REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de Technologie

Mémoire de fin d'étude de Master

Filière : Génie Mécanique
Spécialité : Ingénierie des matériaux et des surfaces

Rôle du phosphore sur les propriétés mécanique et la micro structure des fonte graphite lamellaire FGL20

Présenté par :

Chergui Ismail

Laamari Slimane

Proposé et Dirigé par :

MR : El mohri abdennour

Promo 2019

Nous dédions ce Travail à

Nos chers parents, Nos chères Sœurs et Frères, Nos Familles

A tous Nos Enseignants et Nos Collègues de la Section Ingénierie des matériaux et des surfaces

A tous Ceux qui Nous Aimes

IsmailETSlimane

Remerciements

Nous remercions notre créateur Allah, Grand et Miséricordieux, le tout puissant pour le courage qu'il nous a donné pour mener ce travail a terme.

Nous remercions aussi chaleureusement tout l'ensemble du personnel d'Ingénierie des matériaux et des surfaces, nos professeurs Dr .MOHRI. Nous remerciensMr Mahmoud seghir aissa et Md ben choucha F

Pourses orientations et son précieux conseil.

Nous remercions l'équipe de UNITE DE POVAL DE BERROUAGHIA.

Nous remercions du fond du cœur, nos famillesnos parente et nos amies qui nous ont soutenues

Encouragées et motivées toute au long de ce travail.

Finalement, nous remercions tous nos collègues, pour leurs orientations.

Chapitre I : Elaboration de la fonte.

Introduction générale……. 1

I-1 Introduction …….. 3

I-2 Historique ……..3

I-3 Technique d'élaboration et désignation de la fonte ……...4

1-3-1 Matières premières ……4

1-3-1-1 Minerai ……..... 4

1-3-1-2 Le coke..... 5

1-3-1-3 Les fondants ……..... 5

1-3-2 Eléments d'additions principaux de la fonte…….. 6

I-3-3 Principaux fontes de 1ère fusion…….. 7

I-3-3-1 Fontes brutes de moulage……..... 8

I-3-4 Fontes de deuxième fusion……. 9

I-3-4-1 Fontes normales…….....9

I-3-4-2 Fontes spéciales ……10

I-3-5 Composition de la Fonte……10

1-4 Types de Fontes……11

I-4-1 Fontes blanches……11

I-4-2 Fontes grises……..12

1-4-2-1 Fonte FGL (Fonte à graphite lamellaire)……...12

1-4-2-2 Les principales qualités des fontes FGL sont……13

1-4-2-3 Fonte FGS (Fontes à graphite sphéroïdal)……..13

1-4-2-4 Structures des fontes à graphite sphéroïdal……...13

1-5 Utilisations des fontes……. 13

1-6-1 Fours et procédés……14

1-6-1-1 Le four à induction……15

1-6-1-2 Les fours électriques……19

1-6-1-3 Le cubilot……21

Chapitre II : Rôle et Norme des éléments d'addition dans la fonte

II Rôle et Norme des éléments d'addition dans la fonte …… 22

II-1 Eléments d'additions…… 22

II-1-1 Eléments alphagènes…….. 22

II-1-2 Eléments gammagènes ……22
II-1-3 Eléments carburigènes ……22
II-1-4 Eléments graphitisants ou anticarburigènes……..22
II-2 Le rôle des éléments additions …….. 23
II-2-1 Influence des éléments Normaux …….. 23
II-2-2 Influence de carbone…….... 24
II-2-3 Influence de Silicium…….....24
II-2-4 Influence de manganèse……...27
II-2-5 Influence du soufre……..... 27
II-2-6 Influence de Phosphore……..... 28
II-3Défaut de fonderie ……. 30
II-3-1Définition……... 30
II-3-2 Principaux Défauts de Fonderie……..... 30
II-3-2-1 Retassures……...30
II-3-2-2 Soufflures …….....31
II-3-2-3 Malvenu 31
II-3-2-4 Trempe inverse …….....32
II -3-2-5 Inclusion métallique d'origine étrangère 33
I1-4 Norme de la composition chimique des éléments de la fonte 34
I1-4-1 Norme AFNOR …….....34
1I-4-2 La norme ASTM…….....34
1I-4-3 La norme DIN 35
II-5 Norme de la propriété mécanique 36
II-5-1 Selon AFNOR 37
II-5-2 Selon DIN 37
II-5-3 Selon ASTM 37
Chapitre II : Investigation et contrôle de qualité sur la fonte FGL (poval)
III Elaboration des fontes FGL 20 (POVAL) …….....38
III-1-1 Les étapes d'élaboration de la fonte…….....38
III-1-2 Préparation du lit de fusion…….....40
III-1-2-1 Exemple de lit de fusion pour la fonte FGL20…….....40
III-1-3 Fusion des charges…….....41
III-2 Préparation de lit fusion poval…….....42

III-2-1 La fonte élaborée…….....42

III-2-2 Le lit de fusion…….....42

III-2-2-1 Calculs de lit de fusion…….....43

III-3 Investigation et contrôle des compagnes de fonte FGL 20(POVAL) 45

III-3-1 Etude de la composition chimique et propriété mécanique de FGL 20(POVAL) 45

III-3-1-1 Influence du phosphore sur la résistance mécanique et la Dureté.....46

III-3-2 Contrôle de la qualité des compagnes FGL 20 (POVAL) 48

III-3-2-1 Les pièce essentiel de problème de fonte 49

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I-1 type des minerais.....4

Chapitre II

Tableau 1I-1 L'action graphitisant ou antigraphitisant des éléments chimique.....23

Tableau II-2 Structure –composition massivité de pièce moulée.....25

Tableau II-3 Représente la composition chimique de 2 fontes selon la norme afnor.....34

Tableau II-4 Représente la composition chimique des fontes selon norme ASTM.....35

Tableau II-5 Comparaison des normes selon DIN EN (nouvelles) et DIN (anciennes).....35

Tableau II-6 Représente la composition chimique des fontes selon norme DIN.....36

Tableau II-7 Propriété mécanique selon la norme AFNOR.....36

Tableau II-8 Propriété mécanique selon la norme AFNOR.....37

Tableau II-9 Propriété mécanique selon la norme ASTM.....37

Chapitre III

Tableau III-1 Composition chimique de la fonte élaborée.....42

Tableau III-2 Les pourcentages des constituants de lit de fusion de la fonte élaboré.....42

Tableau III-3 Compositions chimiques des constituants du lit de fusion.....43

Tableau III-4 Les pourcentages totaux de C et Si et MN de lit de fusion.....43

Tableau III-5 Le bilan total des additifs de lit de fusion.....44

Tableau III-6 Composition chimique et propriété mécanique FGL20.....45

Tableau III-7 Influence du phosphore sur résistance mécanique et la Dureté.....46

Tableau III-8 La compagne de la pièce cadre 850 réduire 48

Tableau III -9 La compagne de la pièce tampon 850 réduire.....49

Liste de figure

Chapitre I

Figure I-1 Schéma de principe d'un haut-fourneau.....5
Figure I-2 Opérations d'élaboration de la fonte de moulage.....8
Figure I-3 Le diagramme fer-carbone 10
Figure I-4fonte a graphite lamellaire.....12
Figure I -5 Schéma descriptif d'un four à induction à creuset.....17
Figure I-6 Four à résistance rayonnant.....18
Figure I-7 Schéma descriptif d'un four à arc électrique.....19
Figure I-8 Schema descriptif d'un four cubilot……..20

Chapitre II

Figure II-1 Influence de Si sur les points critiques **C, E, S**.....25
Figure II-2 Relation structure composition-massivité de pièce moulée.....26
Figure II-3 Effet du P sur la formation du stéadite d'une fonte grise lamellaire.....29
Figure II-4 Effet du P sur la Dureté.....29
Figure II-5 Défaut de Retassures.....31
Figure II-6 Défaut de Soufflures.....31
Figure II-7 Défaut de remplissage (malvenu).....32
Figure II-8 Défaut de trempe inverse.....32
Figure II-9 Inclusion métallique d'origine étrangère **……**33

Chapitre III

Figure III-1 Photo de parc à ferrailles.....38
Figure III-2 Photo de l'aiment remplissage.....38
Figure III-3 Photographie de four de fusion à induction de capacité 12T.....39
Figure III -4 Influence du phosphore sur résistance mécanique 47
Figure III -5 Influence du phosphore sur la Dureté 47
Figure III -6 Compagne de la pièce cadre 850 réduire (choc). 49
Figure III -7 La compagne de la pièce tampon 850 réduire.....50
Figure III -8 La compagne de la pièce tampon 850 réduire (choc).....50

الملخص

يتمثل عملنا في دراسة تأثير العناصر الكيميائية الطبيعية و لا سيما تأثير علي الخواص الميكانيكية اثناء تطوير الزهر الرمادي الرقائقي FGL 20 التي اجريت علي التقارير السابقة علي مستوي خدمة مراقبة الجودة في (POVAL) حيث يمكننا ان نستنتج ان التركيب الكيمائي وخاصة الفوسفور لها علاقة مباشرة في زيادة هشاشة الزهر و تترجم الي زيادة الصدمة

الكلمات الرئيسية حديد الزهر الرمادي

Résume

Notre travail consiste à étudier l'influence des éléments chimiques normaux, en particulier l'effet du phosphore sur les propriétés mécanique au cours de l'élaboration de la fonte grise lamellaire FGL 20 (POVAL). Des investigations déroulés sur des compagnes précédentes au niveau de service de contrôle qualité ; nous a permet de déduire qu'un taux excessif enregistré en relation directe avec la composition chimiquenotamment la teneur du phosphore. L'augmentation de ce dernier cause une fragilité pour les pièces en fonte grise lamellaire FGL 20, qi se traduit comme rebut de choc

Mots clés : fonte grise lamellaire

Abstract

Our work consists in studying the influence of normal chemical elements, in particular the effect of phosphorus on the mechanical properties during the development of FGL 20 gray flake iron (POVAL). Investigations carried out on previous companions at the quality control service level; we can deduce that an excessive rate recorded in direct relation to the chemical composition including the phosphorus content. The increase of the latter causes fragility for the FGL 20 lamellar cast iron parts, which is translated as shock scrap.

Keywords: gray cast iron

Introduction générale :

La fonte est un terme générique pour une série d'alliages principalement de fer, de carbone et de silicium. D'autres éléments avec petites quantités tels que le manganèse, le soufre et le phosphore peuvent servir à plusieurs études.

On peut distinguer plusieurs types de fontes (grises à graphite lamellaire, grise à graphite sphéroïdale, blanche, etc.…), et ce, selon la composition chimique de la fonte, sa microstructure et la forme de graphite.

La fonte FGL est utilisée pour la fabrication de disques de freins, contrepoids (chariot élévateur), pour la réalisation d'éléments de chauffage, particulièrement ceux de haut de gamme.

La fonte FGL est incontournable pour la réalisation des plaques de cheminée et d'inserts de cheminée.

La fonte FGL est utilisée pour la fabrication de conduites et de tuyaux. À l'exclusion, depuis quelques années, des conduites de gaz de ville car elle est trop cassante vis-à-vis des sollicitations du trafic des véhicules lourds et particulièrement lors de l'utilisation de rouleaux compresseurs à vibration par les travaux de voirie.

Avec le carbone, le silicium, le manganèse et le soufre, le phosphore est traditionnellement considère comme l'un des cinq éléments normalement présent dans la fonte grise.

Le phosphore a une solubilité limitée dans l'austénite, ca qui diminue en augmentant la teneur en carbone.

L'augmentation de phosphore dans la fonte grise augmente la quantité de l'eutectique phosphoreux qui augmente les propriétés mécaniques et augmente la dureté et abaisse la température eutectique.

Notre étude principalement consacre sur l'effet de phosphore comme un élément d'alliage sur la fonte FGL et étude de la problématique de l'influence de phosphore dans la fonte.

Le présent manuscrit est composé principalement de trois chapitres engendrés par une introduction et une conclusion générale.

Introduction Générale

Une recherche bibliographique sur l'élaboration des fontes qui résulte essentiellement une généralité sur les fontes tel que l'élaboration, et qui parle sur les éléments d'addition principaux de la fonte, et les types des fontes et les types des fours.

Le deuxième chapitre est consacré au rôle des élémentsd'additiondans la fonte et les normes (AFNOR, ASTM, DIN), et aussi les défauts de fonderie.

Le troisième chapitre est consacre au elaboration des fontes FGL20 (POVAL), préparation de lit de fusion .Et dans le partie pratique nous avons suivi l'influence de phosphore sur le fonte FGL à travers des investigations et contrôle des compagnes précèdent de fonte FGL 20 dans l'unité fonderie POVAL au Berrouaghia.

I-1Introductions :

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[1].

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].

I- 2 Historique :

La fonte fut découverte en chine durant la période des Royaumes combattants (IV^{6} siècle av. J.-C.). En Europe, c'est durant le XIX^{e} siècle que la fonte prit place dans l'économie, par l'intermédiaire du «procédé indirect» (production de fer au haut-fourneau avec obtention de la fonte en produit intermédiaire).

La fonte était produite dans des hauts-fourneaux à charbon de bois. Abraham Darby, qui était torréfacteur à l'origine, réussit à produire de la fonte à l'aide de coke (le « coke » que l'on écrivit plus tardivement : coke de l'anglais, to coke, cuire). En1709, en utilisation du charbon peu soufré, il réalise la première coulée de fonte au coke, dans son usine de Coalbrookdale. Mais le produit, réputé de moins bonne qualité que la fonte au bois, mit cinquante ans avant de s'imposer et de devenir l'un des produits majeurs de l'industrialisation. Entre 1777 et 1779, Abraham Darby III édifia le pont d'ironbridge, à coalbrookdale, le premier pont enfonte de

l'histoire européenne. La production de fonte au bois persista néanmoins pour partie en raison du protectionnisme pratiqué par les pays producteurs (France, Allemagne), en partie en raison de la qualité attribuée à ce type de fonte et des réticences de certains maîtres de forge[1].

1-3 Technique d'élaboration et désignation 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-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 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:

- 1ére fusion de l'utilisateur : coulée destinée à être utiliser dans 2eme fusion.
- 2ème utilisateur : exécution de grosse pièce par coulée directe dans les moules.
- 3éme utilisateur : fabrication de l'acier[2].

1-3-1Matières premières :

Comme il a été mentionné que les matières premières destinées pour l'élaboration en 1er fusion de la fonte sont :

➢ Le minerai de Fer. ➢ Le coke. ➢ les fondants.

1-3-1-1 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) hématite Fe2O3 et magnétite Fe3O4.
- fer + oxygène + hydrogène (les hydroxydes).
- fer + oxygène + carbone (les carbonates).
- fer + soufre (les sulfures) [2].

Tableau I-1 :type des minerais[2].

Type de minerai	Désignation chimique	formule	Teneur en fer en %	Gisements exploités
Magnétite	Protoxyde fer	Fe3O4	60-70	Espagne, Algérie, Allemagne, Suède, Norvège, U.S.A, U.R.S.S
Fer oligiste, hématite rouge	Oxyde de fer anhydre	2 Fe2 O3+3 H2 O	40-60	Inde, Ispagne, Angleterre, U.S.A,
Fer volithique hématite brune ou limonite, ou minette	Oxyde de fer hydraté	2 Fe2O3+3H2O	20-45	France, Allemagne
Fer spatique (sidérose)	Carbonate de fer	FeCO3	30-45	France, Espagne, Allemagne
Pyrite	Sulfure de fer	F2 S2	25-50	Espagne,

1-3-1-2 Le coke :

Généralement plus de 90% des fontes sont produites avec du coke. Le coke est obtenu par cokéfaction de la houille. Selon les variétés de la houille utilisée le coke est constitué de:

- 78 -83% carbone ;
- 8 - 11% sandre ;
- 2 - 6% H20 ;
- 0,8- 1,2% Soufre ;
- 2 - 3% éléments volatils.

Le rôle du coke dans le haut fourneau est :

- Fournir la chaleur nécessaire pour la marche du processus du haut fourneau.
- Réduction du fer et des oligo-éléments de leurs liaisons dans le minerai et en même temps carburation du fer.
- Ameublir la charge dans le haut fourneau afin d'avoir une bonne perméabilité aux gaz, grâce à sa grande résistance à l'écrasement[2].

1-3-1-3 Les fondants :

Les fondants sont utilisés dans la charge du haut fourneau pour réduire la température de fusion de la gangue, pour la scarification de la soudure du coke et enfin pour l'obtention du laitier fluide ayant une bonne capacité d'absorption du soufre et du phosphore, ces deux derniers éléments sont indésirables dans la composition de la fonte. Comme fondants on utilise le plus souvent le calcaire Ca C03 et très rarement la délimite MgC03xCa C03[2].



Figure I-1 : Schéma de principe d'un haut-fourneau

1-3-2 Eléments normaux dans de la fonte :

Nous donnons, ci-dessous, quelques indications spécifiques des principaux éléments contenus dans les fontes.

- **Silicium** : élément graphitisant de base dans les fontes grises (%<3) qui diminue la solubilité du carbone à l'état liquide dans l'eutectique et solide dans l'austénite. Il augmente la réfractivité des fontes et leur tenue à certaines corrosions ;
- **Manganèse** : empêche la graphitisation et renforce les liaisons atomiques entre le fer et le carbone dans la cémentite ;
- **Soufre** : est un clément nuisible qui dégrade les propriétés mécaniques de la fente Il abaisse la coulabilité et contribue à la formation de soufflures dans les pièces moulées.
- **Phosphore** : Élément faiblement graphitisant, le phosphore est une impureté des minerais ferreux qu'on élimine le plus possible par oxydation en présence de laitier basique. Son action fragilisant se manifeste dès les plus faibles teneurs dans les aciers et les fontes. Dans les fontes grises, il apparaît sous forme de Fe3P qui constitue les cristaux d'eutectique phosphoreux. En effet, pour les teneurs supérieures à 0,3 %, il se forme ainsi un réseau dur favorable à la résistance à l'usure. Si les teneurs en C et Si ne sont pas trop élevées, il améliore la coulabilité[3].

Avantage 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 [2].

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].

I-3-3 Principaux fontes de 1ère fusion:

Elles sont obtenues directement au haut fourneau en traitant des minerais de fer (matières terreuses contenant une forte proportion d'oxyde de fer).

Ces oxydes de fer sont chauffés à haute température, par du coke métallurgique.Il s'opère une réduction des oxydes contenus dans le minerai, c'est-à-dire une désoxydation de ces oxydes, avec la mise en liberté du métal qui les composaient par l'oxyde de carbone, fourni par la combustion du coke.

On recueille, dans la partie inférieure du haut fourneau, appelé creuset, un alliage de fer et de carbone (à relativement haute teneur en carbone) la fonte.

Celle-ci est coulée dans des lingotières métalliques, des quelles on démoule, après solidification, des gueusets.

Le minerai n'est jamais pur, il contient des oxydes divers (oxydes de manganèse, oxydes de phosphore, silice, etc…..) les quels dans le haut fourneau sont réduits par le carbone, libérant les éléments composants (Mn, P, Si, etc…) que l'on retrouve dans la fonte.

De plus, le coke contient toujours un peu de soufre, dont une partie passe dans la fonte.En définitive, la fonte est alors un alliage carburé formé de fer, de silicium, de manganèse, de phosphore et de soufre sont dits composants normaux des fontes.

En plus des éléments normaux, certaines fontes produites par les hauts fourneaux, contiennent en proportions variables, mais généralement faibles, d'autres éléments, tel que le Cr, Ti…..

Les fontes produites par les hauts fourneaux, ont des compositions chimiques variables :

% C = 3 à 4,5% - % Si = 2 à 3,5% - % Mn = 0,5 à 1,2% - % P = 0,05 à 1,5%

- % S $\leq$ 0,06%.

Les hauts fourneaux produisent donc ce que l'on appelle des fontes de première fusion, sous le nom de fontes brutes destinées :

- soit vers des fonderies (ou elles seront refondues, afin d'être coulées dans des moules), il s'agit alors des fontes dites fontes brutes de moulage appelées également par les fondeurs fontes neuves ou fontes en gueusets.

  Soit vers les aciérés (afin d'être, transformées, après élimination d'une partie des éléments constituants, en aciers divers), il s'agit alors des fontes dites, fontes brutes affinage[2].

I-3-3-1 Fontes brutes de moulage :

Vendus par les hauts fourneaux sous forme de gueuses, elles sont utilisées pour la constitution des charges métalliques enfournées au four de fusion fonderie.

Elles sont classées en fonction de leur teneur en phosphore[2] :

- hématite P< 0,2%
- semi hématite P = 0,2 à 0,5%
- semi – phosphoreuse P = 0,5 à 1%
- Cleveland P = 1 à 1,4%
- Phosphoreuse P> 1,4%

Une fonte hématite :

% C = 3,6 à 3,8% % Si = 3 à 3,5% % Mn = 0,6 à 0,75% % P = 0,1 à 0,3%

% S ≤ 0,04%.

Afin de bien comprendre la fabrication il est indispensable de présenter le schéma des opérations tel qu'il peut se présenter pour l'élaboration des fontes et des aciers moulés dans une fonderie moderne (figure I-2) [4].

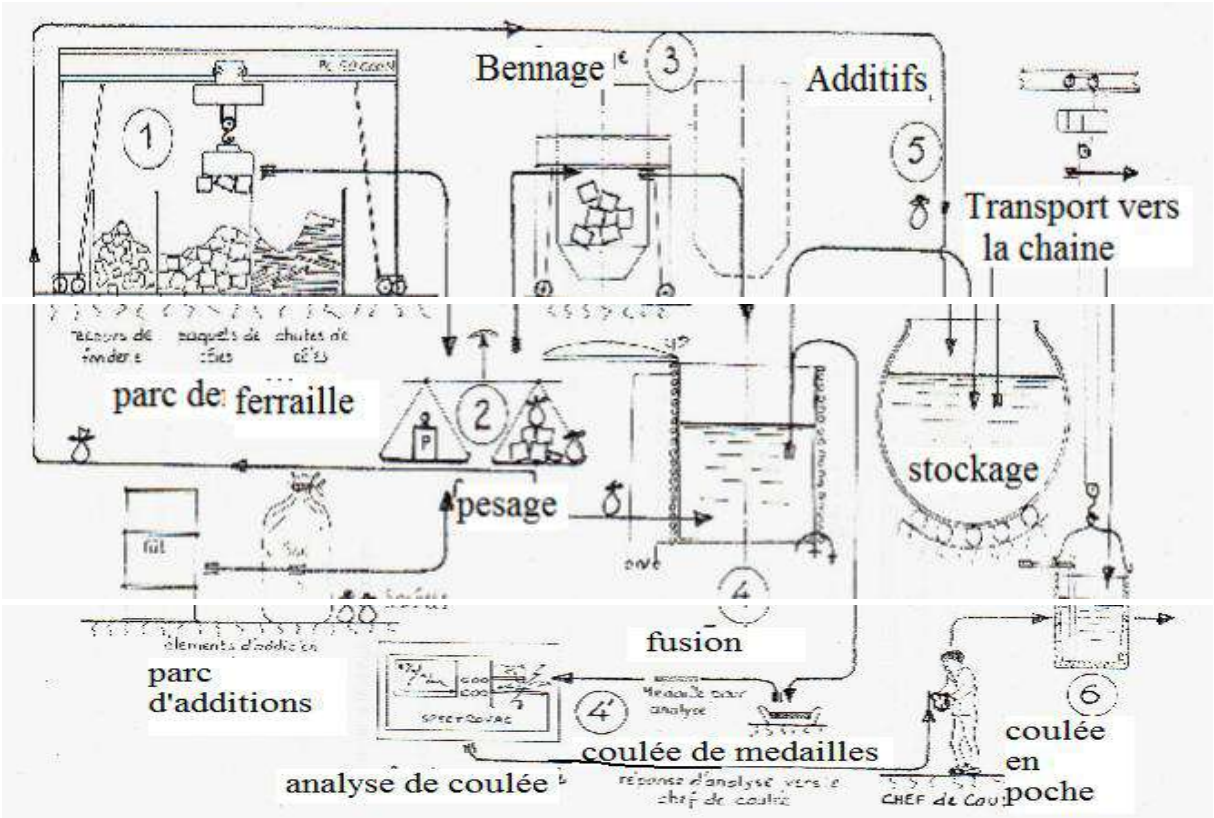


Figure I-2. Opérations d'élaboration de la fonte de moulage

On distingue les étapes suivantes :

1. Préparation des matières premières (ferrailles + additions),
2. Pesage précis,
3. Bennage des ferrailles vers les fours de fusion,
4. Fusion au four à induction et analyse d'un prélèvement,
5. Additions dans la poche de coulée et parfois nouvelle analyse d'un prélèvement,
6. Transport des poches de coulée vers la chaine de moulage

I-3-4 Fontes de deuxième fusion:

Par souci d'économie, les fondeurs utilisent des matières métalliques de récupération, c'est :

- les riblons d'acier
- les vieilles fontes ou bocages extérieurs.
- Les fontes de retour ou bocages intérieurs [2].

I-3-4-1- Fontes normales :

Elles sont constituées des «éléments normaux dont les proportions suivantes :

- Carbone: 3 à 3, 8%.
- Silicium: 0, 8 à 3%.
- Manganèse : 0,5 à 1%
- Phosphore : 0,2 à 1,6% ;
- Soufre : 0,08 à 0,12%.

I-3-4-2Fontes spéciales :

- fontes à composants normaux : Mn >1,5% ; Si >4%.
- fontes à composants spéciaux :

  Ni ≥0,3% ; Cr ≥0,3% ; Cu ≥0,3% ; Mo ≥0,1% ; V ≥0,1% ; Ti ≥0,1% ; Al ≥0,1%.

I-3-5Composition de la Fonte :

D'un point de vue chimique, les fontes sont des alliages fer-carbone contenant une phase eutectique, appelée lédéburite. Sur le diagramme de phase fer-carbone métastable, il s'agit donc des alliages fer-carbone ayant plus de 2,11 % de carbone (mais ce diagramme n'est plus valable en présence d'éléments d'alliage).

On distingue les différentes fontes par leur pourcentage de carbone. Dans le cas d'un alliage pur de fer et de carbone (cas théorique car la fonte contient toujours du silicium et du manganèse en quantités non négligeables), on relève les seuils suivants :

- Fonte hypo eutectique : de 2,11 à 4,3 % de carbone.

- Fonte eutectique : 4,3 % de carbone, cette fonte a la température de fusion la plus basse à 1 148 °C.
- Fonte hyper eutectique : de 4,3 à 6,67 % de carbone.

Les fontes cristallisent dans le diagramme fer-carbone métastable fer-cémentite (représenté ci-contre), bien que ce soit le graphite qui soit thermodynamiquement stable : la cémentite devrait se décomposer en

$$Fe3C \rightarrow 3Fe\alpha + C \text{ (graphite)}$$

Mais la mobilité des atomes de carbone n'est pas suffisante pour que cela ait lieu.

Diagramme stable (pointillés) superposé au diagramme métastable (traits pleins): la composition de la cémentite estFe_3C.

Le cas est différent pour les fontes qui ont une teneur plus importante en carbone, et peuvent ainsi cristalliser dans le diagramme fer-carbone stable : fer-graphite. La différence entre ces 2 diagrammes réside en premier lieu dans la vitesse de refroidissement : quand la vitesse de refroidissement est rapide, le carbone dissous dans le fer γ n'a pas le temps de migrer sur de grandes distances et forme des carbures Fe3C, la cémentite, sur place; alors que si la vitessede refroidissement est assez lente, le carbone peut se « rassembler » et former du graphite. Certains éléments comme le silicium permettent de favoriser la formation de graphite.

Sur le diagramme fer-carbone stable, l'eutectique est à une teneur de 4,25 % de carbone, et fond à une température de 1 153 °C.

On a donc deux types de fontes :

- Lesfontes blanches à cémentite.

-Les fontes grises à graphite[9].

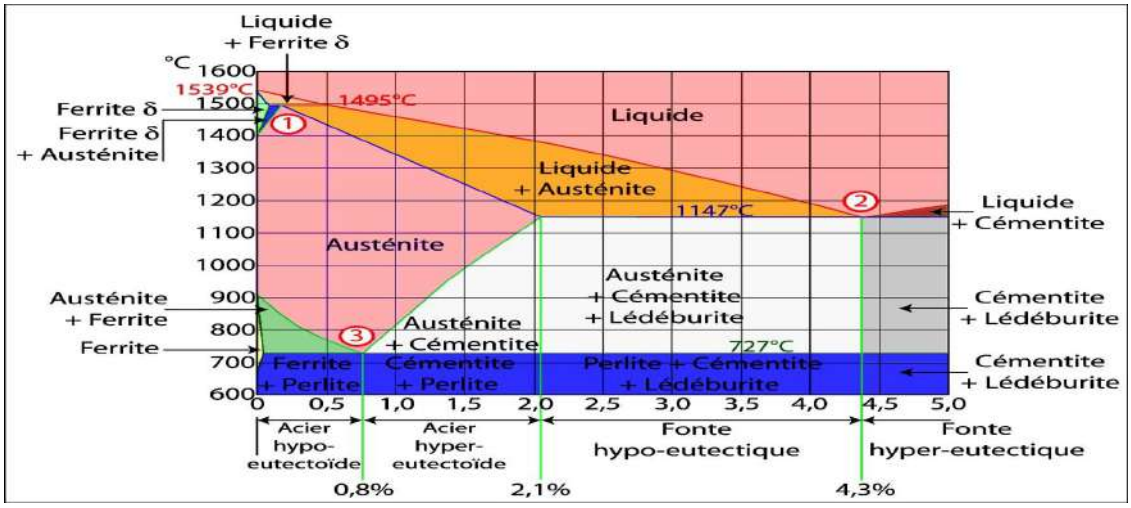


Figure I-3 . Le diagramme fer-carbone[10].

1-4 Types deFontes :

I-4-1 Fontes blanches :

Contient de 1,8 à 3,6% de carbone, de 0,5 à 1,9% de silicium et de 1 à2% de manganèse. Un taux de refroidissement rapide empêche la précipitation du carbone comme graphite. A la place, le carbone, qui est en solution dans la coulée, forme du carbure de fer (Fe3C, également désigne cémentite). La structure de la fonte blanche est constituée de perlite et de lédeburite (Fig. 4), un eutectique d'austénite et de cémentite. Les alliages durs au Ni (8-9%Cr, 5-6% Ni) ont une matrice martensitique avec des carbures de chrome. La fonte blanche présente une résistance àla compression élevée et les versions alliées montrent une bonne conservation de la résistance et de la dureté a températures élevées. En raison de ses grandes quantités de carbures,particulièrement lorsqu'elle est alliée, la fonte blanche montre une excellente résistance àl'usure et a l'abrasion. Elle est employée pour les buses de grenaillage, les rouleaux de laminoir, les broyeurs, les atomiseurs et les gaines de broyeurs a boulet. En trempant la fonte grise ou ductile sur l'extérieur et en la laissant refroidir lentement a l'intérieur, il est possible de produire des pièces avec une surface dure de fonte blanche et un cœur ductile (Trempe en coquille)[11].

I-4-2 Fontes grises :

Famille des fontes où le carbone se trouve sous forme de graphite. La structure graphitique du carbone est obtenue par un refroidissement très lent de la fonte, ou l'ajout de composants graphitisants comme le silicium. L'appellation de fonte grise est due à l'aspect de la cassure qui est grise contrairement à la fonte blanche dont la couleur de la cassure est blanche. Il existe des fontes dont l'aspect est gris et blanc, ce sont les fontes truitées[2].

Figure I-4 :

1-4-2-1 Fonte FGL (Fonte à graphite lamellaire):

C'est le type de fonte le plus employé. La structure d'une fonte grise est constituée par unematrice métallique contenant du graphite qui apparaît au microscope sous forme de lamelles Ce graphite peut également se présenter sous un aspect rayonnant autour d'un centre deCristallisation. Il est alors appelé « graphite en rosettes »[2].

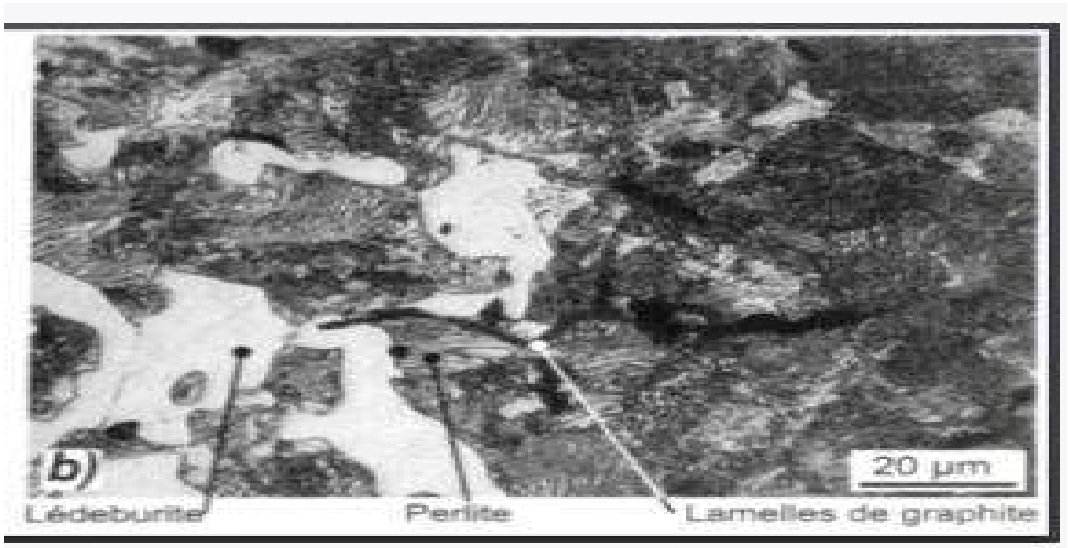


Figure I-4 fonte a graphite lamellaire

1-4-2-2 Les principales qualités des fontes FGL sont :

- facilité d'usinage.
- très bonne résistance à la corrosion et à la déformation à chaud.
- très bonne absorption des vibrations.
- stabilité dimensionnelle (réalisation de machine-outil silencieuse et stable géométriquement).
- Excellente coulabilité [2].

1-4-2-3Fonte FGS (Fontes à graphite sphéroïdal) :

Fonte dans laquelle le graphite se trouve sous forme de nodules (sphéroïdes). Cette microstructure particulière est obtenue par l'ajout de magnésium dans la fonte peu de temps avant le moulage. Le magnésium s'évapore mais provoque une cristallisation rapide du graphite sous forme de nodules. Cette microstructure lui donne des caractéristiques mécaniques proches de l'acier[8].

1-4-2-4Structures des fontes à graphite sphéroïdal :

La structure des fontes dépend des éléments d'addition et de la vitesse de refroidissement, ces paramètres dépendent fortement de l'épaisseur des pièces. Cette structure influence fortement les caractéristiques mécaniques.

On distingue :

- les fontes à matrice férritique.

- les fontes à matrice périlitique.
- les fontes à matrice austénitique
- . les fontes à matrice bainitique ou ADI[8].

Principales qualités des fontes GS :

- résistante
- ductile
- bonne coulabilité
- soudabilité

Principales utilisations :

- Pièces mécaniques : carter, chape de liaison, bras de suspension.
- Industrie automobile : pièce de liaison au sol (ex : bras de suspension).
- Canalisations, adduction d'eau[8]..

1-5 Utilisations des fontes :

La fonte est utilisée pour tout type de pièce mécanique. Pour leur majorité les pièces sont obtenues par coulée du métal liquide dans des moules en sable siliceux.

- La fonte, et particulièrement la fonte FGS, est très utilisée par l'industrie automobile pour la fabrication, par moulage puis usinage partiel, des blocs moteur, des étriers et chapes de frein à disque, des tambours de freins ou encore des volants moteurs, organes de suspension, arbre à came, vilebrequin etc.
- La fonte FGL est utilisée pour la fabrication de disques de freins, contrepoids (chariot élévateur), pour la réalisation d'éléments de chauffage, particulièrement ceux de haut de gamme.
- La fonte FGL est incontournable pour la réalisation des plaques de cheminée et d'inserts de cheminée.
- La fonte FGS est particulièrement utilisée en éléments de voirie comme les grilles et regards d'assainissement (grille d'égout)
- Les fontes FGS et FGL sont utilisées pour la réalisation de mobiliers urbains comme les bancs et les rambardes ouvragées (Bouches de métro Guimard), et en ornementation de bâtiments comme les appuis de fenêtre, les rosaces de portail, les pics de grille. Là, la FGS est appréciée pour sa soudabilité.
- La fonte FGL est utilisée pour la fabrication de conduites et de tuyaux. À l'exclusion, depuis quelques années, des conduites de gaz de ville car elle est trop cassante vis-à-

vis des sollicitations du trafic des véhicules lourds et particulièrement lors de l'utilisation de rouleaux compresseurs à vibration par les travaux de.

- La fonte FGL est préférée pour la réalisation des bâtis de machines-outils car elle a une très bonne capacité d'absorption des vibrations. Procède de fabrication [5].

1-6 Procédé de fabrication :

1-6-1Fours et procédés :

Il existe de nombreux types de fours utilisés en moulage des métaux. En voici quelques-uns parmi les plus courants :

1-6-1-1 Le four à induction :

Les fours électriques se sont développés en fonderie dès 1908 mais surtout depuis 1950 pour la fusion ou le maintien. Ils présentent des avantages spécifiques liés à l'utilisation de l'énergie électrique, propre, facile à mesurer et à réguler. En outre :

- les pertes au feu sont réduites et constantes,

- les risques d'oxydation et d'absorption des gaz très diminués, sauf en fours à arcs,

- l'obtention des hautes températures est plus facile, ce qui est favorable aux réactionschimiques d'affinage,

- Enfin, les nuisances au poste de travail et la pollution de l'environnement sont en générallimitées (sauf pour les fours à arcs bruyants et polluants), Mais l'énergie électrique est en général plus chère à l'emploi malgré le meilleur rendement des fours. Parmi les types des fours électriques, il existe les fours à induction à creuset, à moyenne ou basse fréquence.

La fusion est assurée par la circulation de courant électrique induit qui parcourt les ferrailles constituant la charge.

Le creuset est entouré par un solénoïde parcouru par un courant alternatif de haute fréquence qui crée un flux magnétique alternatif. Les variations de flux magnétique à travers la charge créent des courants électriques induits (courant de Foucault) qui génèrent la fusion. Du point de vue électrique, ces fours peuvent être assimilés à des transformateurs dont le secondaire, constitué par la charge, serait en court-circuit.

La pénétration des courants de Foucault à l'intérieur d'un conducteur étant d'autant plus faible que la fréquence est plus élevée (effet pelliculaire), la fréquence du courant doit être ajustée au diamètredu creuset.

Un four à induction se compose principalement des éléments suivants:

1) Le creuset :

Le creuset comporte un garnissage réfractaire destiné à recevoir la charge métallique autour du quel est montée une bobine inductrice refroidie à l'eau. Un système de rotation autour d'un axe situé près du bec de coulée permet de vidanger le four (figure 1). Les revêtements acides des creusets sont les plus fréquemment utilisés pour l'élaboration de la fonte et de l'acier. Ce type de revêtement à une bonne résistance aux chocs thermiques [13].

2) L'inducteur :

L'inducteur est schématiquement constitué par un tube de cuivre électrolytique très pur (faiblerésistivité) enroulé en bobine, dans lequel circule l'eau de refroidissement.

3) Les écrans magnétiques /ou culasses :

Pour réduire les fuites magnétiques et éviter l'échauffement de la carcasse métallique, desécrans magnétiques constitués généralement de fibres isolantes sont intercalés entre la bobineet la carcasse[13].

4) La carcasse :

Pour contenir les vibrations générées par les forces électromagnétiques, la bobine et les écranssont solidement fixés à l'intérieur d'une carcasse. Cette carcasse est constituée soit d'unevirole en tôle d'acier très résistant, soit d'une charpente métallique ajourée qui permet desurveiller l'état de la bobine. Le système de basculement actionné par un vérin est arrimé à lacarcasse[13].

5) Le couvercle :

Pour diminuer les pertes thermiques par rayonnement, les gros fours sont équipés decouvercles. Ces couvercles comportent une voûte en acier sur laquelle on dépose un garnissage réfractaire. Des systèmes plus ou moins sophistiqués permettent d'éclipser rapidement le couvercle. Certains fours sont également équipés de systèmes d'aspiration de fumées qui améliorent les conditions de travail[13].

6) Equipment annexes :

a. Captage des fumées :

Dans le cas des fours électriques à induction, les émissions de fumées polluantes sont beaucoup plus faibles que dans le cas des fours à arcs puisqu'il n'y a pas d'opération d'affinage qui génère les gros débits de CO et entraîne différents oxydes. Aussi les équipements retenus sont plus légers et moins coûteux. Ils comportent :

- soit une hotte de captage située au-dessus du four qui intègre le bec de coulée la zone dedécrassage et de chargement .
- soit une enceinte fermée incluant le système de chargement continu et la coulée en poche [13].

b. Décrassage :

Les gros fours à induction sont souvent équipés de manipulateurs de décrassage ou d'un bec de décrassage (diamétralement opposé au bec de coulée) qui permettent d'éliminer, rapidement et sans effort manuel, le laitier[13].

c. Systèmes de chargement et de préchauffage :

Les fours de fortes capacités sont souvent équipés de système de chargement continu avec bandes transporteuses et couloirs vibrants qui alimentent directement le four. Dans certains cas, un tunnel de préchauffage avec des brûleurs alimentés par du gaz naturel est placé au-dessus du couloir vibrant.

7) Installation de puissance électrique :

En marche courante, les fours alimentés en basse fréquence électrique (50 Hz en Europe)fonctionnent par transmission de la chaleur à partir du bain liquide. Il est donc nécessaire deconserver une partie du métal liquide de la coulée précédente (pied de bain).

L'utilisation d'une fréquence supérieure ou égale à 250 Hz (moyenne fréquence MF) est suffisante pour assurer l'amorçage sur charge solide. En plus de la flexibilité apportée par l'absence de pied de bain, la montée en fréquence permet d'augmenter la puissance spécifique des creusets, de diminuer la compensation de puissance réactive et de réduire les coûts d'investissements. Actuellement, la plupart des fours de fusion d'acier fonctionnent en moyenne fréquence.

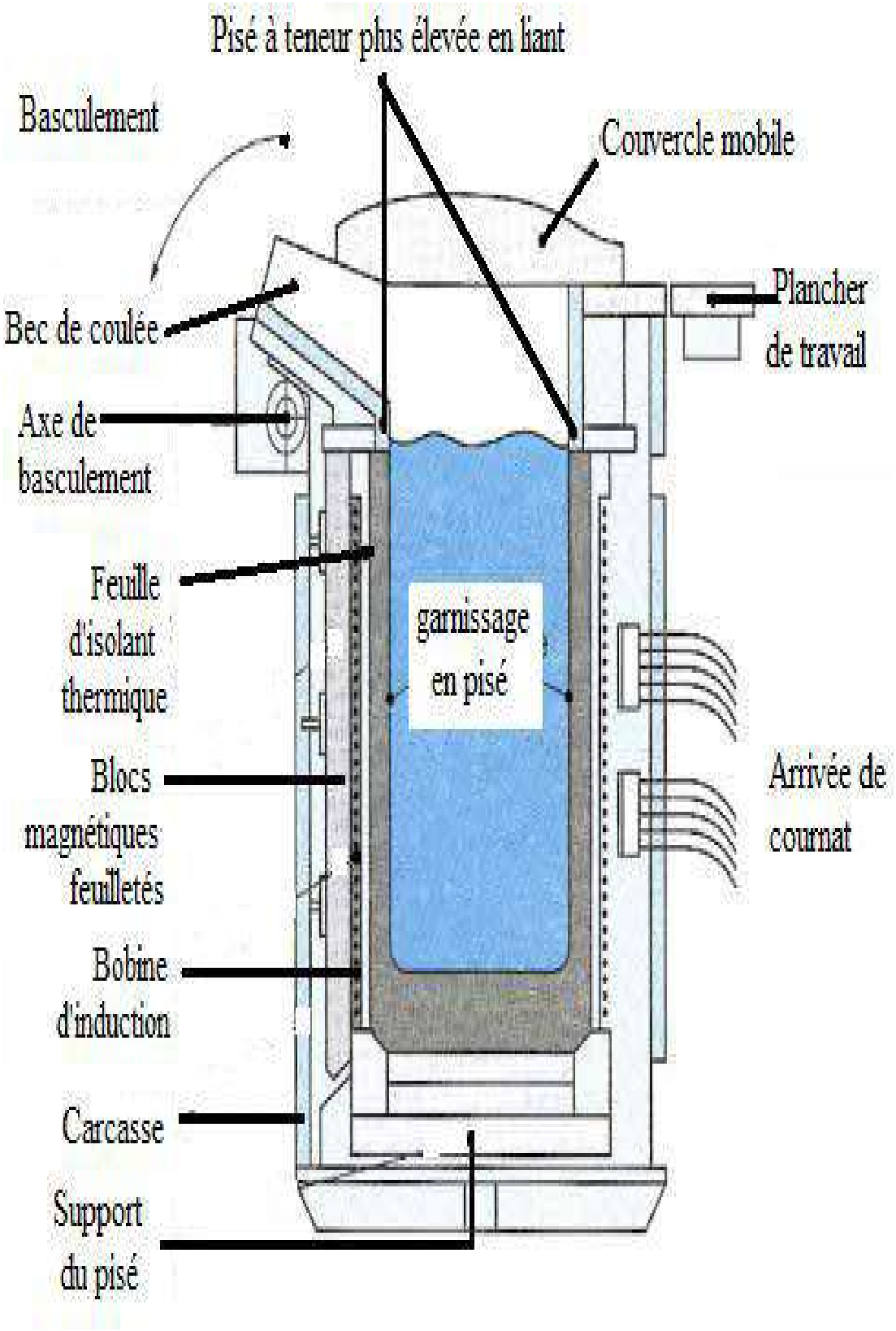


Figure I -5: Schéma descriptif d'un four à induction à creuset [13].

1-6-1-2 Les fours électriques :

Pour les fours électriques, il existe deux catégories : Les fours à résistance rayonnante où l'électrode en graphite est placée dans l'axe d'une cuve cylindrique, garnie d'un réfractaire. Les portes électrodes sont refroidies par eau. La consommation d'électrode est importante[13].

A) Four à résistance rayonnante (pas de présence de flamme) :

Le chauffage de la charge se fait par convection et rayonnement et conduction (réfractairemétal). Le rendement est élevé et on peut fondre en atmosphère neutre (pas de présence de flamme). Par contre l'usure rapide de l'électrode nécessite une régulation de la tension. Le chargement du four ne peut se faire que si l'électrode est enlevée. Les opérations métallurgiques sont très difficiles car il faut enlever l'électrode qui brûle très rapidement à l'air. La capacité de ces fours est faible : aux environs de 500 Kg.[5] Electrode en Graphite :

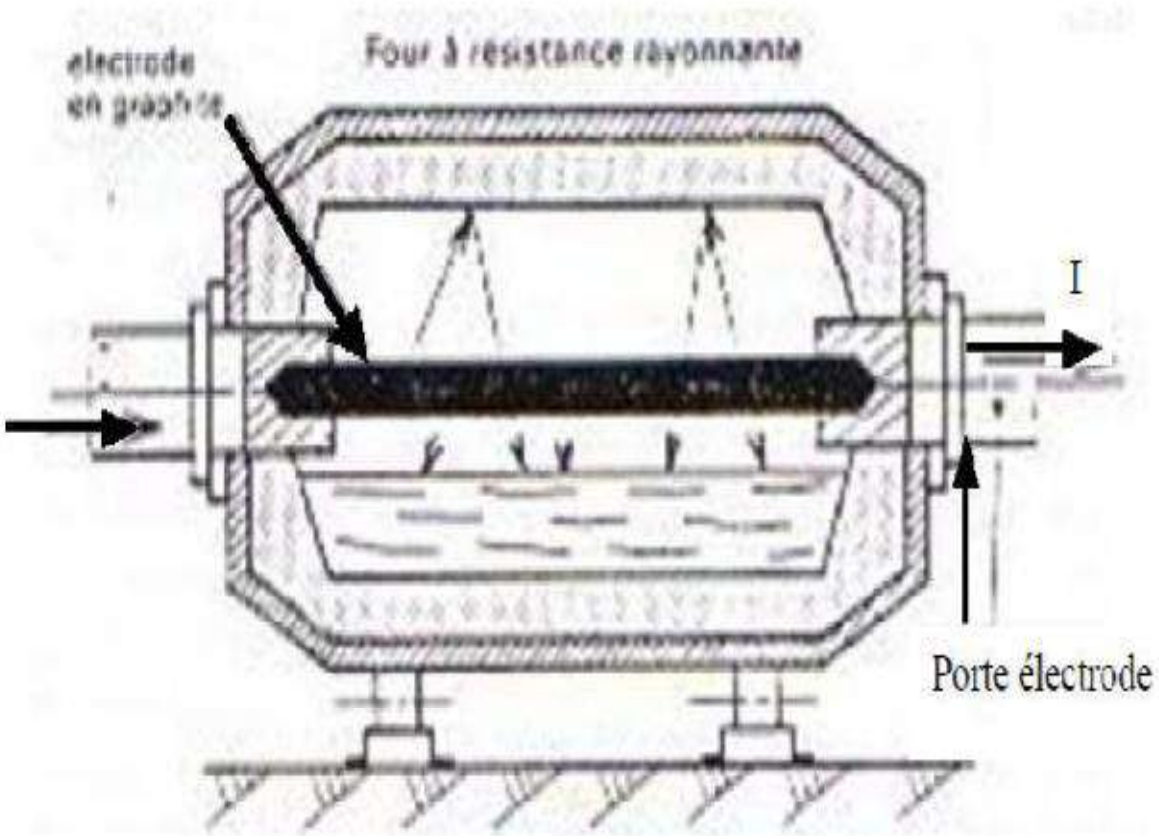


Figure I-6: Four à résistance rayonnant [13].

B) Four à arc électrique :

Ces fours sont composés : -d'un creuset métallique garni d'un revêtement réfractaire généralement basique. Diamétralement opposés sont le bec de coulée et la porte de travail (Chargement et décrassage) -d'une voûte en briques réfractaires, mobiles et comportant trois ouvertures pour le passage des électrodes -d'un dispositif de basculement pour la coulée du métal ou l'évacuation des laitiers de trois électrodes en graphite -d'un dispositif d'arrivée du courant et de régulation des électrodes pour équilibrage des phases pour un régime déterminé. -Les charges métalliques (composées de fonte liquide et de retours de fabrication) sont chauffées :

- Par rayonnement de l'arc électrique
- Par échauffement direct dû au passage du courant dans la masse métallique
- Par convection et réverbération de la voûte

La capacité de ces fours peut atteindre 25 T d'acier liquide [13].

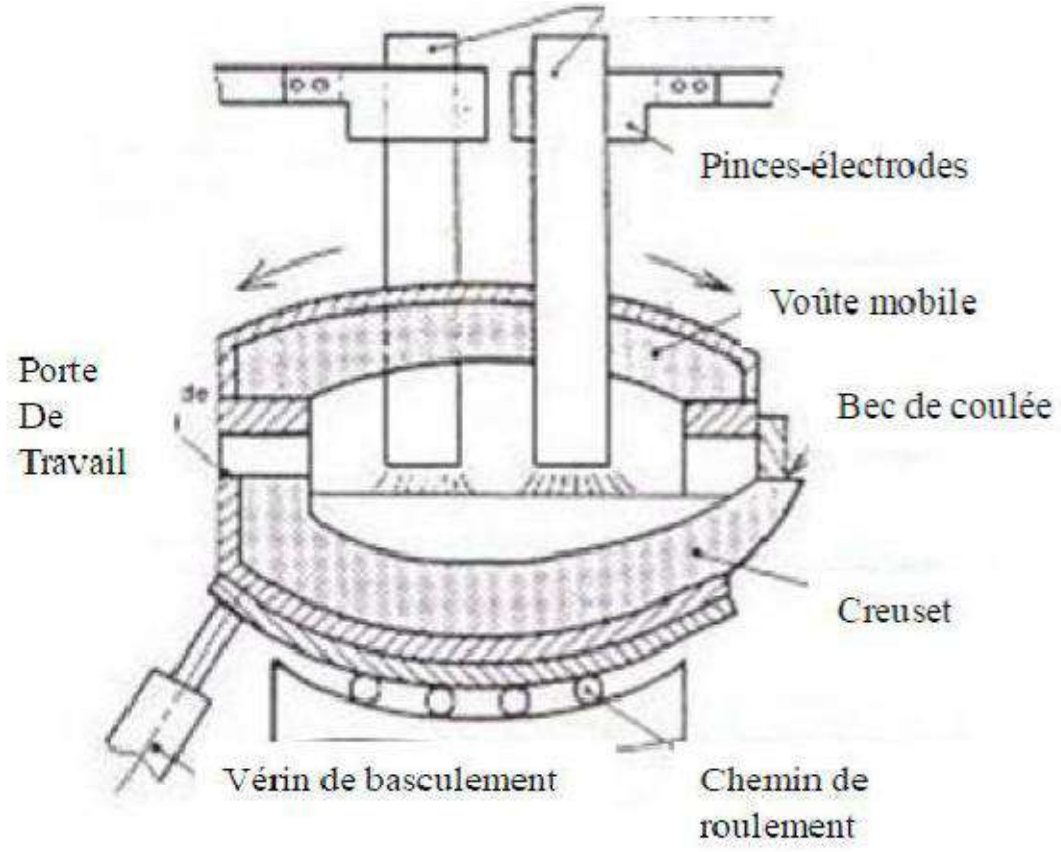


Figure I-7: Schéma descriptif d'un four à arc électrique [13].

1-6-1-3 Le cubilot :

Le cubilot est un four vertical, du type à cuve, dans lequel les matériaux à fondre sont en contact direct avec le combustible (figure I-2). C'est un appareil de fusion simple, de plus sont rendement thermique est d'environ 40%. Un cubilot est constitué des éléments suivants : -Une virole en tôle d'acier formant une colonne cylindrique qui repose sur une plaque d'assise. -Un gueulard qui est l'ouverture dans la virole, située à la partie supérieure de la colonne. -Les tuyères situées à la base de la colonne. Elles amènent l'air à l'intérieur du cubilot pour la combustion du combustible (Coke). Il existe des tuyères jumelées autodécrassantes. Des morceaux de métal encore pâteux obturent parfois les tuyères. En obturant cette tuyère, et en faisant passer l'air par l'autre tuyère, la tuyère encrassée se réchauffe et les matières non fondues reviennent à l'état liquide. -La boîte à vent est un espace annulaire qui permet la répartition de l'air dans les tuyères. Des orifices, face à tuyères disposées sur la boîte à vent permettent de suivre la fusion. -Le creuset est situé à la base de la colonne. Il reçoit l'alliage liquide. On appelle hauteur de creuset la distance qui sépare la sole

du trou de laitier. La capacité du creuset est proportionnelle à cette dimension [12].

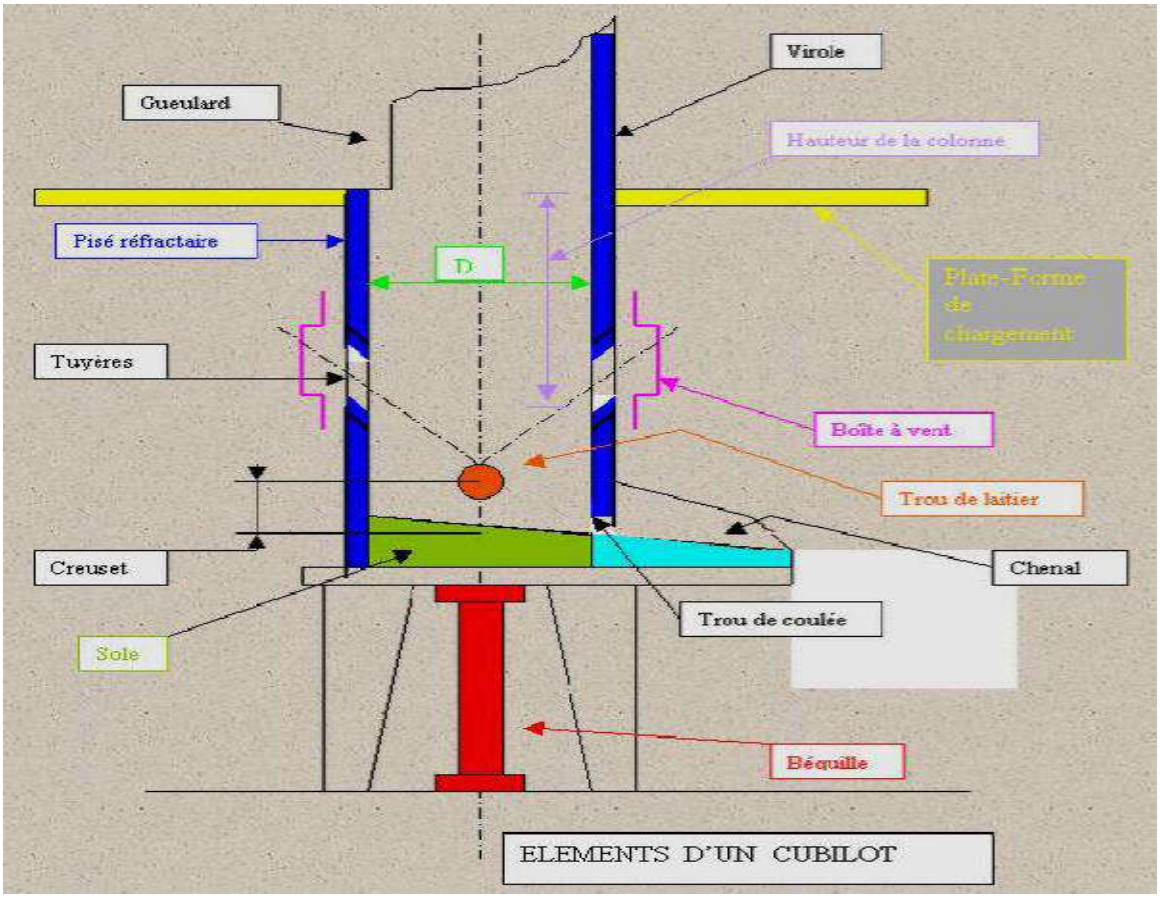


Figure I-8: Schémadescriptif d'un four cubilot [12].

-Le trou de laitier : Cet orifice est situé sous les tuyères et permet l'évacuation du laitier qui surnage le bain de fonte liquide dans le creuset. Son diamètre est d'environ

100 mm

-La sole constitue le fond du creuset. Elle est en sable de moulage.

-Le Trou de coulée est situé au niveau de la sole. Il est percé dans une brique réfractaire insérée dans le garnissage (ou obtenu en mettant un tube lors de la mise en place du réfractaire à l'intérieur du cubilot). Son diamètre est aux environs de 50mm. Le chenal de coulée fait suite au trou de coulée. Il est constitué de tôle garnie de briques plates. Le chenal est en pente et le plus court possible pour réduire la chute de température de la fonte. Le garnissage réfractaire est maintenu par la virole et l'ensemble constitue la colonne. Il est constitué de briques réfractaires de forme et réunies entre elles au moyen d'un coulis réfractaire liquide. Un espace entre les briques permet leur dilatation. Celui-ci est garni de sable siliceux. Les dimensions caractéristiques d'un cubilot sont le diamètre intérieur D et l'épaisseur du garnissage E. Si p est la production horaire par dm2 de surface de la zone de fusion, on a : P horaire = p x (лD2 / 4) p = 75 kg / dm2 pour un cubilot à vent froid.P horaire en kg = 75 x (лD2 / 4) ≈ 60 D2

Et d en dm = (√ p horaire en kg) / 60 Le garnissage est traversé par un flux de chaleur Q, en régime établi, Q = (λ / E) x (θInt. – θ exter.) λ : coefficient de conductibilité du garnissage. E : épaisseur du garnissage θ Int.: température intérieur (aux environs de 1750 °C) θ exter. : Température extérieure (aux environs de 120 °C) Si le garnissage est trop épais, il va s'échauffer, se ramollir et atteindre une épaisseur correspondant à son équilibre thermique. L'épaisseur est de l'ordre de 170 mm [12].

II-Rôle et Norme des éléments d'addition dans la fonte :

II-1 Eléments d'additions

II-1-1 Eléments alphagènes :

Qui stabilisent la ferrite et réduisent le domaine de l'austénite et accroissent le domaine de la ferrite du diagramme Fe3C. Citons : Cr, W, Mo, Va, Ti, Si, Al, P, Cu.

Ils forment une ferrite alliée dure et résistante.

II-1-2 Eléments gammagènes :

Qui stabilisent l'austénite et augmentent son domaine dans le diagramme Fe3C. Citons : Ni, Mn, Co, Pt, C Suivant leur affinité pour le carbone, on peut distinguer :

II-1-3 Eléments carburigènes :

Qui donnent avec le Fe des aciers et des fontes des carbures complexes, stables, durs ou de la cémentite alliée (Fe, X) 3 C. Ce sont presque tous des éléments alphagènes. Ce sont des éléments antigraphitisants. Citons : Mn, Cr, W, Mo, Va, Ti, Nb, B, N.

II-1-4 Eléments graphitisants ou anticarburigènes :

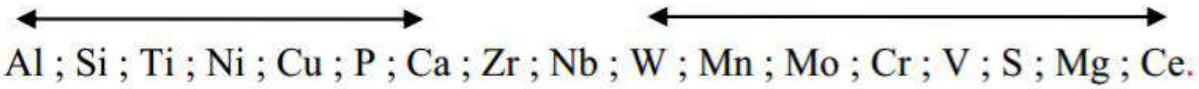
C'est-à-dire qui ont une faible affinité pour le carbone. Citons : Si, Ni, Al [4].

Les propriétés mécaniques de la fonte sont déterminées par sa structure, surtout par soncomposant graphitique. La fonte peut être envisagée comme un acier transpercé par du graphite qui joue le rôle des entailles affaiblissant la matrice métallique de la structure. Dans ce cas, les propriétés mécaniques dépendent de la quantité, de la grandeur et de la distribution des inclusions de graphite. La résistance de la fonte est d'autant plus grande que la quantité des inclusions graphitiques est plus petite, qu'elles sont plus fines et plus isolées. Lorsque les inclusions de graphite sont fines et tourmentées, les propriétés de la fonte sont bien meilleures. Les lamelles de graphite diminuent brusquement la résistance à la décohésion, la charge de rupture et tout particulièrement la plasticité de la fonte. Quelles que soient les propriétés de la matrice métallique, l'allongement à la traction de la fonte grise est pratiquement nul (pas plus de 0.5%).

II-2 Le rôle des éléments additions :

II-2-1Influence des éléments Normaux :

On classe les éléments chimiques selon leurs influences sur la graphitisation, on obtient lasérie approximative suivante :



A gauche : les éléments graphitisants.A droite : les éléments antigraphitisants.

Les deux éléments en milieu sont des éléments neutres :

L'action graphitisants ou antigraphitisants des éléments chimiques dépend de leur teneur ou leur quantité, et de la température de différentes réactions.

L'effet des éléments chimiques approximatif sur la graphitisation est donné au tableau suivant:

Tableau 1I-1:L'action graphitisant ou antigraphitisant des éléments chimique[14]

Zones	Si (<10% ; 22à 26) Al (<4% ; 18à 24)	Si (12 à 20%) Al (5 à 18%) Cr ; V ; Mn ; Mo ; W ; Mg (>0,01) Sb ; Ti (>0,12)	Ni ; Cu ; P ; Co (4 à 10%) Ce ; Mg (<0,021)	Zr ;Nb ; Sn ; Pb ; As ; B ; Ta
Proeutectique	+	-	+	0
Eutectique	+	-	+	0
Proeutectoide	+	-	+	0
Eutectoide	+	-	-	-
Posteutectoide	+	-	-	-

+ : graphitisants - : antigraphitisants

L'action graphitisant ou antigraphitisant des éléments chimiques dépend de :

- l'intensité des forces de liaison entre le fer, le carbone et l'élément d'addition.
- variation de l'intervalle eutectique (stable ou métastable).
- influence sur la translation des points critiques du diagramme et surtout la variation dela saturation de l'austénite en carbone.
- de leurs teneurs ou leurs quantités, et de la température de différentes réactions.

II-2-2 Influence de carbone :

La majeure partie du carbone présent dans la fonte grise se trouve sous la forme de graphite. Un accroissement de la teneur en carbone total entraine une augmentation de la quantité de graphite, d'où un abaissement de la résistance mécanique et de la dureté.

Donc la teneur en carbone d'une fonte grise doit d'autant plus basse que les résistances mécaniques recherchées sont élevées.

Le carbone améliore également la coulabilité de la fonte grise.

La quantité de graphite est proportionnelle à celle du carbone .donc l'étude de l'influence du carbone (sur les propriétés mécaniques de la fonte grise) nous ramène à l'étude de l'influence du graphite.

Notons, à ce sujet, que la caractéristique remarquable d'une fonte est sa facilité de mise en œuvre et ses remarquables propriétés de fonderie. Or les fontes à faible teneur en carbone (3%) rentassent considérablement en même temps que leur coulabilité diminue, et ce malgré l'amélioration de la résistance, c'est pourquoi, généralement on n'abaisse pas la teneur en carbone pour une fonte à moins de 2.8 [5].

II-2-3Influence de Silicium :

Le Si se dissout dans le fer γ avec plus de facilité que la carbone. Pour cette raison, on dit que le Si diminue la solubilité du carbone dans le fer γ. Donc il y a d'autant de graphite que la teneur est plus élevée, et pour cette raison encore le Si est dit élément graphitisant**.**
Le Si abaisse la T°C de transformation eutectique à l'état métastable, et augmente simultanément la T°C de transformation eutectique à l'état stable.

Influence de Si sur les points critiques **C, E, S**du digramme peut être représenté par la **Figure II-1**

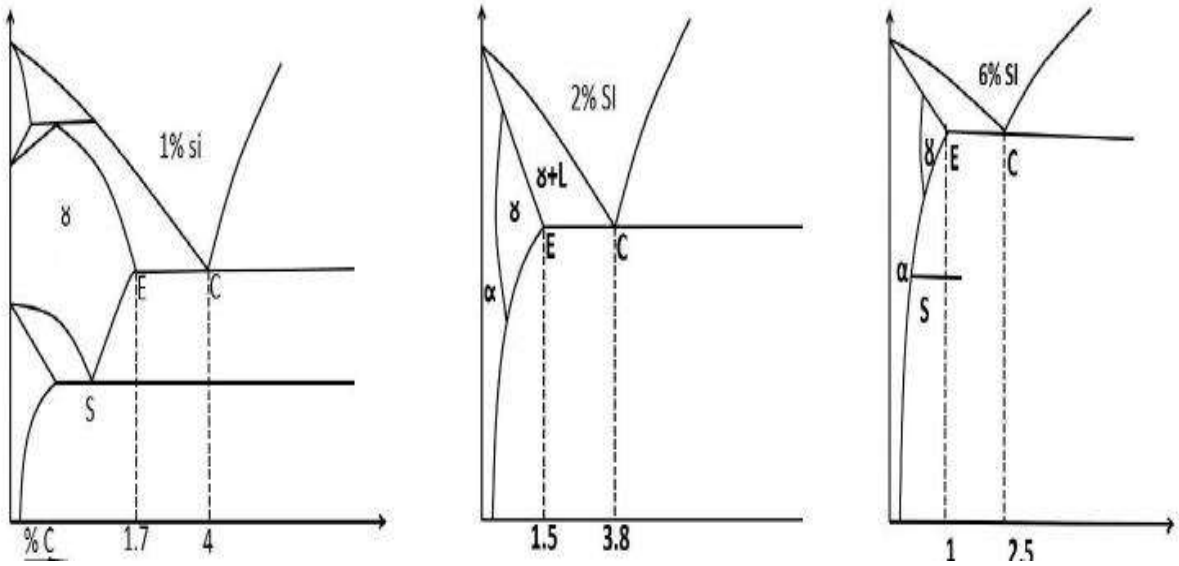


Figure II-1: Influence de Si sur les points critiques **C, E, S**[5]

Déplace les points critiques du diagramme du coté de basse teneur en C, et du coté de haute température c'est un élément alphagène.

La teneur en Si d'une fonte, doit donc être ''ajustée'' en fonction :

- de la teneur en carbone de la fonte
- de la vitesse de refroidissement des pièces moulées (épaisseur)

Le choix de la composition chimique en fonction de la structure se basse sur lesdiagrammes structuraux.**Diagramme de LAPLANCHE:**

Leur diagramme apporte une correction importante par rapport à celui de MAURER, les limites des domaines sont des courbes

Tableau II-2:structure –composition massivité de pièce moulée[5].

Zone	Type de fonte révélée par cassure	Constituants de la fonte correspondante
I	Blanche	Cémentite + perlite
II	Truitée	Cémentite + perlite + graphite
III	Perlitique	perlite + graphite
IV	Ferrite-perlitique	perlite + graphite + ferrite
V	Ferritique	graphite + ferrite

Constitué à présent le meilleur graphe de prédiction de la structure d'une fonte

Connaissant :

- le diamètre ou l'épaisseur de la pièce moulée ;
- les titres en C et Si.

Les graphes de LAPLANCHE **(Figure 8)** se rapportent à des fontes industrielles, non alliées, dont l'analyse reste comprise dans les limites suivantes :

C< 6% Si< 6% Mn = 0,6 à 0,8% S< 0,8% P< 0,12%

Les essais ont été effectués sur des éprouvettes cylindriques de diamètre croissant Ø= 6,10, 20, 35,48.

Des études préalables ont montré qu'une éprouvette cylindrique de Ø = 2r présente lamême surface spécifique de refroidissement qu'une plaque d'épaisseur e.

- on rappelle surface spécifique le rapport S / V de la surface au volume de la pièce moulée.
- une éprouvette se refroidit dans un moule comme la pièce moulée à produire si la surface

Spécifique de l'éprouvette égale la surface spécifique de la pièce moulée.

La structure obtenue dans l'éprouvette est alors significatif ou représentative de celle demoulage.

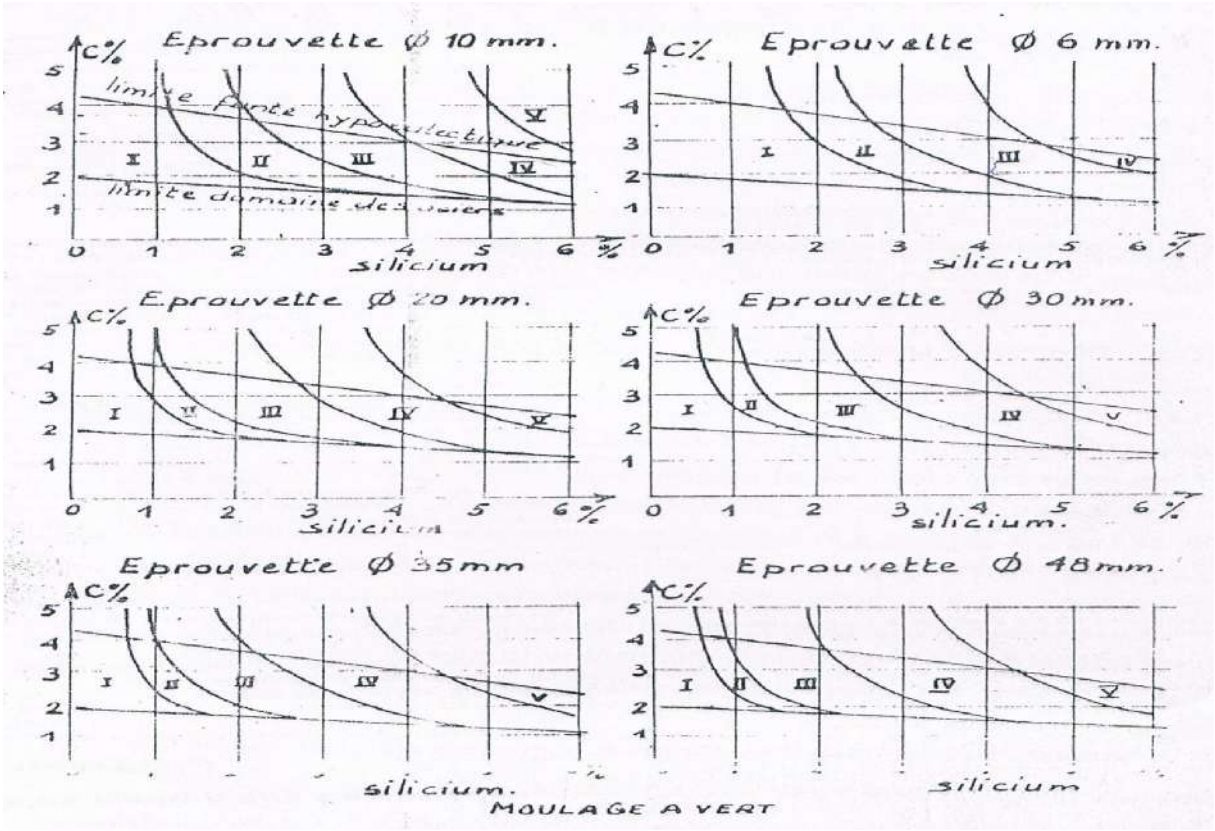


Figure II-2: relation structure composition-massivité de pièce moulée[5].

II-2-4Influence de manganèse :

Pour garantir des propriétés optimales, la fonte à graphite lamellaire doit contenir, outre une quantité minimale de soufre, une teneur optimale en manganèse.

Le manganèse est ajouté pour neutraliser l'action du soufre en formant du sulfure de manganèse MnS insoluble dans la fonte et inoffensif à l'état d'inoculation.

$Fe + S \rightarrow FeS$ $FeS + Mn \rightarrow Fe + MnS$

Plusieurs études ont démontré que la teneur optimale en manganèse est déterminée par la formule suivante :

%Mn = 1,72%S + 0,2 à 0,3

Tout écart par rapport à cette teneur optimale aura une influence sur la profondeur de trempe et les propriétés mécaniques de la fonte.

Lorsque cette teneur en manganèse dépasse cette valeur, il affine la perlite et augmente légèrement la dureté de la fonte.

Au-delà de 1%, il s'oppose à la graphitisation, c'est un antigraphitisant (il augmente l'intensité des forces de liaison entre le fer et le carbone).

Le Mn influe peu sur l'intervalle de température eutectique, mais abaisse la transformation eutectoide ($\gamma \rightarrow \alpha$), parce que le Mn est un élément gammagène (élargie le domaine de la solution solide γ c'est-à-dire de l'austénite[15].

2-2-5 Influence du soufre :

Le soufre provient du coke utilisé comme combustible, tant dans le haut fourneau, que dans le cubilot. Le coke contient 1 à 2% soufre.

Le soufre non combiné au manganèse joue un rôle très important lors de la naissance des lamelles de graphite pendant la solidification eutectique. Ce rôle est double :

a- lors de la croissance des germes de graphite :

Le soufre est un élément qui est absorbé à l'interface graphite-liquide, diminuant ainsi la solubilité du graphite dans le liquide. Les germes formés auront donc une tendance diminuée à disparaitre par dissolution.

Autrement dit, si la teneur en soufre est basse, beaucoup de germes vont disparaitre avant même que leur diamètre n'ait atteint le diamètre critique minimal.

Le nombre de cellules eutectiques sera très réduit avec, par conséquent, l'apparition de graphite de surfusion (type D) et une tendance élevée à la formation de carbures (points durs)Dans la structure.

b- lors de la croissance des lamelles :

Le soufre augmente la tendance à la croissance unidirectionnelle des lamelles, de sorte que la quantité de graphite qui se cristallise pendant la solidification eutectique sera résorbée à temps sans que les lamelles devront se ramifier d'une manière importante et présenter ainsi lastructure typique du graphite de surfusion. Nous constatons donc que, si la teneur en soufredans la fonte est trop basse, la tendance à la formation de graphite de surfusion augmentera

également pendant la période de croissance des lamelles.

Des recherches, et la mise en application pratique des résultats de ces recherches, ont démontré qu'une des conditions nécessaires à l'élimination de l'apparition de graphite de surfusion dans la structure de la fonte lamellaire est que la fonte contienne une teneur en soufre minimal de 0,06%.

Nous pouvons donc conclure que la fonte à graphite lamellaire doit contenir au moins 0,06% de soufre.

Des hautes teneurs en soufre (0,18%), peuvent provoquer dans des pièces d'épaisseur moyenne des soufflures[15].

II-2-6Influence de Phosphore :

Comme le Si, le P diminue la solubilité du C dans les fontes liquides et déplace les points critiques du côté de la basse teneur en C et haute T°C.

L'effet graphitisant du P est dû :

- ↑ L'intervalle eutectique.
- ↓ La solubilité du **C** dans les solutions solides γ et α.
- Influe très peu sur les forces de liaison entre le fer et le carbone.
- Le P se combine facilement au fer pour donner un phosphure de fer, de formule Chimique Fe3P, le quel forme :
- Avec le fer, un eutectique phosphoreux binaire Fe3P- Fe appelé : steadite**,** qui fond à 1050°C (il s'ségrége aux joints des grains).
- Avec le fer et la cémentite, un eutectique phosphoreux ternaire

Fe3P- Fe3C- Fe, dont la température de fusion est voisine de 950° C.

L'eutectique phosphoreux est caractérisé par :

- une expansion accompagne sa solidification.
- Une très grande dureté.
- Une très grande fragilité.

- Un coefficient de dilatation relativement élevé.

Le P favorise l'obtention des détails sur les pièces moulées (statues, fontes d'art, moulage décoratifs, pièces aux formes compliquées), mais qui ne soumissent à aucun effort de choc.

On dit donc que le P augmente la coulabilité.

- il rend l'usinage des pièces difficile (présence de steadite)
- il rend fragiles et cassantes des pièces moulées, les quelles sont très sensibles aux Chocs).

La teneur optimale de la fonte se situe entre 0,1 et 0,13% sans que l'usinabilité de la fonte soit trop influencée [5].

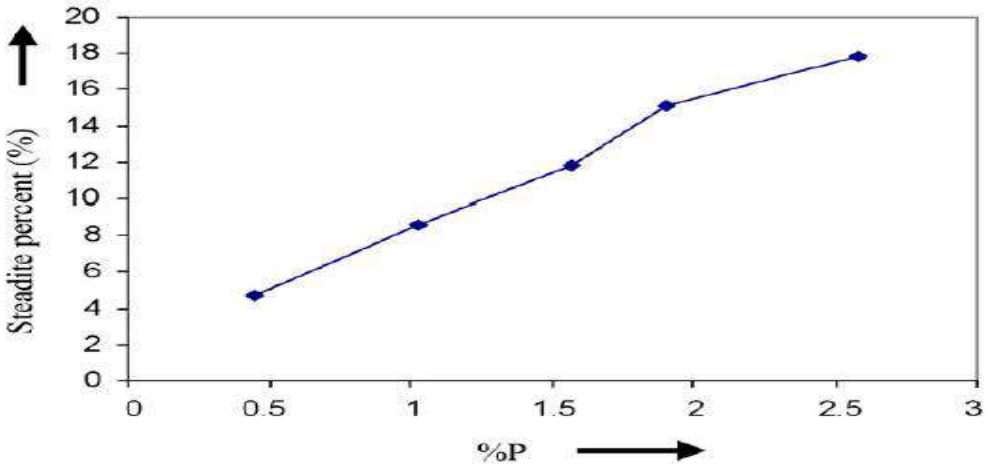


Figure II-3 : Effet du P sur la formation du steadite d'une fonte grise lamellaire[5].

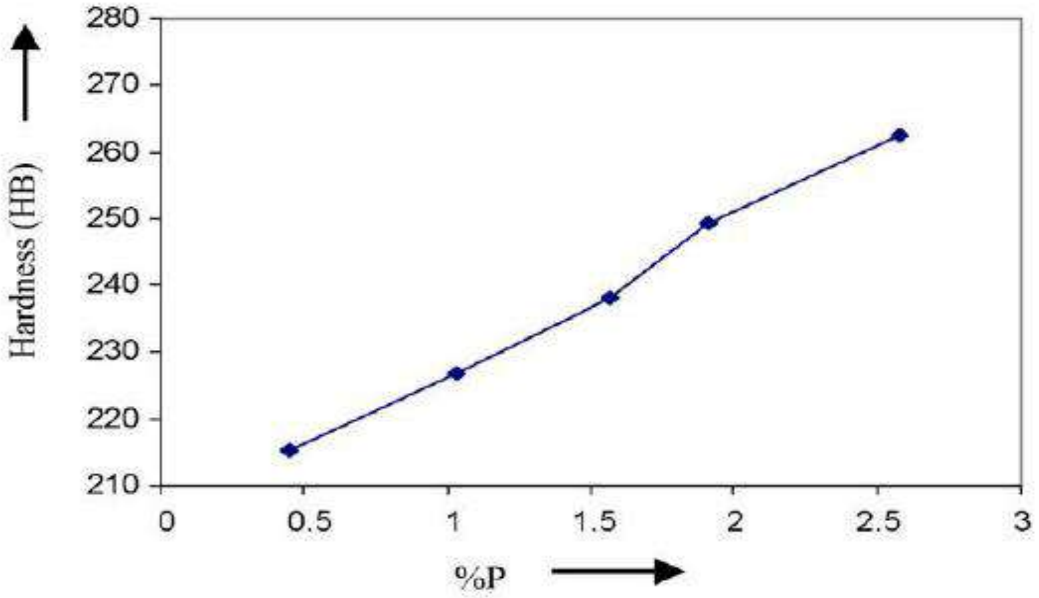


Figure II-4: Effet du P sur la Dureté[5]

II-3Défaut de fonderie :

II-3-1 Définition :

Un défaut de fonderie est une irrégularité indésirable dans une pièce de métal obtenue par moulage, et caractéristique du procédé d'obtention. Certains défauts peuvent être réparés mais ils peuvent aussi mener au rebus de la pièce [16].

II-3-2Principaux Défauts de Fonderie :

On peut distinguer cinq catégories de défauts, en se fondant sur leur mécanisme de formation : les défauts formés pendant le retrait lié à la solidification, ceux dus au gaz, ceux liés au matériau avec lequel est réalisé le moule, ceux formés pendant le remplissage du moule et les défauts métallurgiques. L'apparition d'un défaut peut toutefois résulter de la combinaison de plusieurs phénomènes. Un correctif apporté au procédé pour éviter la formation d'un défaut peut aussi créer un défaut d'un autre type :

- Retassure (cavité formée durant la phase de solidification due au retrait du métal) ;
- Crique (fissures produites par le déchirement du métal au cours du refroidissement) ;
- Soufflure (trous formés par des bulles de gaz libéré par le métal au cours de sa solidification) ;
- Ségrégation (hétérogénéité chimique se produisant à la solidification) ;
- Contraintes résiduelles (retrait et anisotropie créent des contraintes internes).

Les défauts de fonderie liés à la solidification et au refroidissement des pièces appartiennent aux types suivants :

II-3-2-1Retassures :

Les retassures sont des cavités situées en profondeur (retassure interne) ou en surface (retassure externe) des masses métalliques. (La figure 5 : 1a, 1b et 1c) donnent des exemples de retassures dans le cas de bossages isolés (figures 1-a et 1-b) ou de raccords de formes (figure 1-c). Les retassures sont dues à la différence des volumes occupés par le métal à l'état liquide et à l'état solide. Si aucun artifice (masselottes, refroidisseurs) ne vient compenser ce phénomène, cette variation de volume se répartit en cavités de formes très diverses. Il existe également des micro retassures non visibles (figure 5)

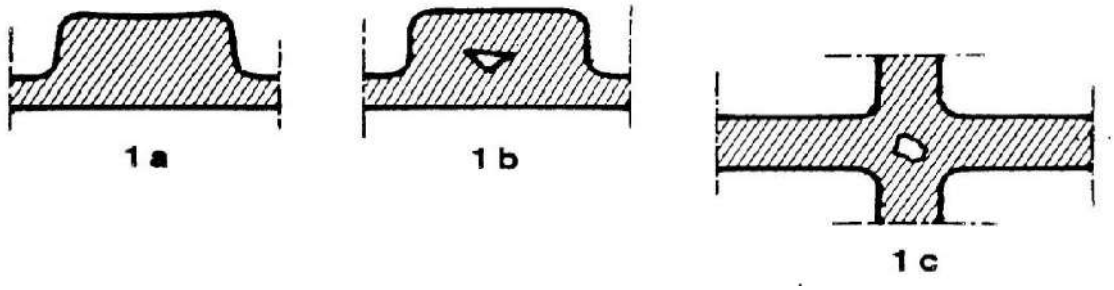


Figure II-5: Défaut de Retassures[16]

II-3-2-3 Malvenu :

La pièce et complète a l'exception des angles saillants qui sont plus ou moins arrondis .s'agissent de fonte, la surface est généralement brillante et se laisse bien décaper [16].

Causes possibles :

-Manque la fluidité et de coulabilité du métal liquide du a une tempe rature de coulée trop basse eu égard a la composition.

-Remplissage trop lent de l'empreinte par suite d'unetrop faible section des jets et des attaques.

Remèdes :

-Règles la température de coulée assez haut eu égard a la composition chimique de l'alliage et aux épaisseurs du moulage.

-Vérifier le système d'attaque et augmenter les sections s'il y a lieu.

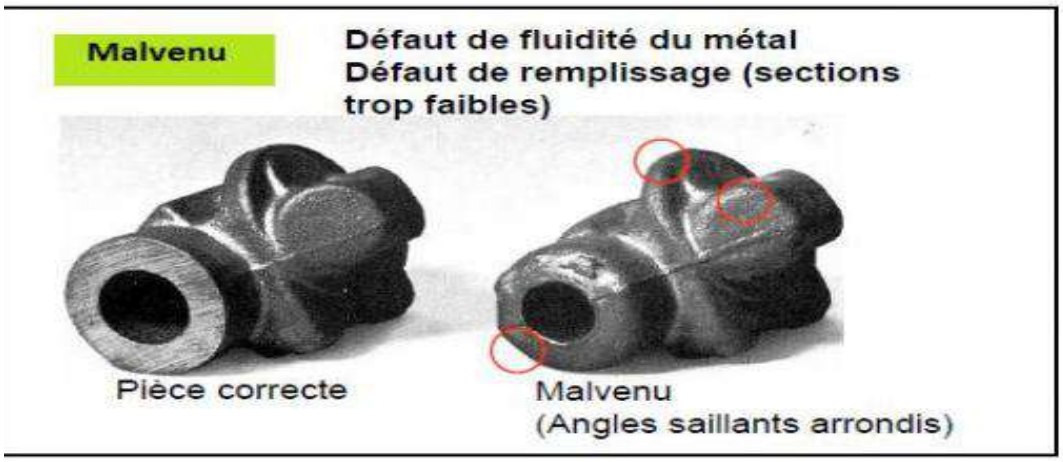


Figure II-7: défaut de remplissage (malvenu)[16] .

II -3-2-5 Inclusion métallique d'origine étrangère :

Inclusions métalliques ou intermétalliques de diverses grandeurs qui diffèrent nettement du matériau de base par la structure et la couleur, mais surtout par la propriété, Ces défauts apparaissent le plus souvent lors de l'usinage [16].

Cause possible

Combinaisons intermétalliques avec des métaux étrangers (impuretés étrangères) .

En coulée par gravite ou sous pression d'alliaged'aluminium, surtout d'alliage Al-Si (Cu) contenant du fer : composes intermétallique (Fe, Al, Mn, Si) sous forme de grains ou d'aiguilles provenant d'unetempérature trop basse du bain dans le creuset de maintien ; en moyenne ou localement. Enrichissement en fer provenant du creuset.

Elémentsd'alliage ou préalliage (par ex .ferro-alliages) qui ne sont pas complètement dissous dans le bain.

Support de noyaux.

Lors de la solidification ; il se produit une ségrégation de composes intermétalliquesinsolubles qui se concentrent dans le liquide résiduel

Élémentd'alliageincomplètementdissous, alliage mères ou métauxétrangers introduits accidentellement et inclus lors de la solidification[16].

Remèdes

Veiller à la propriété des charges, éliminer les métauxétrangers

Employer des élémentsd'alliage ou des alliages-mères en morceaux de petite dimension. Un brassage énergiqueaccélère la dissolution. Ne pas faire ces additions a un moment trop proche de la coulée.

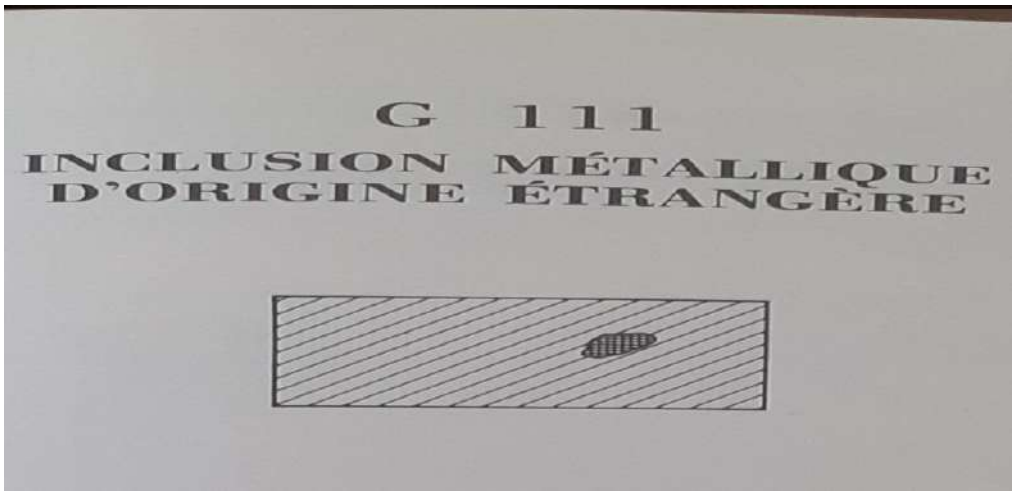


Figure II-9 : Inclusion métallique d'origine étrangère [16].

I1-4 Norme de la composition chimique des éléments de la fonte :

I1-4-1Norme AFNOR : Association française de normalisation

Signifie Association Française de Normalisation. Créée en 1929, l'Association française de normalisation **est** l'organisation officielle en charge des**normes** en France [4].

Désignation symbolique des fontes en afnor :

EN-GJ	L	-	150

EN-GJ	UNE OU DEUX LETTRES	DERNIERE ZONE
Indique qu'il s'agit d'une fonte	Ces lettres indiquent : pour la première **la structure du graphite** pour la seconde **une structure particulière**	Peut être codé selon trois variantes

Tableau II-3:représente la composition chimique de 2 fontes selon la norme afnor [4].

Désignation	%C	%SI	%MN	%P
EN-GJL-150	3	1.5-3	0.6-0.7	0.25
EN-GJL-250	2.5	0.45-0.55	0.55-0.80	0.15-0.35

1I-4-2 La norme ASTM:American Society for Testing Materials

ASTM est un organisme de normalisation qui rédige et produit des normes techniques concernant les matériaux, les produits, les systèmes et les services. Il a été fondé en 1898 aux États-Unis sous la direction de Charles Benjamin Dudley. Il portait alors le nom d'American society for testing and matériel (société américaine pour les essais et les matériaux).

Exemple :

Désignation ASTM	Désignation normal
CL 35	Indique qui il s'agit d'une fonte gris lamellaire(FGL25)

Tableau II-4 : représente la composition chimique des fontes selon norme ASTM[4].

ASTM A48	Composition chimique				
	%C	%Si	%Mn	%P	%S
20	3,50 – 3,80	2,30 – 2,80	0,50-0,80	0,25 Max.	0,10 Max.
30	3,30 – 3,60	1,80 – 2,30	0,60-0,90	0,20 Max.	0,10 Max.
35	3,20 – 3,50	1,70-2,20	0,60-0,90	0,15 Max.	0,10 Max.
45	3,10 – 3,30	1,60-2,10	0,60-0,90	0,12 Max.	0,10 Max.

1I-4-3 La norme DIN :

Le DIN, institut allemand pour la standardisation a été créé en 1917 et son siège social est situé à Berlin.

Celui-ci est un organisme privé qui a le statut d'association sans but lucratif. Il représente les intérêts allemands aux niveaux européen et international et ses membres sont issus de divers domaines comme l'industrie, le commerce, les associations, les organisations de recherche et/ou professionnelle, etc.[4].

Tableau II-5 : Comparaison des normes selon DIN EN (nouvelles) et DIN (anciennes)[3].

Groupe de Matières	Matière selon DIN EN 1561 (nouvelle)		Matière selon DIN 1691 (ancienne)	
	symboles	numéros	symboles	numéros
Fonte à graphite lamellaire (fonte grise)	EN-GJL-150	EN-JL 1015	GG 15	0.6015
	EN-GJL-200	EN-JL 1020	GG 20	0.6020
	EN-GJL-250	EN-JL 1025	GG 25	0.6025
	EN-GJL-300	EN-JL 1030	GG 30	0.6030
	EN-GJL-350	EN-JL 1060	GG 35	0.6035
	Remarque: Les symboles pour les normes en dureté sont analogues à l'ancienne version, à l'exception de la numérotation.			

Composition chimique de quelque nuance selon la norme DIN :

Tableau II-6: représente la composition chimique des fontes selon norme DIN [3].

DIN 1561	Composition chimique				
	%C	%Si	%Mn	%P	%S
GG10	3,50 – 3,80	2,30 – 2,80	0,50-0,80	0,25 Max.	0,10 Max.
GG15	3,30 – 3,60	1,80 – 2,30	0,60-0,90	0,20 Max.	0,10 Max.
GG20	3,20 – 3,50	1,70-2,20	0,60-0,90	0,15 Max.	0,10 Max.
GG25	3,10 – 3,30	1,60-2,10	0,60-0,90	0,12 Max.	0,10 Max.

II-5Norme de la propriété mécanique :

II-5-1 Selon AFNOR :

Tableau II-7 Propriété mécanique selon la norme AFNOR[4].

NF A 32.101	NF EN 1561	RM	HBS
FGL 150	EN GJL 150	150	125-205
FGL 200	EN GJL 200	200	150-230
FGL 250	EN GJL 250	250	180-250
FGL 300	EN GJL 300	300	200-275

II-5-2 Selon DIN :

Tableau II-8 Propriété mécanique selon la norme AFNOR[4].

Matières	Epaisseur de paroi mm		Résistance à la traction dans l'éprouvette solidaire	Résistance à la traction Valeurs attendues idans la pièce en fonte	Dureté Brinell HB 30		Résistance à la pression σdB
	au delà	jusqu'à	Rm = N/mm^2	Rm = N/mm^2	mini	maxi	N/mm^2
GG-20 EN-GJL-200	2,5	5		230	190	275	720
	5	10		205	170	260	
	10	20		180	150	230	
	20	40	170	155	135	210	
	40	80*	150	130	120	195	
GG-25 EN-GJL-250	5	10		250	200	275	840
	10	20		225	180	255	
	20	40	210	195	160	235	
	40	80*	190	170	145	215	
GG-30 EN-GJL-300	10	20		270	200	275	960
	20	40	250	240	180	255	
	40	80*	220	210	165	235	

II-5-3 Selon ASTM :

Tableau II-9 Propriété mécanique selon la norme ASTM [4].

Spécifications	Traction Mpa (Ksi)	BHN Dureté
ASTM A-48		
CL 25	172 (25)	159-223
CL 30	207 (30)	179-229
CL 40	276 (40)	197-255
CL 50	344 (50)	217-269
CL 55	380 (55)	229-269

III-suivi de l'élaboration de la fonte FGL 20 (POVAL)

III-1-1 Les étapes d'élaboration de la fonte :

L'élaboration de la fonte grise lamellaire type FGL 20 au niveau de la fonderie du berrouaghia est réglementée par les étapes suivantes :

1- Le stockage et le triage des déchets de récupération au niveau du parc à ferrailles (figure III-2).

2- Remplissage de palettes, pesant une tonne de poids, à l'aide d'un aiment (figure III-2).

3- La collecte des palettes de ferrailles près du four de fusion (Bennage) après :

- Analyse des différentes charges constituant le lit de fusion pour déterminer leurs compositions chimiques.
- Ajustement du pourcentage du Carbone et du Silicium et de manganèse par additions des quantités nécessaire sous forme de Graphite et de l'alliage Ferro-Silicium, ferro-monganése [9].



Figure III-1: Photo de parc à ferrailles



Figure III-2: Photo de l'aiment remplissage[9].



Figure III-3: Photographie de four de fusion à induction de capacité 12T[9].

4-Le transfert pour fusion au niveau du four de 2eme fusion, et de capacité 6 tonnes j'usqu'un 25 tonnes. Cette opération de transfert doit respecter les consignes suivantes:

- Le creuset du four ne doit jamais être vide pendant la « compagne ». En effet, elle doit contenir une quantité maximale (1/3 de la capacité totale de four), afin :

- D'assurer une production plus homogène.
- Eviter les chocs thermique et mécanique sur le revêtement réfractaire du creuset.
- Utiliser l'inertie thermique du four ce qui diminue les temps de fusion.

- Pendant la fusion, on doit couler deux (02) médailles pour analyse chimique, et éprouvette de leur possible pour le contrôle visuel et l'autre pour les analyses au niveau de laboratoire.
- Suite aux résultats des analyses précédentes, on doit juger nécessaire de porter des corrections sur la teneur des élémentsprincipaux.
- Le dégrée de saturation, doit être égale à un (eutectique) pour une meilleure coulabilité.
- Décrasser la crasse de fusion avant le remplissage de la poche de coulée avec un moyen.

5-Préparation du chantier de moulage, pour l'opération de coulée :

- Demande de la poche de coulée.
- Inoculation de la poche de coulée par le Fe-Si, on ajoute 04 kg de Fe-Si fin pour une poche de coulée pèse 800 Kg pour la bonne coulabilité.
- Garder la poche sous chauffage pour éviter des chocs thermiques pendant leur remplissage (car la température de fusion est très élevée).
- La température de fusion est inversement proportionnelle à la taille de la pièce à coulée .

- Le chauffage de la poche est assuré par une combinaison entre le gaz et la pression.
- Le décrassage de la poche est assuré par le Slax.

6-Le coulage des moules :

- L'excès ou le manque de métal fondu est coulé dans des lingots afin de les conserver et les réutiliser pour une nouvelle coulée.

7- Après le coulage, on procède au :

- Décochage de la pièce ; pour les pièces avec noyau, on utilise le débourrage avec marteau.
- Grenaillage ; lavage des pièces.
- Ebarbage ; finition de la pièce.
- Contrôle de qualité.
- La peinture des pièces finis.

III-1-2 Préparation du lit de fusion :

Les charges sont puisées dans les stocks de matières premières.

Au parc à ferrailles où sont classés, par type et analyse chimique :

- Les retours de fonderie constitués par des pièces rebutés, des masselottes, des jets de coulée….
- Les chutes de tôles en vrac, d'acier doux et mi- doux;
- Des paquets de tôles d'acier extra doux compacté.

Au parc des matières d'addition où sont observées, en sacs ou fûts, toutes les additions susceptibles d'être opérées à la fusion ou en poche de coulée. Citons : les ferro-alliages, le graphite, l'aluminium en barre, le bismuth, le slax, le mischmétal, l'étain…

Ces charges sont pesées avec précision de manière à obtenir par le calcul du lit de fusion, une analyse d'alliage fondu voisine de celle souhaitée.[9]

III-1-2-1 Exemple de lit de fusion pour la fonte FGL20 :

a) Dans le four on verse environ :

- 2.50% de graphite industriel
- 1% de Ferro-silicium à 65 %
- 0.5 à 1% de ferro-manganèse à 76 %
- 17 % de tôles d'acier doux en vrac
- 42 % de tôles d'acier extra-doux en paquets
- 36 % de retours de fonte grise FGL20.

b) Après fusion le bain de fonte est coulé en poche. Puis inoculée poche, pour versé le métal liquide dans la poche avec:

Soit 1 % de Ferro silicium à 75 %

Soit un mélange de : 0.5 – 0.7 % de Fe-Si à 75 %

Soit 0.5 – 0.7 % de Fe-Si-Ba

c) Puis la poche est décrassée en y jetant 0.5 % de slax et en écrémant.[9]

III-1-3 Fusion des charges :

Les charges sont bennées vers le four de fusion, à induction, dans lequel elles sont versées. Elles sont introduites dans un bain résiduel de la précédente coulée. Le creuset du four n'est en effet jamais complètement vidé lorsqu'on réalise une « compagne ». Par exemple on laissera, dans le fond d'un four de capacité quatre tonnes environ, une à deux tonnes du bain liquide résultant de la précédente fusion. De la sorte on :

- Assure production plus homogène.
- Evite les chocs thermiques et mécaniques sur le revêtement réfractaire du creuset.
- Utilise l'inertie thermique du four ce qui diminue les temps de fusion

Pour obtenir les caractéristiques demandées au métal par le cahier des charges, le fondeur doit maîtriser :

- la composition chimique de l'acier (ou de la fonte) requise par le client et/ou les normes applicables. Elle est obtenue par la composition de la charge métallique à laquelle il faut intégrer les pertes au feu ;

- la température de coulée qui doit être déterminée avec précision car ce paramètre est déterminant pour assurer le remplissage des moules, la santé interne des pièces et également pour obtenir des conditions de solidification et une structure métallographique correcte. Contrairement aux fours à arcs, les fours à induction se prêtent mal aux opérations métallurgiques de type décarburation ou brassage métal/laitier car, d'une part, le laitier non conducteur électrique reste froid donc inefficace et, d'autre part, les conditions hydrodynamiques. Comme de simples engins de fusion où l'analyse finale est obtenue à partir du lit de fusion et des pertes au feu. L'absence d'opération métallurgique conduit à sélectionner avec soin les ferrailles et les ferroalliages et à utiliser des charges plus nobles donc plus coûteuses que dans le cas des fours à arcs[9].

III-2Préparation de lit fusion poval :

Les fontes obtenues au niveau de la fonderie de Berrouaghia ; sont destinées pour le moulage des pièces mécaniques. Elles se distinguent l'une de l'autre par leur compositions chimiques[9].

III-2-1 La fonte élaborée :

La composition chimique de notre fonte est donnée par le tableau suivant :

Tableau III-1: Composition chimique de la fonte élaborée[9]

Elément	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**	**Cr**
Pourcentage %	3.4	2. 2	0.47	0.13	0.078	0.15

III-2-2 Le lit de fusion :

Les matières premières nécessaires pour l'élaboration de la fonte forment le lit de fusion ; ce dernier est constitué de :

- Ferraille d'acier : acier récupéré

- Retour externe : fonte de récupération externe.

- Retours interne : fonte de récupérations interne (pièces rebuts, système de coulée et d'alimentation)

- Hématite : lingot en fonte neuve.

TableauIII-2 : Les pourcentages des constituants de lit de fusion de la fonte élaborée[9]

Constituant	Ferraille d'acier	Retour externe	Retour interne	Hématite
Pourcentage %	20	50	10	20

Les compositions chimiques de différents constituants sont présentées par le tableau suivant :

Tableau III-3: Compositions chimiques des constituants du lit de fusion[9]

pourcentage des éléments / Constituant	C	Si	Mn	P	S
Ferrailles d'acier	0.12	0.1	0.38	0.017	0.022
Retour externe	3.50	2.4	0.35	0.150	0.030
Retour interne	3.40	2.2	0.47	0.130	0.078
Hématite	4.30	2.2	0.80	0.120	0.040

III-2-2-1 calculs de lit de fusion :

Pour obtenir la composition chimique de la fonte élaborée conforme aux normes, on doit calculer les pourcentages de C et Si et Mn de lit de fusion afin de savoir la quantité qu'il faut additionner en Kg de ces éléments pour 01 tonne :

Tableau III-4: les pourcentages totaux de C et Si et MN de lit de fusion[9]

Constituant	Pourcentage C	Pourcentage Si	Pourcentage Mn
Ferrailles d'acier (20% = 200 kg)	$\frac{20x0.12}{100} = 0.024$	$\frac{20x0.1}{100} = 0.02$	$\frac{20x0.38}{100} = 0.076$
Retour externe (50% = 500 kg)	$\frac{50x3.5}{100} = 1.75$	$\frac{50x2.4}{100} = 1.2$	$\frac{50x0.35}{100} = 0.175$
Retour interne (10% = 100 kg)	$\frac{10x3.4}{100} = 0.34$	$\frac{20x2.2}{100} = 0.44$	$\frac{20x0.47}{100} = 0.094$
Hématite (20% = 200 kg)	$\frac{20x4.3}{100} = 0.86$	$\frac{10x2.2}{100} = 0.22$	$\frac{10x0.80}{100} = 0.08$
Total	**2.97**	**1.88**	**0.425**

Le pourcentage du Carbone manque = le pourcentage du Carbone de la norme – le pourcentage du Carbone total calculé.

% C = 3.5 – 2.97

% C= 0.53 %

Le Carbonne sera ajouter sous forme de graphite industriel (contient 100% de C) ; Donc 0.53% de Carbonne équivalent de 5.3 kg pour une tonne et nécessite 63.6 Kg pour 12 tonnes.

Le pourcentage de Silicium manque = le pourcentage du Silicium de la norme – le pourcentage du Silicium total calculé.

% Si = 2.4 – 1.88

% Si= 0.52 %

Le silicium sera ajouter sous forme de Ferro-silicium à 75 % (contient 75% de Si) :

100 %fer –silicium ⟶ 0.75 % de Si

0.52 % fer –silicium ⟶ X % de Si

$$X = \frac{0.52 \times 100}{75} = 0.69\%$$

Donc 0.52% de Ferro-Silicium correspondant au 0.69 % de Si ; équivalent de 6.9 kg pour une tonne et nécessite de 82.8 Kg pour 12 tonnes.

- Le bilan est mentionné dans le tableau suivant :

Tableau III-5: le bilan total des additifs de lit de fusion[9]

L'élément	**Carbonne**	**Silicium**	**Manganèse**
% au niveau de lit de fusion	2.97	1.88	0.425
% des pertes	0.53	0.52	0.001
Quantité additionnée kg/ tonne	5.30	6.90	1.132
Quantité additionnée Kg/ 12 tonne	63.60	82.80	11.12

III-3 investigation et contrôle des compagnes de fonte FGL 20(POVAL) :

III-3-1 Etude de la composition chimique et propriété mécanique deFGL 20(POVAL) :

En collaboration avec le bureau de contrôle de qualité de l'unité de fonderie POVAL de berrouaghia on a obtenue des résultats de la composition chimique et la caractéristiquemécanique talque la résistancemécanique et la dureté des compagnes de FGL20 de l'année 2003 citer dans le **tableau III-6** :

TableauIII-6 : Composition chimique et propriété mécanique FGL20**(2003)**

La date	Nombre de compagne	four	%C	%Si	%Mn	%P	%S	Rm(Mpa)	HB
21/01	282	12T	3.36	2.18	0.53	0.57	0.062	216	249
22 /01	283	12T	3 .50	2.02	0.53	0.57	0.068	202	213
10/02	285	6T	3.60	2.01	0.48	0.15	0.055	172	203
22/02	287	12T	3.46	1.95	0 .57	0.15	0.065	212	202
01/03	289	12T	3.38	2.18	0.48	0.23	0.061	194	222
24/03	296	6T	3.39	2.08	0.44	0.20	0.075	208	217
29/03	297	12T	3.34	2.13	0.45	0.21	0.063	202	222
07/04	298	12T	3.46	2.28	0.45	0.19	0.063	192	227
13/04	299	6T	3.30	2.20	0.40	0.17	0.057	204	217
05/05	300	12T	3.40	2.14	0.42	0.14	0.068	150	191
06/05	301	6T	3.62	2.24	0.53	0.15	0.060	184	216
12/05	303	12T	3.28	2.06	0.46	0.17	0.065	230	224
03/06	305	12T	3.50	2.00	0.55	0.22	0.050	163	191
22/06	306	12T	3.59	1.85	0.59	0.22	0.048	222	217
12/07	307	12T	3.68	2.13	0.49	0.24	0.063	220	213
09/11	311	12T	3.35	2.14	0.44	0.20	0.054	226	215
17/11	314	12T	3.41	2.00	0.43	0.16	0.054	222	215

29/11	316	12T	3.35	2.17	0.43	0.23	0.056	258	215
02/12	318	12T	3.48	1.98	0.40	0.21	0.060	194	217
06/12	320	6T	3.48	2.06	0.42	0.18	0.062	220	197

III-3-1-1 Influence du phosphore sur la résistance mécanique et laDureté:

La figure III-4 nous montre l'allure de la variation de la valeur de dureté en HB en fonction du taux de phosphore dans la composition chimique dans le tableau III-4. Nous remarquons sur cette courbe, qu'effectivement la valeur de dureté augmente proportionnellement avec le pourcentage de composition chimique du phosphore introduite FGL 20.

Lorsque le pourcentage de phosphore et dépasse 0.23 %, la valeur de dureté est en dehors de la valeur prescrite par la norme AFNOR (150-230 HB) [4].

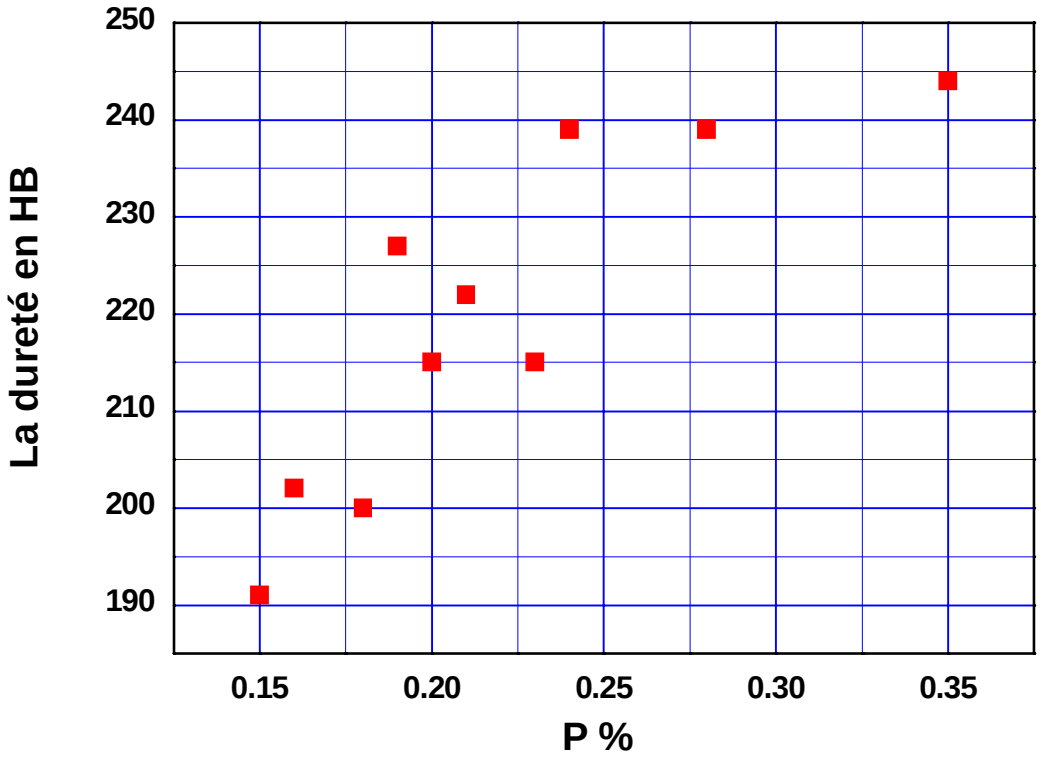


Figure III-4 Influence du taux de phosphore sur la dureté dans la fonte FGL 20

La figure III-5 nous montre l'allure de la variation de la valeur de la résistance mécanique dans la fonte FGL 20 élaboré en fonction du pourcentage de la composition chimique du phosphore, d'après les analyses chimiques obtenues dans le tableau II-6. La remarque importante que Nous pouvons tirer de cette courbe, est l'augmentation proportionnelle de la résistance mécanique en Mpa N/mm^2 de de la fonte FGL 20 avec l'ascendance de pourcentage de la composition chimique du phosphore introduite dans la charge métallique produite de FGL 20.

Lorsque le taux du phosphore obtenu pour les compagnes étudiées dans le tableau III-6 dépasse 0.21 %, la teneur en phosphore dans fonte FGL 20 est largement supérieure à la valeur prescrite par la norme AFNOR (> 200 Mpa) [4], ainsi que nous pouvons avoir une valeur la résistance mécanique Rm de 220 Mpa de 20 % pour un pourcentage du phosphore de 0.20 %.

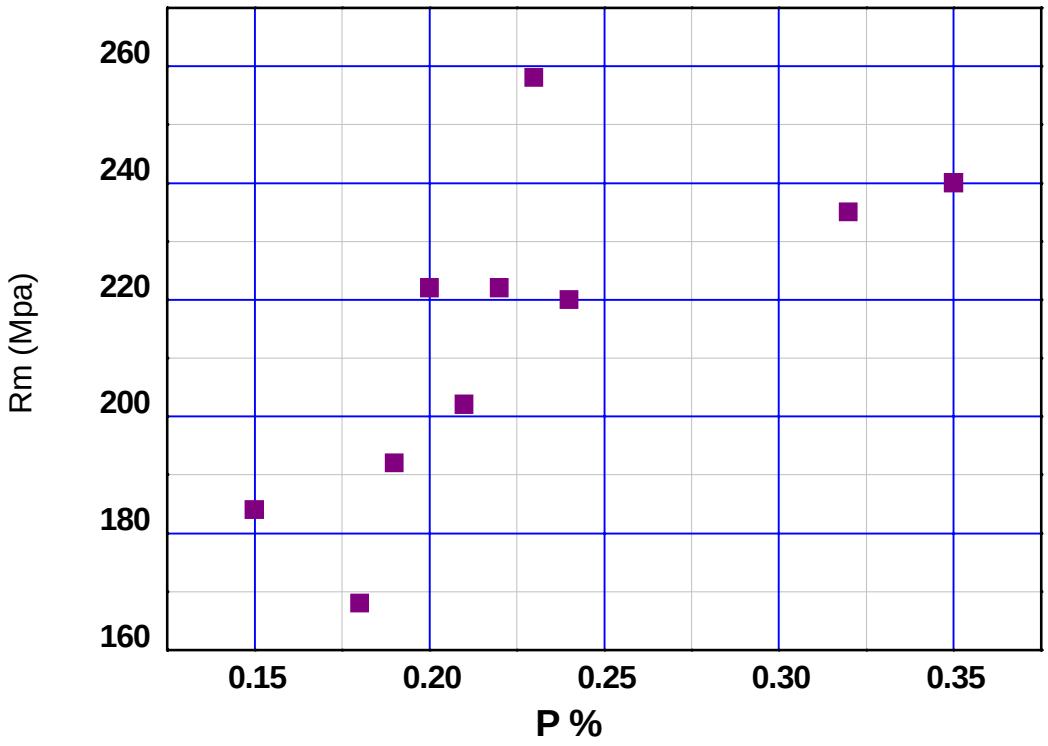


Fig. III-5 Influence du taux de Phosphore sur la résistance mécanique moyenne Rm dans la fonte FGL 20

III-3-2 contrôle de la qualité des compagnes FGL 20 (POVAL) :

A l'aide du rapport enregistré par le service de contrôle de qualité concernant des résultats donnée sur le taux et nature des rebuts sur des compagnes de la fonte FGL20 durant les années 2014, 2015, 2016 et 2017justifier sur le tableau III-8.

Tableau III -7 Analyse des défauts donnée par le service contrôle de qualité compagne FGL20 de 2014 à 2017(pièce cadre de tampon 850 réduire)

N de la compagne	La date	Pièce	Poids (kg)	Rebut	% de chaque rebut
Compagne1	01/01/2014	110	41	• 97 Défaut de choc •13 non venu (NV)	88.18 11.82%
Compagne2	02/05/2015	12	41	• 6 non venu (NV) • 6 choc	50% 50%
Compagne3	01/12/2016	14	41	• 14 choc	100%
Compagne4	25/12/2016	55	41	• 40 choc • 15 non venu (NV)	72.72% 27.28%
Compagne5	19/10/2017	120	41	• 90 choc • 30 non venu (NV)	75% 25%
Compagne6	24/09/2017	5	41	• 5 choc	100%
Compagne7	28/07/2017	30	41	• 25 choc •5 non venu (NV)	83.33% 16.67%
Compagne8	17/07/2017	33	41	• 6 non venu (NV) • 27 choc	18.19% 81.81%
Compagne9	31/09/2017	20	41	• 10 non venu (NV) • 10 choc	50% 50%
Compagne10	24/09/2017	95	41	• 80 choc •15 non venu (NV)	84.21% 15.79%
Compagne11	17/10/2017	70	41	• 50 Défaut de choc • 20 non venu (NV)	71.42% 28.58%
Compagne12	19/04/2018	130	41	• 20 non venu (NV) • 40 non venu (NV)	69.23% 30.77%
Compagne13	25/03/2018	24	41	• 20 choc • 4 non venu (NV)	83.33% 16.67%
Compagne14	13/06/2018	8	41	• 4 Défaut choc • 4 non venu (NV)	50% 50%

Tableau III -8 Analyse des défauts donnée par le service contrôle de qualité compagne FGL20 de 2014 à 2017 (pièce tampon 850 réduire).

N° de la compagne	la date	Pièce	Poids en Kg	Rebut	% de chaque rebut
Compagne 1	23/01/2014	90	45	• 70 choc • 20 non venu (NV)	77.77% 22.23%
Compagne 2	14/11/2015	32	45	• 30 choc • 2 non venu (NV)	93.75% 6.25%
Compagne 3	23/07/2016	24	45	• 24 choc	100%
Compagne 4	17/07/2016	44	45	• 30 choc • 14 non venu (NV)	68.18% 31.82%
Compagne 5	31/05/2017	100	45	• 50 choc • 50 non venu (NV)	50% 50%
Compagne 6	11/05/2017	20	45	• 20 choc	100%
Compagne 7	06/04/2017	40	45	• 30 Choc • 10 non venu (NV)	75% 25%
Compagne 8	16/03/2018	53	45	•40 Choc •13 non venu (NV)	75.47% 24.53%
Compagne 9	20/02/2018	22	45	• 22 choc	100%
Compagne 10	15/12/2018	90	45	• 75Choc •15 non venu (NV)	83.33% 16.67%

Défauts de choc sur le cadre de tampon 850



Figure III-6 Compagne de la pièce cadre 850 réduire (choc).[9]



Figure III -7 La compagne de la pièce tampon 850 réduire.[9]

Tampon 850
cassé par choc

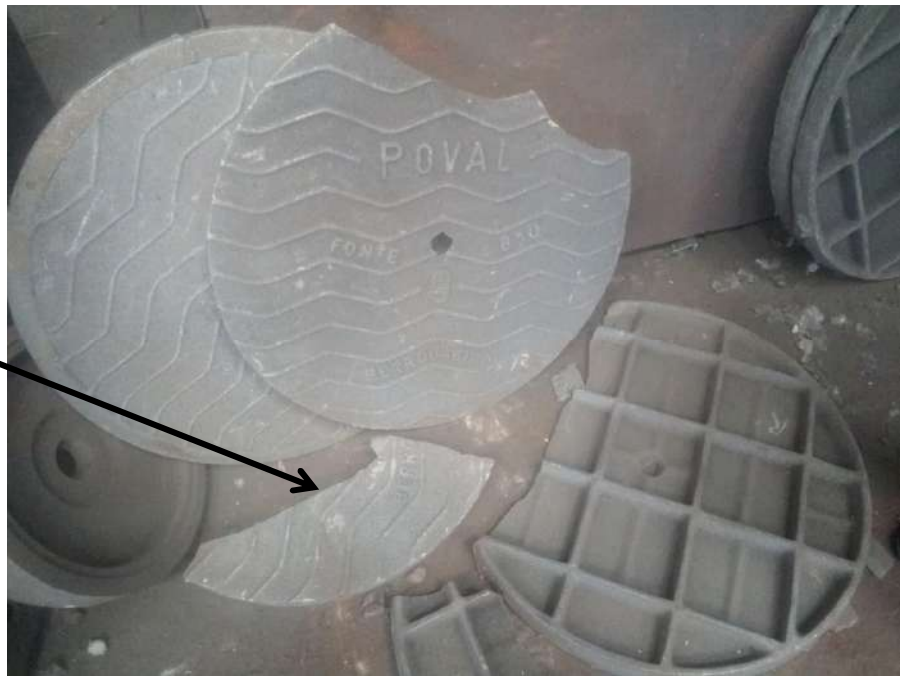


Figure III-8 La compagne de la pièce tampon 850 réduire (choc).[9]

IV Conclusion Générale

Le présent travail s'inscrit dans le contexte d'études d'investigation sur le contrôle qualité des pièces mécaniques élaborées en fontes à graphite lamellaire FGL 20. Ce travail a pour objectif d'étudier les défauts de fonderie en particulier les défauts de choc qui entravent la production de la fonte grise lamellaire FGL 20 dans la fonderie de POVAL Berrouaghia.

Après des investigations menées au niveau de la fonderie en collaboration avec le service de contrôle de la qualité, et à la lumière des dossiers et des rapports soumis par ce dernier, les enquêtes ont confirmé que l'excès de phosphore pouvait être la principale cause de défauts de choc.

Selon des analyses chimiques et des résultats sur les caractéristiques mécaniques obtenues par des compagnes de FGL 20 nous a permis de tirer les résultats suivants :

1/ un excès de phosphore introduite dans la fonte FGL 20 provoque l'augmentation de la valeur de la dureté. Ces taux de phosphore élevés sont la cause par la suite de fragiliser le matériau et cause l'apparition des défauts de choc ;

2/ lorsque le pourcentage de phosphore augmente et dépasse un taux 0.2 % la résistance mécanique Rm augmente et en dehors de la valeur prescrite par les normes.

BIBLIOGRPHIE :

[1] -Métallurgie. F.Bouju. Y.Renoux.

[2]-Manuel pratique de la fonderie de fonte par H- LE BRETON.

[3]- Livre des fontes et leurs traitements thermiques métallurgie structurale par D.COLLI N.

[4] -MICHEL GEIER .métallurgie de fonderie. Tome 2edittions Eyrolles1978.

[5]-cour enseignant (cour fonderie) M-HABIRACHE.

[6] -Jean Barralis Gérard. Maeder précis. Métallurgie .élaboration, structures-propriétés normalisation édition NATHAN. Paris 2004.

[7]- Jean Marcel MASSON. Centre français d'exploitation. Techniques de l'ingénieur. Élaboration de l'acier moulé-Fours de fusion. M 3623.Edition Sep 2005.

[8]-Livre de manuel des fontes moulées par avenue Raphaël -75016 paris.

[9] : le Bureau de contrôle qualité d'unité de fonderie POVAL à Berrouaghia.

[10] : Image fer-carbone tsaucray.free.fr 1metallurgie 11fusion F21b.

[11] 05.06 / 62340306. Printed in Denmark by Richard Larsen Grafisk – 42.

[12] : A. Remy, Moyens de fusion des fontes- Les cubilots, Techniques de l'ingénieur M3602 V1, 2015.

[13] : jean Marcel MASSON. Centre français d'exploitation. Techniques de l'ingénieur. Elaboration de l'acier moulé-Fours de fusion. M 3623. Edition Sep 2005.

[14] -Métallurgie (élaboration. Structure .propriétés .normalisation) JEAN BARRALIS GERAD MAEDER.

[15]- Livre de l'Influence des divers oligo-éléments dans les fontes.

[16]-Livre recherche de la qualité des pièces de fonderie édition française rédigée par Guy HENON .