie humide (hydrométallurgie).

1. Par la voie sèche, le minerai de cuivre est porté à son point de fusion dans les fonderies puis envoyé à la raffinerie. Le métal est alors purifié avec une teneur de plus de 99,5% de cuivre.
2. Par la voie humide, le minerai est dissous dans une solution d’acide sulfurique ce qui permet par différentes techniques (cémentation, précipitation, électrolyse) de purifier le métal qui sera aussi envoyé en raffinerie.

* L’électrolyse qui permet le raffinage.