
CHAPITRE 1

ELABORATION & DESIGNATION DES MATERIAUX

Contenu :

- ☞ Classification des matériaux
- ☞ Elaboration et désignation des fontes
- ☞ Elaboration et désignation des aciers
- ☞ Elaboration et désignation des alliages légers

Plan de cours

Objectifs généraux

Donner un aperçu général sur la grande diversité des matériaux ferreux et non ferreux. La classification de ces matériaux sera abordée en s'appuyant sur les techniques d'élaboration et sur les normes de désignation. Les caractéristiques d'usage de chaque grande famille des alliages ferreux seront développées en insistant sur les opérations de mise en œuvre et sur les propriétés d'utilisation.

Objectifs spécifiques

- ✓ *Connaître les opérations de coulée, de mise à la nuance et de mise en forme de quelques nuances usuelles des alliages ferreux et non ferreux.*
- ✓ *Identifier et établir la désignation des métaux et alliages ferreux et non ferreux selon les différentes normes en vigueur.*

Déroulement

Le chapitre sera abordé durant 3 séances de 1h:30min chacune réparties comme suit :

- **Première séance** : *Elaboration-Désignation des aciers et des fontes*
- **Deuxième séance** : *Elaboration- désignation des alliages non ferreux*

Prérequis

Notions élémentaires de chimie minérale

Evaluation

Réussir plus de 70% de l'application de synthèse et éventuellement des TD proposé

Sommaire

Introduction	3
1. Rappel sur la classification des métaux et alliage industriels	3
1.1. Familles des matériaux de construction	3
1.2. Les principales propriétés d'emploi de chaque famille	4
1.2.1. Les propriétés des métaux	4
1.2.2. Les propriétés des polymères	4
1.2.2. Les propriétés des céramiques techniques	4
1.2.3. Les propriétés des matériaux composites	4
2. Elaboration et désignation de la fonte	5
3.1. Minerai	5
2.2.1. Principaux fontes de 1ère fusion	6
2.2.2. Affinage de la fonte de 2 ^{ème} fusion	7
2.2.3. Classification des fontes	8
3.2. Désignation normalisée des fontes	8
3. Elaboration et désignation de l'acier	9
3.1. Elaboration des aciers	9
3.1.1. Principe de la métallurgie d'élaboration	9
3.1.2. Fabrication de l'acier à partir de la fonte	9
3.1.3. Fabrication de l'acier à partir de la ferraille	9
3.1.4. Différents procédés d'élaboration des aciers	9
3.2. Désignation des aciers	11
3.1.5. Désignation symbolique par emploi	12
3.1.6. Désignation symbolique par composition chimique	12
4. Elaboration et désignation des alliages d'Aluminium	13
4.1. Extraction de l'alumine : Procédé Bayer	13
4.2. Production d'aluminium par électrolyse de l'alumine	14
4.3. Désignation numérique des alliages d'Aluminium	15
5. Elaboration et désignation du cuivre	16
5.1. Matières premières	16
5.2. Extraction et concentration des minerais	17
5.3. Désignation des alliages cuivre	17
6. Série d'exercice (Extrait des examens et DSs)	18

Introduction

Le fer est très largement répandu dans l'écorce terrestre, où il se présente sous forme de minerais divers (oxydes, hydroxydes, carbonates, sulfures, silicates et autres). Depuis la préhistoire, l'être humain a appris à préparer ces minerais par lavage, concassage, criblage, élimination de la gangue, et à les traiter par réduction (fusion), agglomération sur grille ou en boulettes pour pouvoir les fondre de façon à obtenir du fer et de l'acier. A l'époque historique, une industrie florissante du fer s'est développée dans de nombreux pays à partir des gisements locaux de minerai et de la proximité de forêts qui fournissaient le combustible sous forme de charbon de bois. Au début du XVIIIe siècle, la découverte de la possibilité de remplacer le charbon de bois par le coke a révolutionné la sidérurgie, dont l'essor allait être le point de départ de tous les autres progrès de la révolution industrielle. La fabrication de l'acier ne s'est véritablement développée qu'au XIXe siècle, avec l'invention des procédés de fusion.

Aujourd'hui la production d'acier est un indice de la richesse nationale et elle est à la base de la production de masse dans de nombreux secteurs industriels tels que la construction navale, l'automobile, le bâtiment et les travaux publics, la construction mécanique, l'outillage et les équipements industriels et ménagers. Le développement des transports, en particulier par mer, ayant rendu le commerce international des matières premières (minerai de fer, charbon, ferrailles et additifs) économiquement rentable, il a contribué à battre en brèche la position privilégiée des pays possédant des gisements de minerai de fer à proximité de mines de charbon.

1. Rappel sur la classification des métaux et alliage industriels

1.1. Familles des matériaux de construction

Dans l'industrie de la transformation ou de la production des matières premières, l'utilisation des différentes nuances de matériaux trouve un grand intérêt industriel. En effet, les objets qui nous entourent, que nous manipulons quotidiennement, sont tous constitués d'une matière choisie pour sa bonne adaptation à la fonction de l'objet en question et au procédé utilisé pour conférer à l'objet la forme souhaitée. La notion de matériau est donc rigoureusement indissociable de l'intérêt que peut présenter la substance en question pour l'obtention d'un objet fini.

Définition d'un matériau : *un matériau est la forme marchande d'une matière première choisie en raison de propriétés d'usage spécifiques et mise œuvre par des techniques appropriées pour l'obtention d'un objet de géométrie donnée à fonction préméditée [1]*

Les matériaux de construction, utilisés dans l'industrie mécanique, ont été décomposés en quatre familles principales, soient les métaux, les polymères, les céramiques et les matériaux composites faisant un mélange de différentes nuances des trois premières familles. Le tableau ci-dessous représente une comparaison qualitative des principales propriétés mécaniques des matériaux.

1.2. Les principales propriétés d'emploi de chaque famille

1.2.1. Les propriétés des métaux

Les matériaux métalliques, comme leur nom l'indique, comportent des liaisons essentiellement métalliques, c'est-à-dire en partie assurées par des électrons délocalisés. Ces derniers sont responsables des bonnes propriétés de conductivité thermique et électriques des métaux.

Les métaux sont généralement paramagnétiques voire ferromagnétiques. Leur température de fusion et de vaporisations sont en général élevées. Les métaux sont pour la plupart ductiles et relativement tenaces et 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 précipitation de phases (durcissement structural). Du fait de leur plasticité, leur tenue à la fatigue peut poser des problèmes et ils sont de plus souvent sensibles à la corrosion. Enfin, les métaux sont en général des matériaux lourds et dense ce qui est parfois un handicap.

1.2.2. Les propriétés des polymères

Les polymères sont constitués de macromolécules à squelette covalent, liées entre elles par des liaisons faibles (liaisons de Van der Waals ou liaisons hydrogène). Leurs propriétés dépendent fortement du comportement de ces liaisons faibles, et évoluent considérablement avec la température. Ils auront généralement un faible module d'élasticité, et une limite élastique d'autant plus faible qu'ils seront portés à plus haute température. Ils seront donc faciles à mettre en forme. Ils ont aussi malgré leur bonne déformabilité, une bonne résistance à l'usure. Ils sont faciles à assembler et ont une bonne tenue à la corrosion. Enfin, ce sont des matériaux légers et ils peuvent être très bon marché.

1.2.3. Les propriétés des céramiques techniques

Les céramiques sont caractérisées par des liaisons fortes, ce qui se traduit dans la pratique par une très bonne tenue en température et une excellente rigidité élastique. La faible tendance à la plasticité qui en résulte rend ces matériaux fragiles, peu tenaces, peu ductiles, mais en revanche, résistants à l'usure. Ces matériaux ont de hauts points de fusion et une bonne résistance à la corrosion. Les céramiques techniques de qualité ont tendance à être chères.

1.2.4. Les propriétés des matériaux composites

Les matériaux composites sont des matériaux qui associent deux ou plusieurs matières différentes, appartenant parfois à 2 classes distinctes, pour obtenir une combinaison de propriétés qui tire avantage de chacun. Les plus fréquemment utilisés sont les composites à matrice polymère et à renfort fibreux qui présentent des propriétés spécifiques exceptionnelles ou directionnelles. Les composites céramique/céramique qui sont moins fragiles que les céramiques massives sont très intéressantes pour leur tenue en température, les composites à matrice métallique et renfort céramique ont pour vocation de tirer parti à la fois de la ductilité des métaux et de la raideur du renfort céramique. Enfin il convient de citer pour mémoire les matériaux tels que le bois, les ciments et bétons, les mousses polymères, céramiques ou métalliques, qui sont également des matériaux composites.

Propriété	Métaux	Céramiques	Polymères
Densité ρ [kg/m ³]	8000 (2000..22000)	4000 (2000..18000)	1000 (900..2000)
Dilatation thermique α [1/K]	$10 \cdot 10^{-6}$ ($1 \cdot 10^{-6}$.. $100 \cdot 10^{-6}$)	$3 \cdot 10^{-6}$ ($1 \cdot 10^{-6}$.. $20 \cdot 10^{-6}$)	$100 \cdot 10^{-6}$ ($50 \cdot 10^{-6}$.. $500 \cdot 10^{-6}$)
Capacité calorifique c_p [J/(kg·K)]	500 (100..1000)	900 (500..1000)	1500 (1000..3000)
Conductivité thermique k [W/(m·K)]	100 (10.. 500)	1 (0.1.. 20)	1 (0.1.. 20)
Température de fusion ou de transition vitreuse T_m [K]	1000 (250..3700)	2000 (1000..4000)	400 (350..600)
Module d'élasticité, module de Young E [GPa]	200 (20..400)	200 (100..500)	1 (10^{-3} ..10)
Coefficient de Poisson	0.3 (0.25..0.35)	0.25 (0.2..0.3)	0.4 (0.3..0.5)
Contrainte à rupture σ_Y [MPa]	500 (100..3500)	100 (10..400 tract.) (50..5000 compr.)	50 (10..150 tract.) (10..350 compr.)
Dureté	Moyenne	Haute	Basse
Usinabilité	Bonne	Très mauvaise	Très Bonne
Résistance à l'impact	Bonne	Mauvaise	Très Mauvaise
Résistance au fluage thermique	Moyenne	Excellente	Très mauvaise
Conductivité électrique	Haute	Très faible	Très faible
Résistance à la corrosion	Moyenne	Excellente	Bonne

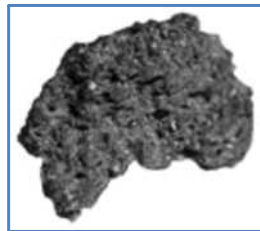
2. Elaboration et désignation de la fonte

2.1. Minerai

Le minerai de fer se trouve sous forme de roche. Certaines exploitations sont à ciel ouvert, d'autre est souterrain. Le minerai de fer existe en quatre combinaisons principales, soient :

- fer+oxygène (les oxydes)
- fer+ oxygène+hydrogène (les hydroxydes)

- fer+ oxygène+carbone (les carbonates)
- fer+ soufre (les sulfures).



Coke



Minerai de fer : hématite

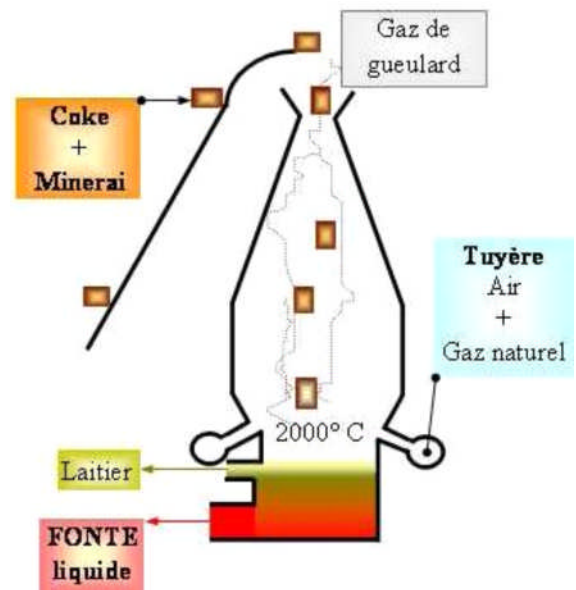


Fig. 1. Schéma de principe d'un haut-fourneau

Type de minerai	Désignation chimique	formule	Teneur en fer en %	Gisements exploités
Magnétite	Protoxyde fer	Fe_3O_4	60-70	Espagne, Algérie, Allemagne, Suède, Norvège, U.S.A, U.R.S.S
Fer oligiste, hématite rouge	Oxyde de fer anhydre	$2 Fe_2 O_3 + 3 H_2 O$	40-60	Inde, Espagne, Angleterre, U.S.A,
Fer volcanique hématite brune ou limonite, ou minette	Oxyde de fer hydraté	$2 Fe_2 O_3 + 3 H_2 O$	20-45	France, Allemagne
Fer spatique (sidérose)	Carbonate de fer	$FeCO_3$	30-45	France, Espagne, Allemagne
Pyrite	Sulfure de fer	FeS_2	25-50	Espagne,

2.2. Elaboration de la fonte

On traite le minerai dans une sorte de four cylindro-conique en brique réfractaire, et en couche métallique à l'extérieure, le four lui-même appelé (Haut-fourneau). La fonte s'obtient dans les hauts fourneaux à partir de minerai de fer et du coke (carbone). L'élévation 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 obtenu 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^{er} fusion de l'utilisateur : coulée destinée à être utilisée dans 2^{ème} fusion
- 2^{ème} utilisateur : exécution de grosse pièce par coulée directe dans les moules.
- 3^{ème} utilisateur : fabrication de l'acier

✓ Avantages des fontes

Elles permettent la réalisation des pièces moulées complexes car elles possèdent une excellente coulabilité (Aptitudes au moulage). Elles ont une excellente usinabilité, le graphite jouant le rôle de lubrifiant (mise à part les fontes blanches où le graphite n'est pas présent). Elles sont très résistantes en compression.

✓ Inconvénients des fontes

Les fontes grises lamellaires sont peu résistantes aux chocs, pour les autres fontes le problème de résilience est résolu par la forme non lamellaire du graphite. Les fontes FGS ne sont pas utilisées autant que les fontes FGL parce que son coût de fabrication est bien plus élevé. Les fontes blanches sont très peu utilisées sauf pour la réalisation de pièces spécifiques (Rouleaux de broyeur). Elles sont dures mais très fragiles ceci est dû à la présence de cémentite.

2.2.1. Principaux fontes de 1ère fusion

Fonte grise : le carbone se trouve à l'état libre sous forme de graphite elle a 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 12000 épuise 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 fragile, difficile à usinée
- température de fusion 11600 (moulage difficile)

Fonte truité : Intermédiaire entre la fonte blanche et la fonte grise, le carbone est en partie déposé 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 résistantes que les pièces en fonte grise.

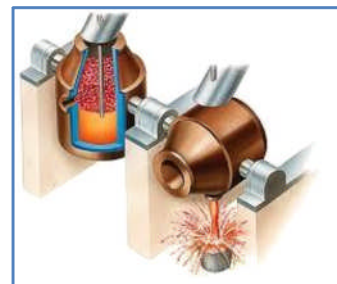
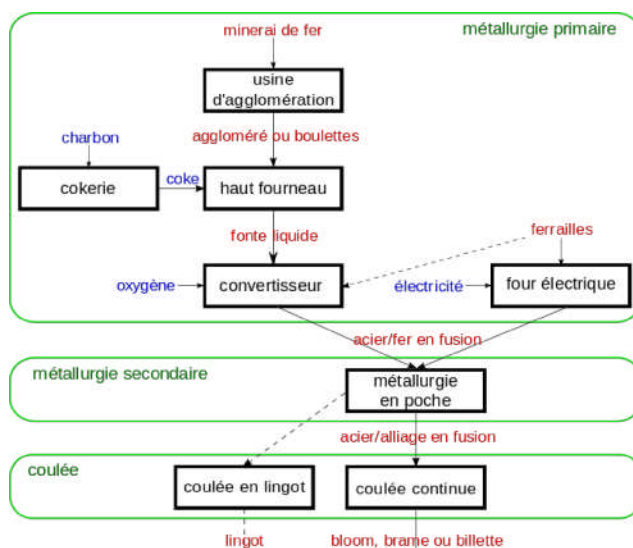


Fig. 2. Démarche descriptive et schéma de principe de la coulée

2.2.2. Affinage de la fonte de 2^{ème} 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 2^{me} 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

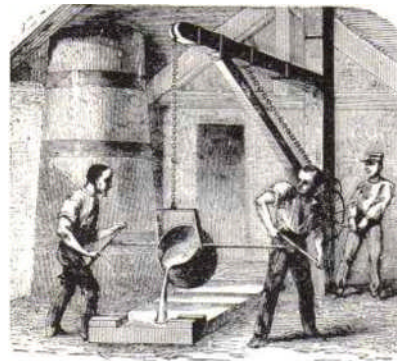
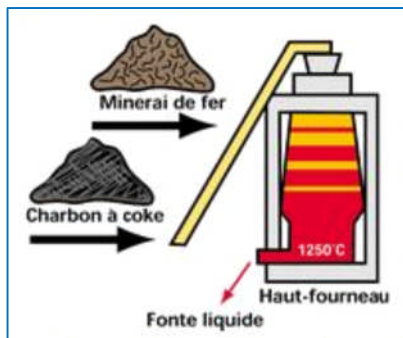


Fig. 3. Coulée de la fonte (alliage de fer et de carbone) dans une gueuse (un moule)

2.2.3. Classification des fontes

- Fonte grise
- Fonte blanche
- Fonte mécanique : à haute résistance, aux propriétés intermédiaires entre celle des aciers et celle des fonte grises.
- Fonte trempée : fonte durcie superficiellement par refroidissement rapide.
- Fonte malléable : obtenue à partir de la fonte blanche, mais traité pour donner la malléabilité et la résilience du fonte selon la façon de traitement on obtient soit : Fonte malléable à cœur blanc
- Fonte malléable à cœur noir C : 2 à 2,5% et Si : 1 à 1,2%

2.3. Désignation normalisée des fontes

Désignation symbolique : Deux groupes de lettres majuscules EN-GJ Suivies éventuellement (si une spécification est nécessaire) de 2 autres lettres majuscules facultatives, suivies d'un tiret.	EN-GJMB-...
---	--------------------

La première lettre désigne la structure du graphite (L= lamellaire, S= sphéroïdal, M=graphite de recuit (fonte malléable), V=vermiculaire, Y=structure spéciale=absence de

graphite). La deuxième désigne si nécessaire la constitution métallographique de la fonte (A= austénitique, F=ferritiques, P=perlitiques, L= lédéburitique, Q= état trempé, T= état trempé et revenu, B= malléable à cœur noir, W= malléable à cœur blanc).

Suivies d'un groupe de chiffres et des lettres, avec 3 variables possible	EN-GJ-500-7-U
---	---------------

Si ce groupe commence par un nombre, celui-ci indique la valeur minimale de R_m :

- S'il est suivi par une lettre, celle-ci indique le mode de production des échantillons d'essai (S = coulé séparément, U = attendant, C = prélevé sur une pièce) ;
- S'il est suivi d'un tiret et d'un autre nombre, celui-ci indique la valeur minimale de l'allongement à rupture A% ; il est alors suivi d'une lettre indiquant le mode de production des échantillons d'essai. Un nouveau tiret suivie de deux lettres indique éventuellement le domaine de température ou doit être déterminée la résistance à la flexion par choc (RT = température ambiante, LT = basse température) ;
- Si ce groupe commence par la lettre H, la fonte est classée par sa dureté ; la lettre qui suit précise le type d'essai de dureté (B = Brinell, V = Vickers, R = Rockwell), et le nombre qui suit indique la gamme de la dureté.

Désignation symbolique	Désignation alphanumérique	Ancienne norme NF A 02-001
Foutes grises ordinaires à graphite (non alliées)		
EN-GJL 100	EN-JL 1010	-
EN-GJL 250	EN-JL 1040	FGL 250
Fontes grises à graphite sphéroïdal (non alliées)		
EN-GJS 350-22-RT	EN-JS 1014	FGS 350-22
EN-GJS 1400-1	EN-JS 2040	FGS HB 185
Fontes malléables à cœur noir		
EN-GJMB 300-6	EN-JM 1110	MN 300-6
EN-GJMB 800-1	EN-JM 1200	MN 800-1
Fontes malléables à cœur blanc		
EN-GJMW 350-4	EN-JM 1010	MB 350-4
Fonte blanche		
EN GJN X Ni-Cr-4-2	-	FBC Ni4Cr2 HC

Exemples de désignation

- ✓ **Fonte blanche** : FB Cr12MoNi fonte blanche de 12% de chrome, contenant de molybdène et du nickel.
- ✓ **Fonte grise à graphite lamellaire** : FGL 300 fontes grises à graphite lamellaire de résistance à la traction minimale 300MPa.
- ✓ **Fonte grise à graphites sphéroïdaux** : FGS 600-2 fontes grise à graphite sphéroïdal de résistance à la traction 600MPa et de 2% de valeur minimale de l'allongement à rupture.

3. Elaboration et désignation de l'acier

3.1. Elaboration des aciers

3.1.1. Principe de la métallurgie d'élaboration

L'acier peut être obtenu

- a) A partir de la fonte d'une 1ère fusion élaborer en haut fourneau
- b) A partir des déchets d'acier récupérer

3.1.2. Fabrication de l'acier à partir de la fonte

- Action combiner de la chaux et de l'oxygène de l'air qui traverse la masse de la fonte en fusion procédé « **BESSEMER** »
- Action combiner de la chaux et de l'oxygène d'un oxyde de fer mélangés à la fonte maintenue en fusion procédé « **MARTIN** »

3.1.3. Fabrication de l'acier à partir de la ferraille

Les ferrailles sont fondues ensemble. On prélève, après fusion complète une éprouvette dont on 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 impuretés sous forme de laitier.

3.1.4. Différents procédés d'élaboration des aciers

- **Procédé BESSEMER** : oxydation de carbone par l'oxygène de l'air

Le procédé Bessemer est un procédé 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 breveta 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.

- **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 nécessaires à l'obtention des aciers s'efforçant de provoquer leurs mélanges intimes, afin d'obtenir un alliage homogène, ce procédé, long et coûteux, et réservé à la fabrication des aciers à outils.

☞ Fabrication de l'acier au four électrique : l'acier peut être obtenu au four électrique :

Comme au four martin

Par oxydation du carbone de la fonte au moyen d'un oxyde de fer

Par mélange et fusion de ferraille et de fonte

Comme four à creusets : la chaleur nécessaire à la fusion est fournie par l'électricité

- Chaleur à l'arc électrique (four à induction)

- Chaleur développée par le passage du courant dans la masse métallique (four à induction)
- **Procédé THOMAS** : le même que celui de **BESSEMER** (utiliser pour traitement des fontes phosphoreuses)
- **Fondant** : la composition du fondant essentiellement de la nature de la gangue : une gangue argileuse nécessite un fondant calcaire et inversement, les fondants permettent d'éliminer la gangue sous forme de laitier fusible
- **Laitier** : obtenue par l'action du fondant sur la gangue, plus léger que la fonte, ils se rassemblent à la partie supérieure du métal en fusion et ils sont évacués par un orifice situé à la partie supérieure du creuset au fur et à mesure de leur production
- **Gangue** :
 - Argileuse : elle contient du silicate d'aluminium
 - Calcaire : elle contient du carbonate de calcium plus rarement
 - Impuretés : sont les (Si, P, Mn, ...etc.)

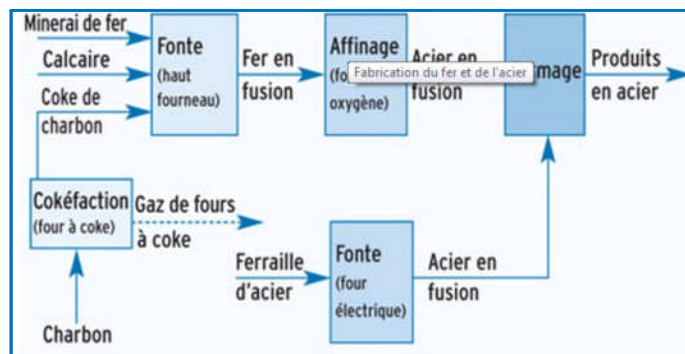


Fig 4. Convertisseur Thomas exposé à Dortmund et synoptique de l'élaboration.

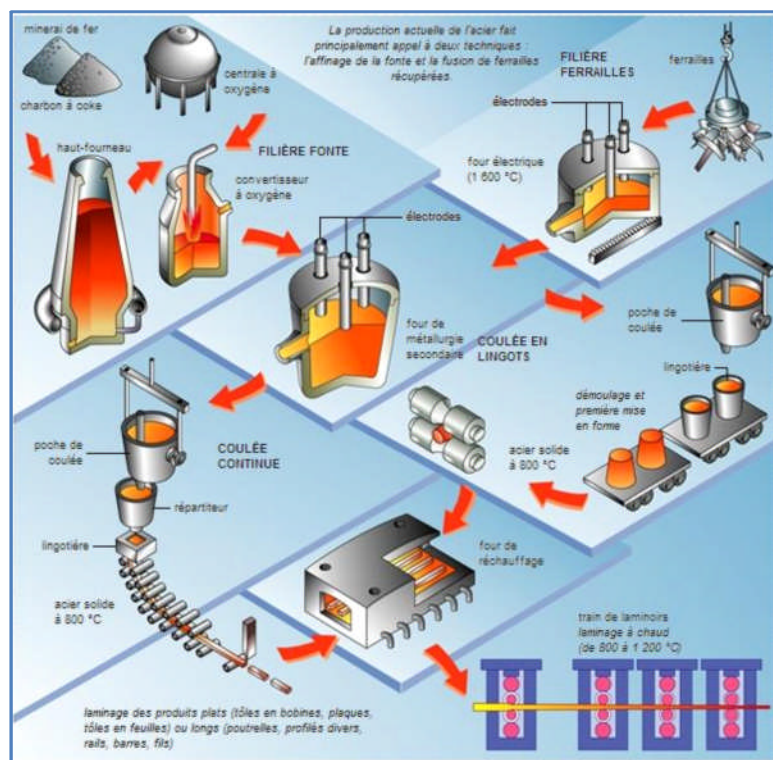


Fig. 5. Elaboration de l'acier

3.2. Désignation des aciers

Outre les désignations commerciales propres aux producteurs, la désignation des alliages métalliques fait l'objectif de normes européennes, qui se sont substituées aux anciennes normes nationales, AFNOR pour la France (parfois encore utilisées à tort). Des correspondances avec des normes internationales sont données souvent que possible dans ce chapitre. Les teneurs utilisés pour exprimer les compositions sont toujours les pourcentages massiques des différents constituants.

3.2.1. Désignation symbolique par emploi

Elle commence toujours par une lettre majuscule. Les aciers désignés par leur emploi ne présentent pas de garantie d'aptitude aux traitements thermiques.

La lettre est suivie par des indications chiffrées relatives à des caractéristiques d'usage de l'acier, notamment ses caractéristiques mécaniques : limite d'élasticité R_e , résistance à la traction R_m ou dureté.

Lettre	Signification	Exemple
B	Acier pour béton ; lettre suivie d'un nombre à 3 chiffre indiquant la valeur minimale de R_e en Mpa.	B500
C	Acier non allié apte au traitement thermique (voir désignation par composition chimique).	DC04
E	Acier pour construction mécanique ; lettre suivie d'un nombre à 3 chiffres indiquant la valeur minimale de R_e en MPa.	E360
G	Acier moulé ; lettre-préfixe, suivi d'une désignation symbolique complète normale.	G15CrMoV6
P	Acier pour appareils à pression ; lettre suivie d'un nombre à 3 chiffres indiquant la valeur minimale de R_e en MPa.	P235
S	Aciers de construction d'usage générale ; lettre suivie d'un nombre à 3 chiffres indiquant la valeur minimale de R_e en MPa ; Suivi éventuellement de symboles	S185

3.2.2. Désignation symbolique par composition chimique

Aciers non alliés : ils ont une teneur en manganèse à 1 %, à l'exclusion des aciers de décolletages.

Lettre C ; Suivie d'un nombre égal à 100 fois le pourcentage de teneur en carbone.	C60
---	------------

Les teneurs de ces aciers en divers éléments conseillés comme des impuretés, ne doivent pas dépasser des limites définies par la norme NF EN 10020. **Aciers faiblement alliés** : la teneur de chaque élément d'alliage est inférieure à 5 % ; aciers non alliés de teneur en manganèse supérieure à 1 % ; aciers de décolletage, à l'exclusion des aciers rapides.

Nombre égale à 100 fois le pourcentage de teneur en carbone ; - Suivi des symboles chimiques des éléments d'alliage dans l'ordre des teneurs décroissantes ; - Suivi de nombres séparés par un trait d'union, égaux aux pourcentages de teneurs des principaux éléments d'alliage dans l'ordre décroissant, multipliés par un facteur spécifique (tableau 10.2) et arrondis à l'unité la plus proche.	42CrMo
---	---------------

Les pourcentages des éléments d'alliage minoritaires ne figurent pas forcément dans la désignation mais sont précisés dans la norme de définition de la nuance concernée

Elément d'alliage	Facteur	Elément d'alliage	Facteur
Cr, Co, Mo, 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 :

La teneur d'au moins un élément d'alliage est supérieure ou égale à 5 %, à l'exclusion des aciers rapides.

Lettre X ; Suivie d'un nombre égal à 100 fois le pourcentage de teneur en carbone. Suivi des symboles chimiques des éléments d'alliage dans l'ordre des teneurs décroissantes ; Suivi de nombres séparés par un tiret, égaux aux pourcentages de teneurs des principaux éléments d'alliage dans l'ordre décroissant (sans facteur multiplicatif).	X6CrMo17-1
---	-------------------

Aciers à outils (aciers « rapides ») :

La dénomination « acier rapide » est une abréviation de l'expression « acier pour outil d'usinage à vitesse rapide ».

Lettres HS (High Speed) ; - Suivies de 4 nombres séparés par un trait d'union, égaux et pourcentages de teneur des éléments (dans l'ordre) tungstène W, molybdène Mo, vanadium V, cobalt Co	HS7-4-2-5
--	------------------

Exemples de désignations symboliques et numériques des aciers. Correspondance approximative avec les anciennes normes NF et avec les nuances étrangères (FD A 35-610).

Désignation symbolique	Désignation numérique	Ancienne norme NF	Nuance USA approchante
Désignation par emploi			
E295	1.0050	A50	-
S355	1.0060	A60	-
Aciers non alliés			
C10E	1.1121	XC10	1010
C22E	1.1151	XC18	1017
C25E	1.1158	XC25	1025
Aciers inoxydables ferritiques			
X2CrMoTi 29-4	1.4592	Z2CDT29-04	S44735
X6Cr13	1.4000	Z6C13	403

4. Elaboration et désignation des alliages d'Aluminium

4.1. Extraction de l'alumine à partir de la bauxite : 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 » où le français Pierre Berthier découvrit ce minerai en 1821. La bauxite contient l'élément aluminium sous forme d'oxyde hydraté $Al_2O_3 \cdot n H_2O$ (n étant égal à 1, ou 3), également de la silice (SiO_2), de l'oxyde de titane (TiO_2) et de l'oxyde de fer(III), Fe_2O_3 .

Transformations physiques de la bauxite pour augmenter la surface de contact en vue du traitement par la solution d'hydroxyde de sodium.	Bauxite rouge : Pourcentage en masse pour une bauxite de l'Hérault : Al_2O_3 hydraté (composé utile) 54 Fe_2O_3 20 SiO_2 (composé gênant*) 4 TiO_2 3 H_2O 19
	Concassage
	Broyage : Taille des grains inférieure à 0,3 mm.
Transformation chimique de l'oxyde d'aluminium $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ insoluble en aluminat de sodium soluble ($Na^+, [Al(OH)_4(H_2O)_2]$), par action d'une solution d'hydroxyde de sodium.	Autoclave à 250 °C et 40 bars Attaque de la bauxite par une solution d'hydroxyde de sodium concentré.
	Refroidissement à 100 °C.
	Décantation , filtration de la suspension. Solution d'aluminat contenant des solides non dissous, (boues rouges composés essentiellement de Fe_2O_3 , TiO_2 et alumino-silicate insoluble).
Hydrolyse des ions aluminates solubles en hydroxyde d'aluminium(III) insoluble, $Al(OH)_3(s)$.	Forte dilution de la solution d'aluminat de sodium en bacs de précipitation de 4500 m ³ . L'hydrolyse dure 2 jours environ : l'hydroxyde d'aluminium(III) précipite. Il est nécessaire d'ajouter une amorce d'hydroxyde solide afin de créer des germes de cristallisation.
	Filtration puis concentration du filtrat (récupération de l'hydroxyde de sodium).
Décomposition de l'hydroxyde d'aluminium(III) en oxyde anhydre : l'alumine Al_2O_3 .	Calcination à 1000 ou 1200°C

4.2. Production d'aluminium par électrolyse de l'alumine : principe

Il n'est pas possible de réduire l'alumine par des réducteurs industriels tels que le carbone, le monoxyde de carbone ou le dihydrogène car l'aluminium est très réducteur. L'industrie fait appel à la réduction à la cathode d'un électrolyseur, moyen très puissant de réduction.

Mais l'oxyde d'aluminium(III) ne peut pas être réduit en solution aqueuse car l'aluminium est plus réducteur que l'eau et c'est cette dernière qui serait réduite au lieu de l'ion aluminium(III).

Par ailleurs, l'oxyde d'aluminium(III) est difficilement fusible comme toutes les espèces à structure ionique (ions Al^{3+} et O^{2-}). On s'en sert même comme revêtement réfractaire (température de fusion de 2045°C).

Dans l'industrie, un mélange fondu de plus de 90 % de cryolithe (Na_3AlF_6) et de 7 % d'alumine est électrolysé. Ce mélange est beaucoup plus fusible que l'alumine pure

(température de fusion de l'ordre de 1000 °C). L'électrolyse de ce mélange ne consomme pratiquement que l'alumine et le carbone de l'anode qui réagit avec le dioxygène formé. On note néanmoins une consommation d'environ 30 kg de cryolithe par tonne d'aluminium.

En simplifiant, l'équation de la réaction correspondant à l'électrolyse peut s'écrire :

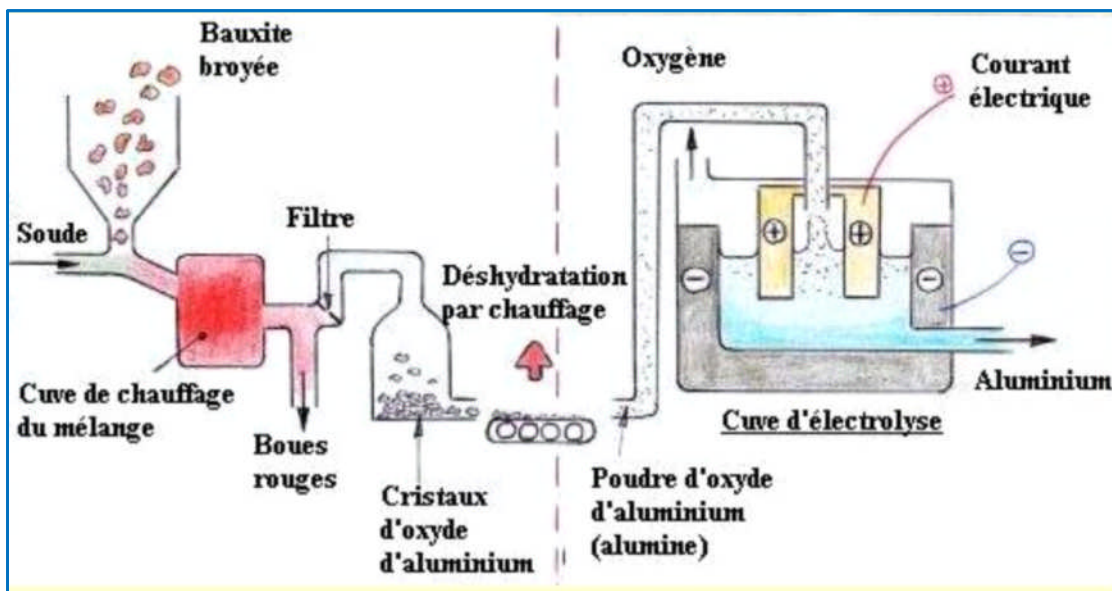
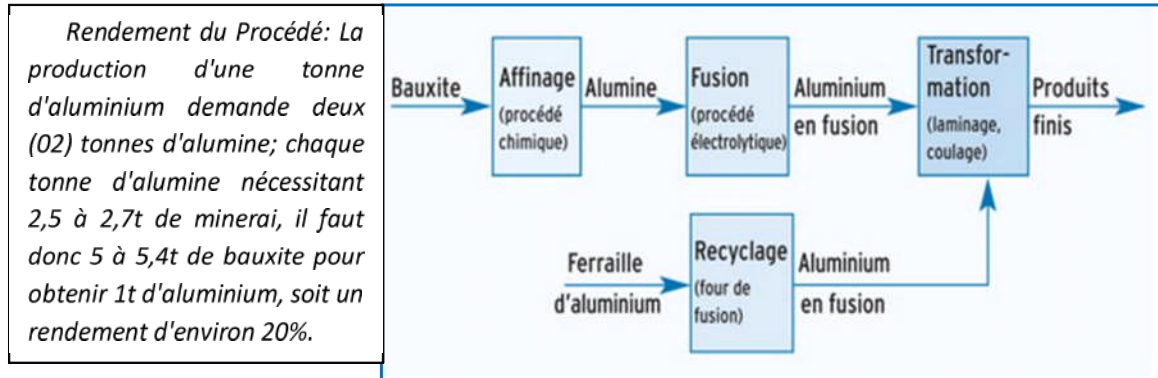
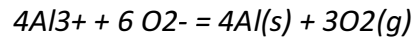


Fig. 6. Processus de production de l'Aluminium

4.3. Désignation numérique des alliages d'Aluminium

Préfixe EN suivi d'un espace ;

Suivi de la lettre A (qui représente l'aluminium ; Suivi de la lettre C-(Cast= moulé) suivi d'un tiret ; Suivi d'un nombre à 2 chiffres qui représente le groupe et sous-groupe d'alliages (le premier de ces deux chiffres a sa signification indiquée dans le tableau suivant 10.5) ; Suivi d'un nombre à 3 chiffres qui est un numéro d'ordre arbitraire attribué nuance par la norme.

ENAC-42200

Tableau 10.5 : Groupes d'alliages d'aluminium

Groupe	Aluminium ou alliage d'aluminium
1	Aluminium non allié (teneur >= 99.00%)
2	Aluminium-Cuivre
3	Aluminium-manganèse
4	Aluminium-silicium

Désignation symbolique

Préfixe EN suivi d'un espace ; Suivi de la lettre A (qui représente l'aluminium ; Suivie de la lettre C-(cast= moulé) suivi d'un tiret ; Suivi de symbole chimique des éléments d'addition suivis chacun de leur teneur en pourcentage massique, dans l'ordre décroissant.	ENAC-ALSi7Mg0.6
---	------------------------

Les pourcentages des éléments minoritaires ne figurant pas forcément dans la désignation, mais sont néanmoins précisés dans la norme de définition de la nuance concernée.

Tableau 10.6 Exemples de désignations symboliques et numériques des alliages d'aluminium de fonderie. Correspondance avec la norme NF A 02-004.

Désignation numérique	Désignation symbolique	Selon NF A 02-004
EN AC-21000	EN AC-AlCu4MgTi	A-U4GT
EN AC-41000	EN AC-ALSi2MgTi	A-52GT
EN AC-42000	EN AC-ALSi7Mg	A-57G
EN AC-42100	EN AC-ALSi7Mg0.3	A-57G0.3

Alliages d'aluminium- produits Corroyés**Désignation numérique**

Préfixe EN suivi d'un espace ; Suivi de la lettre A (qui représente l'aluminium) ; Suivie de la lettre W-(wrought = corrigé) suivi d'un tiret suivi d'un nombre à 4 chiffres;	ENAW-1070
---	------------------

Désignation symbolique

Elle est destinée à compléter et expliciter la désignation numérique, placée entre crochets à la suite de celle-ci.

Symbole chimique de l'élément de base AL ; Pour le groupe 1, suivi du pourcentage de pureté exprimé avec une ou deux décimales, et éventuellement du symbole chimique de l'impureté principale ;	AL99.0Cu
Pour les autres groupes, suivi des symboles chimiques des éléments d'addition suivis chacun de leur teneur en pourcentage massique, dans l'ordre décroissant.	ALSi2Mn

Tableau 10.7 : exemples de désignations symboliques et numériques d'alliages d'aluminium de corroyage.

Désignation numérique [symbolique]	Ancienne norme
EN AW-1100 [AL 99.0Cu]	A0
EN AW-1050 [AL 99.0]	A5
EN AW-1070 [AL 99.7]	A7
EN AW-1199[AL 99.99]	A99

5. Elaboration et désignation du cuivre

Le cuivre n'est présent dans l'écorce terrestre qu'à la concentration moyenne de 55 parties par million. Il n'existe plus dans la nature à l'état natif, comme dans l'antiquité. Il se

présente sous forme de sels contenant 30 à 90 % de cuivre, eux-mêmes mélangés aux stériles et quelquefois 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 derrière l'aluminium devant largement le zinc, le plomb, le nickel et l'étain

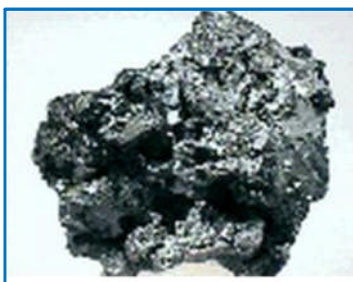
5.1. Matières premières

Le cuivre n'est pas un élément rare, sa fréquence dans l'écorce terrestre est de l'ordre de 1%. 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 **chalcoppyrite**, sulfure contenant à l'état juxtaposé, ou à l'état solution solide ou même de composé $\text{Cu}_2\text{S} - \text{FeS}_2 - \text{FeS}$, la **chalcosine** Cu_2S et dans une moindre mesure la **bornite** Cu_5FeS_4 .

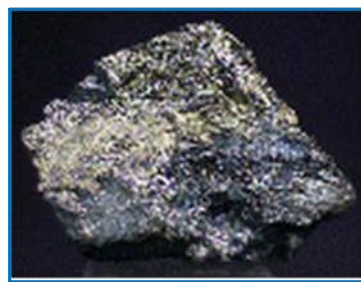
Lorsque ces minerais primaires ont pu réagir avec l'air et l'eau, ils se sont transformés en oxydes, en hydroxydes ou carbonates qui constituent des **minerais secondaires** tels que principalement la **malachite** CuCO_3 , $\text{Cu}(\text{OH})_2$, l'**azurite** CuCO_3 ,



Chalcosine



Malachite



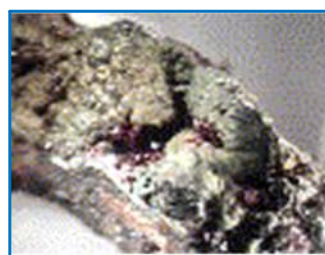
$\text{Cu}(\text{OH})_2$ et la **cuprite** Cu_2O .



Azurite



Cuprite



Bornite

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