République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur

et de la Recherche Scientifique

Université Dr Yahia Fares de Médéa

Faculté de technologie

Département : Génie mécanique

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Mécanique

Spécialité : Ingénierie des Matériaux et des surfaces

Thème :

Problème de défauts de chute de sable lors de la coulée des pièces moulées en FGL 20

Encadré par :

- Mr. El MOHRI Abdennour

Préparé par :

- BENKARA Islam
- SEDIRA Djamel Edine

2019/2020


بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

-Tout d'abord, je remercie Dieu, notre créateur de m'avoir donné la force pour accomplir ce travail.

-Premièrement et avant tout, j'adresse un grand remerciement à notre encadreur : Mr. ELMOHRI Abdelnour pour ses conseils et ses directives.

-Je veux également remercier tous les étudiants de ma promotion et je leurs souhaite un bon courage.

-Ainsi tous ceux qui ont participé à la réalisation de ce mémoire, et sans oublier le personnel de l'entreprise POVAL SPA Unité fonderie Berrouaghia qui nous aidé.

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde après ALLAH pour leurs sacrifices.

- A Mon père qui n'est plus, que Dieu le Tout Puissant l'accueille, En son vaste paradis ;
- A Ma mère à qui je souhaite une longue vie;
- A Mes frères et mes sœurs ;
- A Mon binôme Sodira Djamel eldinne ;
- A tous les amis.

BENKARA Islam

Dédicace

C'est avec un très grand honneur que je dédie ce modeste travail aux personnes les plus chères au monde après ALLAH pour leurs sacrifices.

- *A mes parents qui je souhaite une longue vie;*
- *A Mes frères et mes sœurs ;*
- *A Mon binôme Benkara Islam ;*
- *A tous les amis et à tout la famille.*

SODIRA Djamel Eldinne

Résumé

Le projet de fin d'études vise à étudier le problème du défaut de chute de sable lors de la coulée de pièces en fonte grise stratifiée (FGL20) qui a été menée au niveau du service de contrôle de qualité POVAL où nous pouvons conclure que les températures ont un effet direct sur le rapport l'eau dans le sable ainsi que sur le bentonite.

Les deux sont directement liés à l'augmentation du problème.

les mots clés : Chute de sable, élaboration, fonte, défaut de fonderie.

Résumé

ملخص:

مشروع التخرج يهدف إلى دراسة مشكلة سقوط الرمال عند صب جزء مصبوب من حديد الزهر الرقائقي،(FGL 20) و الذي أجريت على مستوى خدمة مراقبة الجودة في (POVAL) حيث يمكننا أن نستنتج أن درجات الحرارة تؤثر على نسبة الرطوبة في الرمل، وأيضا نسبة البانتونيت المضافة.

وهذين العاملين لهما علاقة مباشرة في ارتفاع المشكلة.

الكلمات المفتاحية:

سقوط الرمال، المسبك ، عيوب المسبك.

Résumé

Abstract

This Project attempts to study the problème of Sand fall when casting a fraction cast from laminated gray cast iron, (FGL20) Which was conducted at. the level of the Quality Monitoring Service (POVAL) Hence, we Can conclude that the temperature affects the moisture content of the Sand as well as the percentage of bentonite added.

Thèse two factors are explicitly related to the high rate of This problème.

Keywords :

Elaboration, Foundrey fault , Sand fall.

Liste de figures

Liste de figures	
Titre	**Page**
Figure 1 : diagramme équilibre stable	**8**
Figure 2 : diagramme Fe_3C	**8**
Figure3 : Structure de fonte blanche brute de coulée. X 50	**12**
Figure 4 : Structure de fonte grise à matrice ferrito-perlitique.	**15**
Figure 5 : Structure de fonte grise à matrice entièrement perlitique.	**15**
Figure 6 : Structure de fonte à graphite sphéroïdal avec matrice perlitique	**16**
Figure 7 : l'aiment de remplissage	**19**
Figure 8 : parc à ferrailles	**19**
Figure 9 : four à arc électrique	**23**
Figure 10 : four à induction à creuset	**24**
Figure 11 : matériel de moulage	**26**
Figure 12 : Boite à noyau ouverte	**27**
Figure 13 : Boite à noyau et noyau fermée	**27**
Figure 14 : Une mole en sable avec les déférentes parties essentielles	**30**
Figure 15 : Moulage au polystyrène expansé	**32**
Figure 16 : Deux châssis	**33**
Figure 17 : Remplissage	**33**
Figure 18 : Serrage	**34**
Figure 19 : Démoulage	**34**
Figure 20 : Moule inferieur	**35**
Figure 21 : Moule supérieur	**35**
Figure 22 : système de coulé	**36**
Figure 23 : Les évents et canal descente	**37**
Figure 24 : Remoulage	**37**

Liste de figures

Figure 25 : Fermeture de moule	**38**
Figure 26 : Le four et l'opération de coulée	**38**
Figure 27 : défirent type de retassure	**40**
Figure 28 : Coulée sans masselotte	**40**
Figure 29 : Coulée avec masselotte	**40**
Figure 30 : Dessin représente le malvenu	**44**
Figure 31 : Dessin de manque	**45**
Figure 32 : Dessin de chute de sable	**46**
Figure 33 : Image de pièce d'essai en fonte, la couche de Sable de contact s'est séparée de sable de remplissage.	**46**
Figure 34 : l'influence de H_2O sur le taux de rebut	**53**
Figure 35 : l'influence de bentonite sur le taux de rebut	**54**

Liste de tableaux

Liste de tableaux	
Titre	**page**
Tableau 1 : la compagne de la pièce antigoise et volant de moteur	**48**
Tableau 2 : les compagnes de l'analyse du sable 19/20	**51**
Tableau 3 : Norme internationale pour sable moulage fonte	**52**
Tableau 4 : les compagnes de l'analyse du sable 16/17	**53**

Sommaire

Sommaire

Titre	Page
Introduction Générale	1
Chapitre I :Technique d'élaboration de la fonte	
I. Technique d'élaboration de la fonte	3
I.1 Généralité sur la fonte	3
I.1.1 Principes sur la fonderie	3
I.1.2 Définition de la fonte en générale	3
I.1.3 Histoire de la fonte	4
I.1.4 Utilisations des fontes	4
I.2. Elaboration de la fonte	5
I.2.1 Fontes de première fusion	5
I.2.2 Fontes de deuxième fusion	7
I.2.3 Composition de la Fonte	9
I.3. Différents types de fontes	10
I.3.1 Fontes Blanche	10
I.3.2 Fontes grises	12
I.4 Type de la fonte gris	14
I.4.1 Fonte GL (graphite lamellaire)	14
I.4.2 Fontes à graphite sphéroïdal	16
I.4.3 Fontes malléables	17
I.4.4 Fontes GV (graphite vermiculaire)	17
I.4.5 Fontes Truitées	18

Sommaire

I.5. Procédés d'élaboration	**18**
I.5.1 Les étapes d'élaboration de la fonte	**18**
I.5.2. Préparation des échantillons	**21**
I.6 Types de four	**22**
I.6.1 Four à arc électrique	**22**
I.6.2 Four à induction	**23**
Chapitre II : Procédé de moulage non permanent	
II. Procédé de moulage non permanent	**25**
II.1 Préparation de moulage	**25**
II.1.1. Moulage en sable manuel	**25**
II.1.1.1 Moule (outil)	**26**
II.1.1.2 Noyau et boite à noyau	**26**
II.1.1.3. Sable a noyaux	**28**
II.1.1.4 Le châssis	**28**
II.1.1.5 Les corps de refroidissement	**29**
II.2 Technique de moulage	**29**
II.2.1. Moulage aux sable	**29**
II.2.1.1. Moulage aux sables à durcissement thermique	**30**
II.2.1.2. Moulage aux sables à durcissement chimique et physique	**31**
II.2.1.3. Moulage avec modèles perdus	**31**
II.3 Préparation de sable en fonderie POVAL	**33**
II.3.1 Le sable de moulage	**33**
II.3.2 Remplissage	**33**
II.3.3 Serrage	**34**
II.3.4 Démoulage	**34**
II.3.5 Moule inferieur	**34**

Sommaire

II.3.6 Moule supérieur	**35**
II.3.7 System d'alimentation	**35**
II.3.8 Les évents	**36**
II.3.9 Remoulage	**37**
II.3.10 Fermeture de moule	**37**
II.3.11 Coulée du métal	**38**
Chapitre III : Défauts de fonderie et défauts de chute de sable	
III. Défauts de fonderie et défauts de chute de sable	**39**
III.1. Définition	**39**
III.1.1. Principe Défauts de Fonderie	**39**
III.1.1.1. Défauts dus au retrait de solidification	**39**
III.1.1.2. Défauts dus au gaz	**42**
III.1.1.3 défauts dus au remplissage	**44**
III.2 Problème de défauts du Chute de sable	**45**
III.2.1 inclusion de sable	**47**
Chapitre IV : Etude cas	
IV. Etude cas	**48**
IV.1 Suivi des problèmes de chute de sable FGL 20 en POVAL (Berrouaguia)	**48**
IV.1.1 Introduction	**48**
IV.1.2 Suivi des compagnes	**48**
IV.1.2.1 Les compagnes pour la pièce antigoise et volant de moteur	**48**
IV.1.3 Les compagnes de l'analyse du sable neuf dans poval	**49**
IV.1.4 Analyser les résultats des graphiques	**54**
IV.1.4.1 le graphe de H_2O sur taux de rebut	**54**
IV.1.4.2 le graphe Bentonite par taux de rebut	**55**

Sommaire

Conclusion Générale
Bibliographie

Introduction générale

Introduction

L'élaboration d'une fonte commence par le choix de la composition chimique de base. Cette composition impose les matières premières qui constituent les charges des moyens de fusion, les traitements de la fonte à l'état liquide, la détermination des pertes ou gain au feu. En règle générale, le cahier des charges de la pièce moulée à fournir est caractérisé par les propriétés mécaniques et physiques du matériau utilisé pour la fabriquer. Ces caractéristiques dépendent conjointement de la composition chimique finale et de la microstructure de la fonte. Cette microstructure est largement influencée par les vitesses de refroidissement pendant la solidification et à l'état solide, et par les traitements à l'état liquide du matériau. Il revient au fondeur de choisir la composition chimique de base initiale et les moyens de fusion à utiliser pour répondre au cahier des charges. Le choix des moyens de fusion utilisés est également fonction du flux d'alliage liquide à fournir au chantier de moulage et de sa flexibilité.

Certaines des caractéristiques imposées ne peuvent être obtenues qu'en utilisant des éléments d'alliage en teneur importante. Pour les fontes spéciales, les teneurs en éléments d'alliage sont encadrées par les normes ; dans les sabots de frein SNCF, par exemple, la teneur en phosphore est étroitement spécifiée pour la fonte à graphite lamellaire.

Les contrôles d'atelier sont mis en place pour prédire la microstructure et la composition de la fonte afin d'optimiser le coût de l'élaboration et d'intervenir par des traitements à l'état liquide de la fonte. Ces contrôles avant coulée permettent d'éviter les rebuts pour non-conformité de composition chimique ou de microstructure.

L'article présente l'ensemble des opérations métallurgiques qui permettent d'obtenir une fonte liquide utilisable pour la coulée des pièces en fonte, et les différentes opérations nécessaires à la préparation de l'alliage liquide, en quantité et en qualité, pour remplir les moules préparés sur les chantiers de moulage.

Le travail présenté dans ce mémoire est organisé en quatre chapitres, dont le premier chapitre représente une recherche bibliographique sur généralité sur la fonte, élaboration de la fonte, déférentes types de la fonte et types de fonte gris.

Le deuxième chapitre décrit préparation de moulage non permanent. Cette dernière est basée sur préparation de moulage et techniques de moulage.

Dans le troisième chapitre nous donnons les défaut de fonderie et défaut du chute de sable.

Et pour le quatrième chapitre, à étudier des contrôles qualités sur des compagnes d'élaboration des pièces en fonte FGL 20, suite de leurs résultats donner par le bureau contrôle qualité de POVAL pour mieux comprendre et analyser ce défaut de chute de sable.

Enfin, nous concluons ce travail par une conclusion générale.

Chapitre I

Technique d’élaboration de la fonte

I. Technique d'élaboration de la fonte :

I.1 Généralité sur la fonte :

I.1.1 Principes sur la fonderie :

La fonderie utilise très rarement des métaux à l'état pur, mais presque toujours des alliages qui présentent les avantages suivants :

1. Plus faciles à obtenir.
2. Plus basse température de fusion (par exemple 1536°C pour le fer et 1150°C pour la fonte).
3. Meilleure coulabilité.
4. Retassure et retrait souvent plus faible.
5. Plus grande facilité de réglage des caractéristiques mécaniques.[1]

Les alliages de fer sont les plus employés dans l'industrie. L'acier et la fonte, dont le rôle est le plus grand, sont des alliages fer-carbone.

I.1.2 Définition de la fonte en générale :

Les fontes sont toutes des alliages destinés à la fonderie. Elles se distinguent des autres alliages par leur excellente coulabilité (ce terme regroupe l'inertie thermique et la fluidité de l'alliage en fusion, il est mesuré de façon normalisée par une éprouvette en colimaçon de section triangulaire).

La fonte a une température de fusion allant de 1135 °C à 1350 °C, essentiellement en fonction du pourcentage de carbone et de silicium qu'elle contient. Lorsqu'elle en fusion, sa teneur maximale en carbone dépend de sa température. Au moment de la solidification, la quantité de carbone précipitant sous la forme de graphite dans la matrice métallique dépend des autres éléments présents (essentiellement le silicium) et des vitesses de refroidissement.

Elle peut être un précurseur dans la fabrication de l'acier à partir de minerai de fer. C'est l'alliage qui sort du haut fourneau et qui sera affiné en acier (par décarburation). On l'appelle alors fonte brute, pour la distinguer de la fonte de fonderie, généralement issue

d'une fusion au cubilot, de composition déterminée, et destinée à la production de pièces moulées.[2]

I.1.3 Histoire de la fonte :

La fonte fut découverte en chine durant la période des Royaumes combattants (IV^{6} siècle av. J.-C.). En Europe, c'est durant de XIX^{5}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). En 1709, 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 en fonte 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 maitres de forge.[2]

I.1.4 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.

1. 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 ;

2. 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 ;

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

4. La fonte FGS est particulièrement utilisée en éléments de voirie comme les grilles et regards d'assainissement (grille d'égout) ;

5. 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.

6. La fonte FGL est utilisée pour la fabrication de conduites et de tuyaux. A 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 deLa fonte FGL est préférée pour la réalisation des bâtis de machines-outils car elle a une très bonne capacité d'absorption des vibrations.

I.2. Elaboration de la fonte :

On distingue deux types de fontes selon leur mode d'élaboration et leur destination.

I.2.1 Fontes de première 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'oxydes 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 gueuses. Le minerai n'est jamais put, 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, contient 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 ≤ 0,06%.

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

1. 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 gueusent.

2. 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.[3]

a) 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 :

1. Hématite P < 0,2%.
2. Semi hématite P = 0,2 à 0,5%.
3. Semi – phosphoreuse P = 0,5 à 1%.
4. Cleveland P = 1 à 1,4%.
5. Phosphoreuse P > 1,4%.

b) 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%.

I.2.2 Fontes de deuxième fusion :[4]

Elles sont élaborées en fonderie par refusions d'un lit de fusion constitué de gueuses de première fusion, de fontes ou rejets de fonderie de deuxième fusion, de ferrailles ou aciers de récupération.

Ce sont soit des fontes grises, soit des fontes à graphite sphéroïdal (G.S) soit des fontes blanches destinées aux traitements de malléabilisation. Elles servent au moulage de toutes pièces mécaniques.

Les appareils de refusions principalement utilisés sont :

- Le cubilot
- Le four à induction
- Le four à arc HEROULT à garnissage basique.

Les petites fonderies qui limitent leur fabrication aux fontes utilisent des cubilots.

Les fours à arc servent de préférence à l'élaboration d'aciers fins ou d'aciers alliés. Certaines fonderies les utilisent pour l'élaboration de fontes dites « électriques » à très basse teneur en soufre dont le graphite est très régulièrement distribué.

Les fonderies modernes produisant un fort tonnage s'équipent de préférence en fours à induction polyvalents. La métallurgie du four à induction s'apparent à celle de l'ancien procédé dit « au creuset ». Elle consiste à fondre les charges nécessaires formant un lit de fusion à l'abri de toute pollution extérieure. Quelques additions judicieuses permettent d'obtenir la composition finale souhaitée.

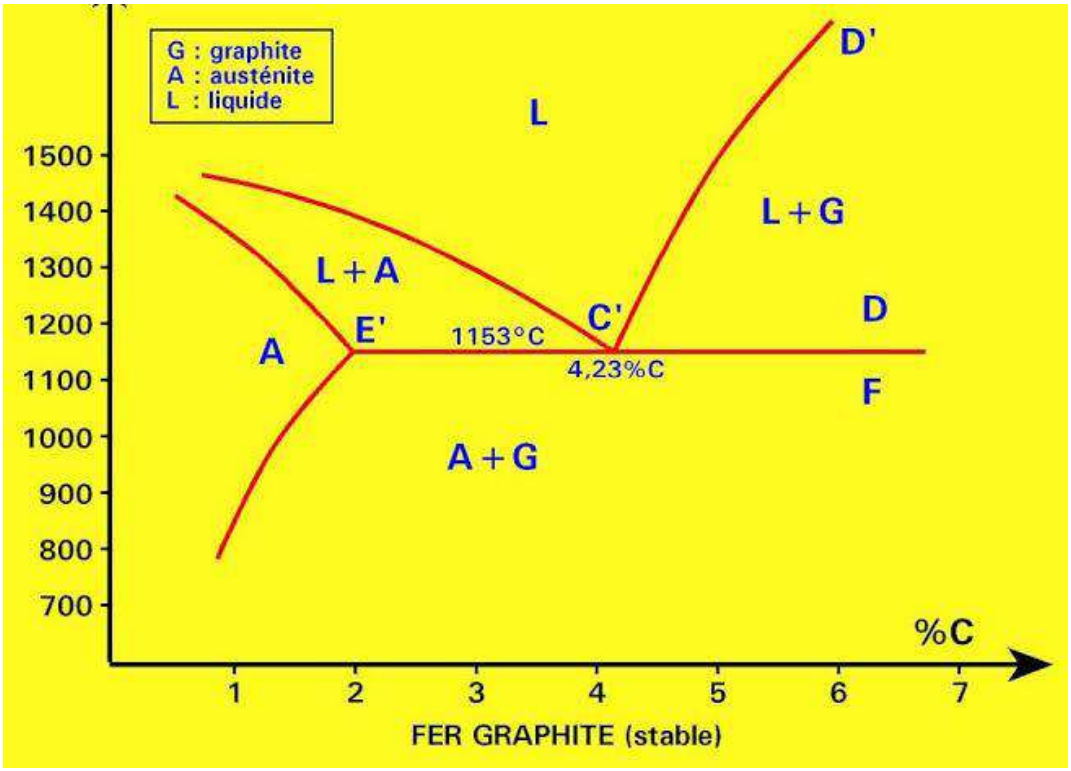


Figure 1 diagramme équilibre stable

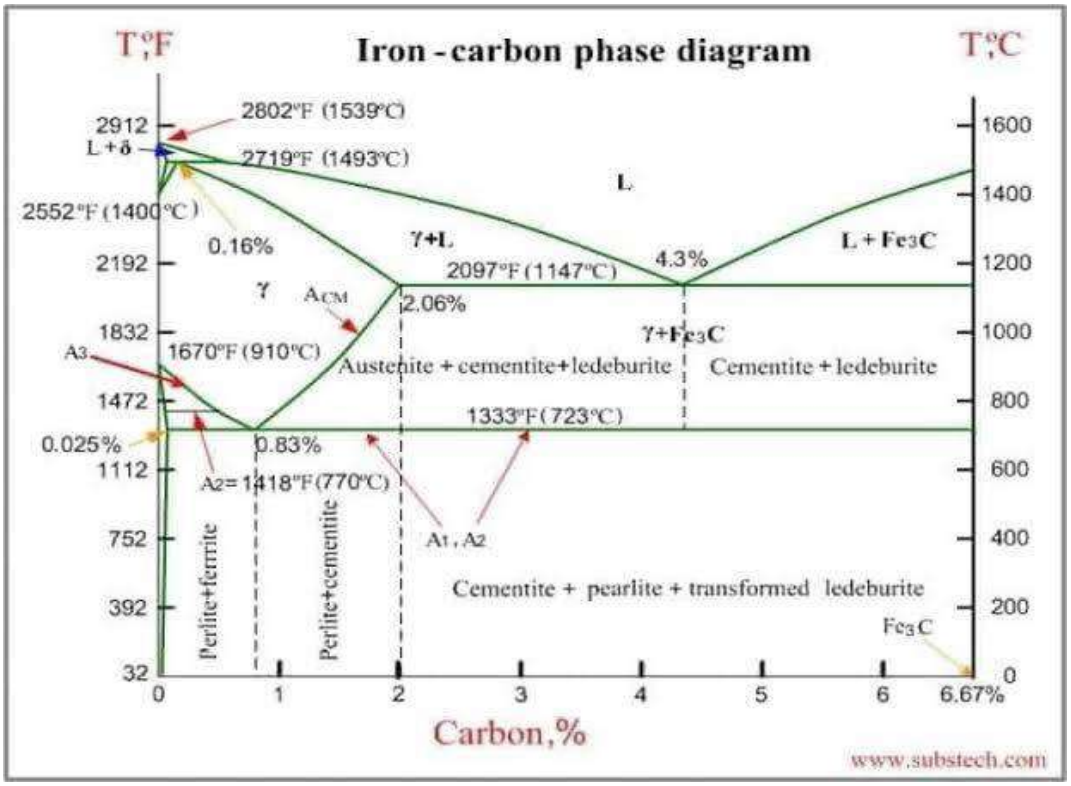


Figure 2 diagramme Fe_3C

I.2.3 Composition 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 :

1. Fonte hypo eutectique : de 2.11 à 4.3 % de carbone.
2. Fonte eutectique : 4.3 % de carbone, cette fonte a la température de fusion la plus basse à 1148 °C.
3. 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 :

$$Fe_3C \longrightarrow 3Fer + C \text{ (graphite)}$$

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 est Fe_3C.

Le cas est diffèrent pour les fontes qui ont une tenure 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 y n'a pas le temps de migrer sur de grandes distances et forme des carbures Fe_3C, la cémentite, sur place, alors que si la vitesse de

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 font à une température de 1153 °C.

On a donc deux types de fontes :

1. Les fontes blanches à cémentite.
2. Les fontes grises à graphite.

I.3. Différents types de fontes :

On peut classer les fontes moulées en deux catégories : les fontes non alliées et fontes alliées, ou fontes spéciales.
Les fontes non alliées se différencient d'après l'état du carbone. Ce dernier peut dans de nombreux cas se trouver à l'état libre appelé graphite ou, pour les fontes blanches, combiné au fer sous forme de cémentite. La répartition et la forme du graphite ou son absence permettent de classer les
différentes fontes non alliées.[5]

I.3.1 Fontes Blanche :

Leur solidification se fait suivant le diagramme fer-cémentite. De ce fait, leur structure est formée d'un réseau important de carbures et d'une matrice perlitiques. Leur cassure présente un aspect métallique blanc brillant. Ces fontes ont une bonne coulabilité, légèrement inférieures aux fontes grises. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- une grande dureté et une résistance à l'usure importante ;
- une grande rigidité mais une fragilité aux chocs ;
- une usinabilité par procédés spéciaux [5].

Il ne faut pas confondre fonte blanche avec les fontes trempées, il ne s'agit pas là d'une fonte martensitique. Une fonte de composition comparable à celle d'une fonte grise, coulée contre un refroidisseur peut se transformer en fonte blanche sur une certaine épaisseur. Cela permet d'allier de bonnes caractéristiques de

résistance à l'usure avec une meilleure capacité de résistance aux chocs. Dans la zone de transition entre la fonte blanche et la fonte grise, existe une structure intermédiaire (fonte blanche dans laquelle sont insérées des lamelles de graphite) dite fonte truitée.

Par rapport aux aciers, les fontes blanches présentent une dureté élevée, d'où une grande résistance à l'usure par frottement et par abrasion, par contre cette dureté les rend fragiles et pratiquement in usinables par les moyens courants.

Applications courantes :

1. **Fontes blanches** : boulets de broyage, galets d'écrasement, pièces de pompes pour matériaux abrasifs, pièces mécaniques devant résister à l'abrasion, garniture de meules, etc...
2. **Fontes trempées** : cylindres de laminoirs, roues de wagons, galets de ponts roulants, etc.

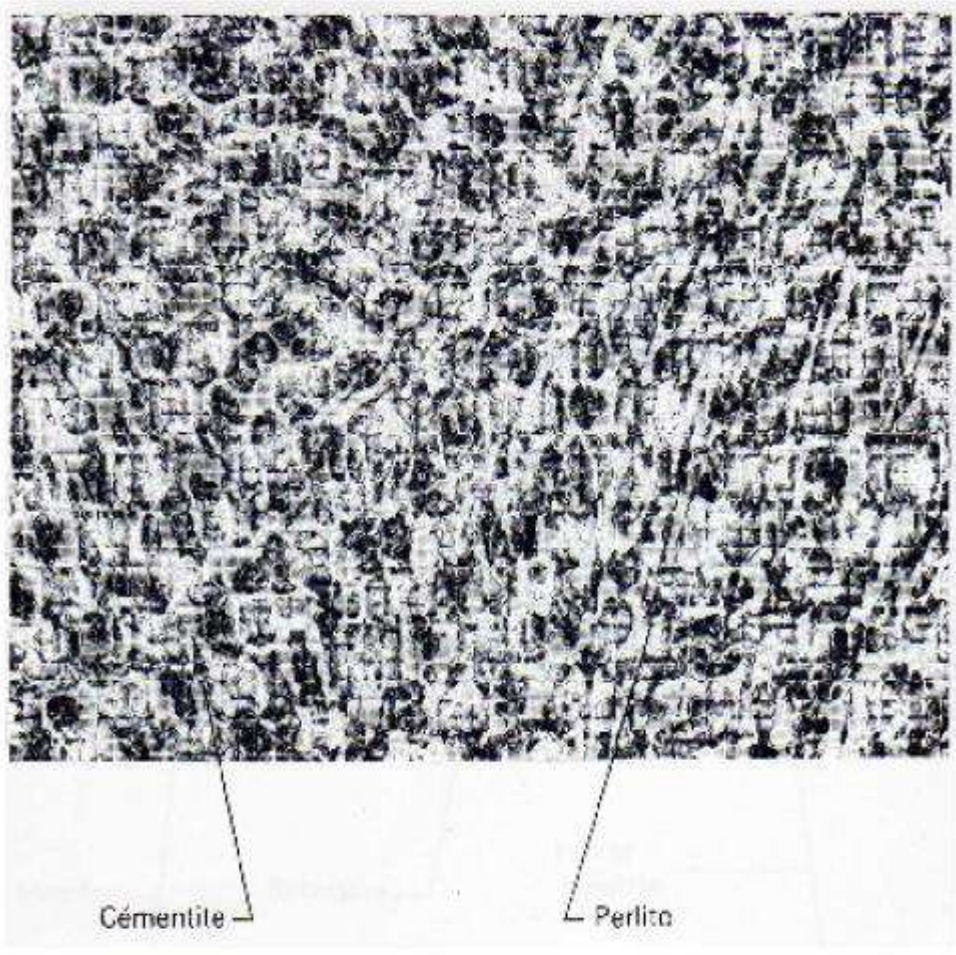


Figure3 Structure de fonte blanche brute de coulée. X 50 [6].

I.3.2 Fontes grises :

Dans ces fontes, la plupart du carbone se trouve sous forme de lamelles de graphite, formées par la solidification suivant le diagramme fer-graphite. Ce graphite donne aux fontes une cassure d'aspect gris, d'où leur nom.

a) Structure :

1. **Graphite** : dans l'espace, les particules de graphite se présentent comme des feuilles au profil plus ou moins tourmenté. Au microscope, elles apparaissent alors sous forme de bâtonnets aux extrémités effilées. Leur longueur peut atteindre le millimètre.

2. **Matrice :** comme dans les aciers, la matrice à l'état brut de coulée est composée de ferrite, perlite, ou d'un mélange des deux. On y trouve en plus des cristaux d'eutectique phosphoreux lorsque celui-ci dépasse 0.1% environ. Elle peut également contenir des carbures, lorsque la vitesse de refroidissement est importante ou lorsqu'elle contient des éléments carburigènes.

3. **Ferrite :** elle est plus dure que celle des aciers en raison de sa teneur en silicium plus élevée. La tendance à sa formation croît avec la quantité de carbone équivalent et celles des éléments graphitisants, mais elle diminue avec la vitesse de refroidissement (sauf s'il y a du graphite de type D).

4. **Perlite :** sa dureté croît avec la finesse de ses lamelles, sa qualité et sa finesse dépendent de la composition chimique de la fonte et augmentent avec la vitesse de refroidissement.

b) influence du graphite :

Si les lamelles de graphite n'ont que très peu d'influence sur la résistance à la compression, par contre il diminue considérablement la résistance à la traction de la matrice.

D'une part car il diminue la section efficace, d'autre part car les lamelles du fait de leur forme créent un effet d'entaille.

De ce fait lorsqu'un acier et une fonte présentent une dureté identique, la résistance à la traction de la fonte est beaucoup plus faible que celle de l'acier.

Exemple :

* XC 38 recuit HB = 180 Rm = 600 N/mm¨

* Fonte grise HB = 200 Rm = 200 N/mm¨

c) influence de la structure de la matrice :

L'influence des différents constituants est identique à celle qu'ils auraient dans un acier, mis à part la dureté de la ferrite qui est plus importante que dans le cas d'un acier (effet durcissant du silicium).

d) influence de l'épaisseur :

Les caractéristiques mécaniques dépendent beaucoup de l'épaisseur des pièces, car celle-ci fait varier la vitesse de refroidissement qui elle même a une grande influence sur la grosseur et la répartition du graphite ainsi que lorsque l'épaisseur des pièces diminue, la résistance et la fragilité augmentent, d'où la composition chimique de la fonte devra être adaptée aux épaisseur des pièces pour obtenir les caractéristiques mécaniques voulues.

I.4 Type de la fonte gris

I.4.1 Fonte GL (graphite lamellaire) :

C'est le type de fonte le plus employé. La structure d'une fonte grise est constituée par une Matrice métallique contenant du graphite qui apparait au microscope sous forme de lamelles (figures 4, 5).

Ce graphite peut également se présenter sous un aspect rayonnant autour d'un centre de Cristallisation. Il est alors appelé « graphite en rosettes ».[7]

Les principales caractéristiques des fontes GL sont :

- faible retrait à la solidification (le graphite gonfle) ;
- point de fusion bas ;
- bonne usinabilité (effet lubrifiant du graphite) ;
- bonne absorption des vibrations ;
- dureté variable entre 100 et 450 HB ;
- bonne conductivité thermique (matériau composite avec le graphite comme bon conducteur).[5]

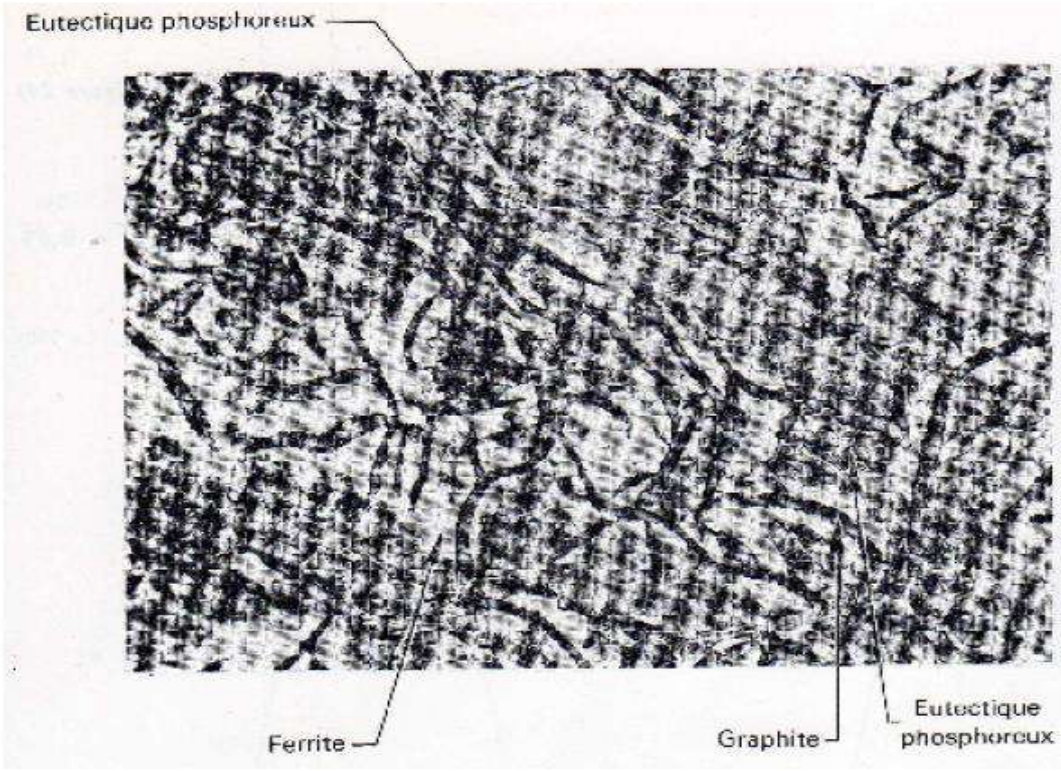


Figure 4 Structure de fonte grise à matrice ferrito-perlitique. X 250 [6].

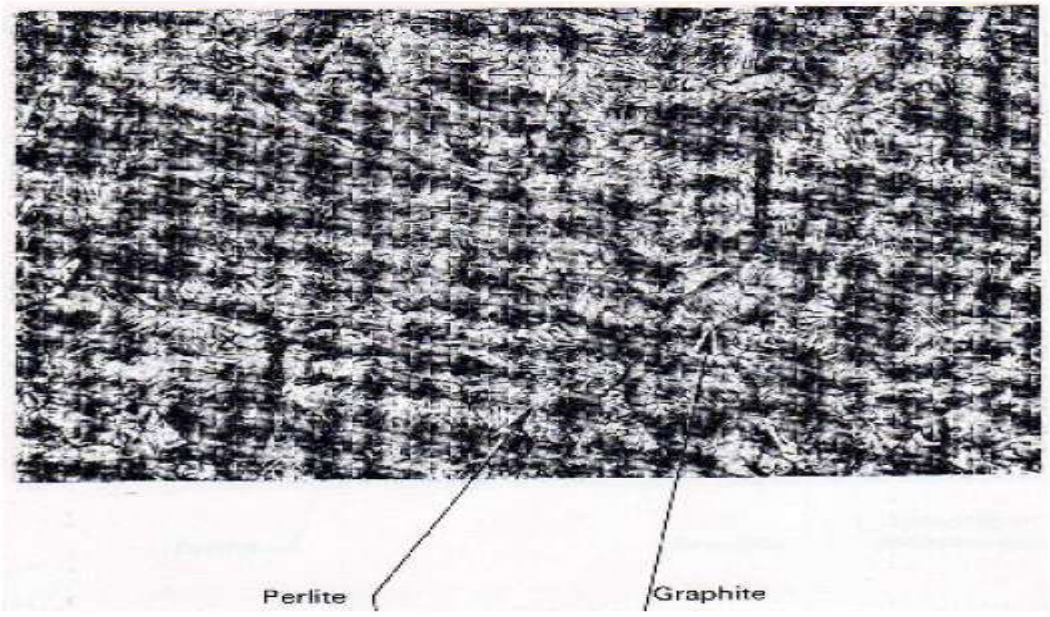


Figure 5 Structure de fonte grise à matrice entièrement perlitique. X 250 [6].

I.4.2 Fontes à graphite sphéroïdal :

Dans ce type de fonte, le graphite se présente à l'état brut de coulée sous formes de sphéroïdes (figure 1.5). On opère par précipitation du graphite en additionnant à la fonte liquide du magnésium (quelquefois du calcium ou du cérium). Les fontes à graphite sphéroïdal (ou fonte GS) ont un comportement en traction identique à celui de l'acier, avec les caractéristiques suivantes :

- une excellente ductilité (allongement de plus de 20%) ;
- une résistance à la traction de 38 à 95 daN/mm2,
- une bonne coulabilité et usinabilité [7].

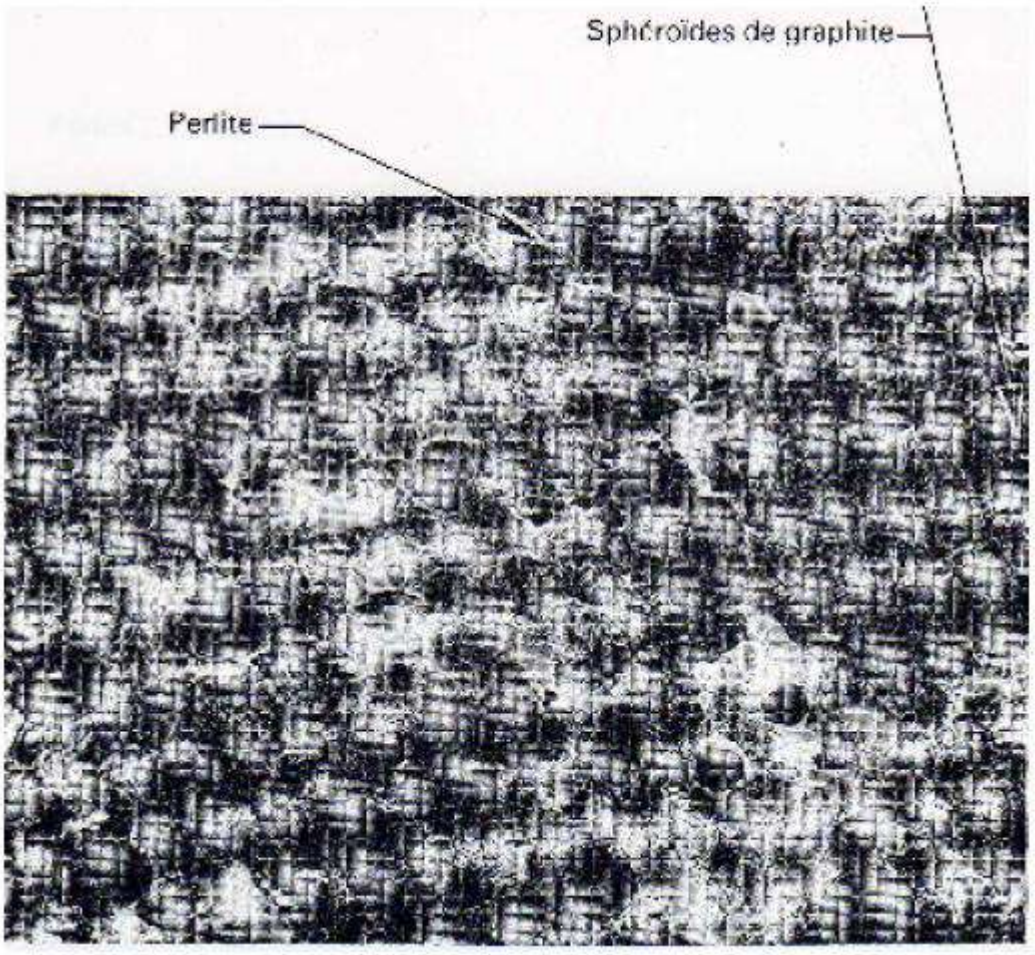


Figure 6 Structure de fonte à graphite sphéroïdal avec matrice perlitique. X 250 [6].

I.4.3 Fontes malléables :

Les pièces sont coulées en fonte blanche et subissent ensuite un traitement thermique destiné à décomposer la cémentite pour produire des agrégats, ou nodules, de graphite. On distingue deux classes de fontes malléables :

1. Fonte malléable à cœur blanc (anciennement appelée fonte européenne) : le traitement consiste en une décarburation plus ou moins accentuée.

2. Fontes malléables à graphite nodulaire ferritique ou perlitiques (anciennement appelées fontes malléables à cœur noir, ou américaines) : le traitement consiste en une précipitation du graphite sous forme de nodules.

Les diverses structures obtenues (ferritique ou perlitiques) confèrent à ces fontes de très bonnes caractéristiques :
- une excellente résistance à la traction ;
- une ductilité et une résistance aux chocs élevées ;
- une bonne coulabilité [7].

Il existe trois catégories de fontes malléables normalisées :

- fonte malléable à cœur blanc : NF A32-701

- fonte malléable à cœur noir : NF A32-702

- fonte malléable perlitique : NF A32-703

I.4.4 Fontes GV (graphite vermiculaire) : [8]

Fonte dans laquelle le graphite se trouve sous forme comprise entre les lamelles et les sphères. Cette microstructure particulière est obtenue par l'ajout de magnésium à teneur plus faible que pour les fontes à graphite sphéroïdal (généralement aux environs de 0.020 % contre 0.035% mini pour les FGS).

Il est également possible d'obtenir ce type de fonte en partant d'une fonte à graphite sphéroïdal et en bloquant la transformation des germes de graphite par apport de très faibles doses de titane. La microstructure des fontes vermiculaires allie les avantages de la fonte lamellaire (coulabilité, adsorption des vibrations) sans les inconvénients (fragilité) et les avantages de la fonte GS (résistance

mécanique). Le principal désavantage est la difficulté d'obtenir la structure souhaitée et de contrôler que l'on a bien obtenu cette structure.

♣ **Les propriétés mécaniques sont :**

1. EN-GJV-350-7(FGV 350-7).
2. RM : 350.
3. Rp0.2(Mpa) : 220.
4. A% :7.
5. Structure de la matrice : ferrite-perlite.
6. Dureté(HB) : 200.

I.4.5 Fontes Truitées :

Les fontes truitées se divisent en 02 groupes :

1. Les fontes truitées blanches.
2. Les fontes truitées grises.

Elles sont caractérisées par une bonne dureté (350 à 450HB) et résistance à l'usure assez élevée, elles sont utilisées pour la coulée des pièces travaillant a l'usure et au frottement tel que : les cylindres de laminoir [9].

Principales utilisations :

- Bloc moteur véhicule industriel : camion, automobile

I.5. Procédés d'élaboration :

I.5.1 Les étapes d'élaboration de la fonte :

L'élaboration de la fonte grise lamellaire type FGL20 dans la fonderie est réglementée par les étapes suivantes [10] :

1. Le stockage et le triage des déchets de récupération au niveau du parc ferrailles.
2. Remplissage de palettes, pesant une tonne de poids, à l'aide d'un aiment.

3. La collecte des palettes de ferrailles près du four de fusion (Bennage) après :
   - Analyse de différentes charges constituant le lit de fusion pour déterminer leurs compositions chimiques.
   - Ajustement du pourcentage du carbone et du silicium par additions des quantités nécessaire sous forme de Graphite et du alliage Ferro-Silicium.



Figure 7 l'aiment de remplissage



Figure 8 parc à ferrailles

4. Le transfert pour fusion au niveau du four de 2^{em}e fusion, et de capacité 6 tonnes jusqu'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 de 4 tonnes (1/3 de la capacité total 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 comme échantillons ; l'une pour le contrôle visuel et l'autre pour les analyses au niveau de laboratoire.
    - Suite aux résultats des analyses précédents, on doit juger nécessaire de porter des corrections sur la teneur des éléments principaux.
    - 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 figurent dans la.
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 thermique pendant leur remplissage (car la température de fusion est très élvée).
    - 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 la 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 compagne.

- 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.

I.5.2. Préparation des échantillons :[11]

Chaque échantillon doit subir une certaine préparation avant la réalisation de l'essai, cette préparation est différente d'une technique à l'autre mais généralement on n'a pas plus de quatre types d'opérations qui on peut l'utiliser.

- **Le prélèvement de l'échantillon :**

Le prélèvement de l'échantillon doit se faire de manière prudente et intelligente. Il n'y a pas de règles spécifiques à suivre car le choix de coupe dépend du type de l'essai ou l'analyse que l'on veut réaliser, les échantillons sont habituellement obtenus par découpage. Donc le découpage de l'échantillon recommander sous un jet d'eau ou liquide approprié [12].

- **L'enrobage de l'échantillon :**

Si l'échantillon est petit et sera difficile à polir tel quel ; on aura avantage à l'enrober. On a deux types de procédés d'enrobage, à chaud et à froid.

L'enrobage à chaud, la cohésion de la poudre thermoplastique ou thermodurcissable (Bakélite) avec l'échantillon dans le moule est assurée par le chauffage et la pression (5 bars, T°, 120^0 C à 180^0 C).cette opération nécessite 7 min environ. Le refroidissement de moule prend 3 min par circulation d'eau et on peut alors retirer l'échantillon enrobé.

Pour l'enrobage à froid, l' échantillon est plongé dans une résine durcie par un durcisseur. Mais demande plusieurs heures[12].

- **Le polissage de l'échantillon :**

C'est l'étape la plus difficile, la plus longue et la plus importante de la préparation d'un échantillon particulièrement l'échantillon métallographie.

Le but est d'obtenir une surface plane, exempte de raies bien dégraissée et sans déformation gênante. Il faut procéder en trois étapes qui sont ; stable de l'abrasion, polissage grossier et polissage final.

On utilise de nos jours la méthode du polissage électrolytique pour la préparation d'échantillons métallographiques.

- **L'attaque de l'échantillon :**

Cette opération est destinée pour l'examen métallographique, l'attaque fera apparaitre les différentes phases, les inclusions et les joints de grains de l'échantillon [12].

I.6 Types de four :

Il existe de nombreux types de fours utilisés en moulage des métaux. En voici quelques-uns parmi les plus courants : le cubilot, les fours électriques (four à résistance rayonnante, four à arc électrique) et four à induction.

I.6.1 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 voute 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 convention et réverbération de la voute.

La capacité des ces fours peut atteindre 25 T d'acier liquide.[6]

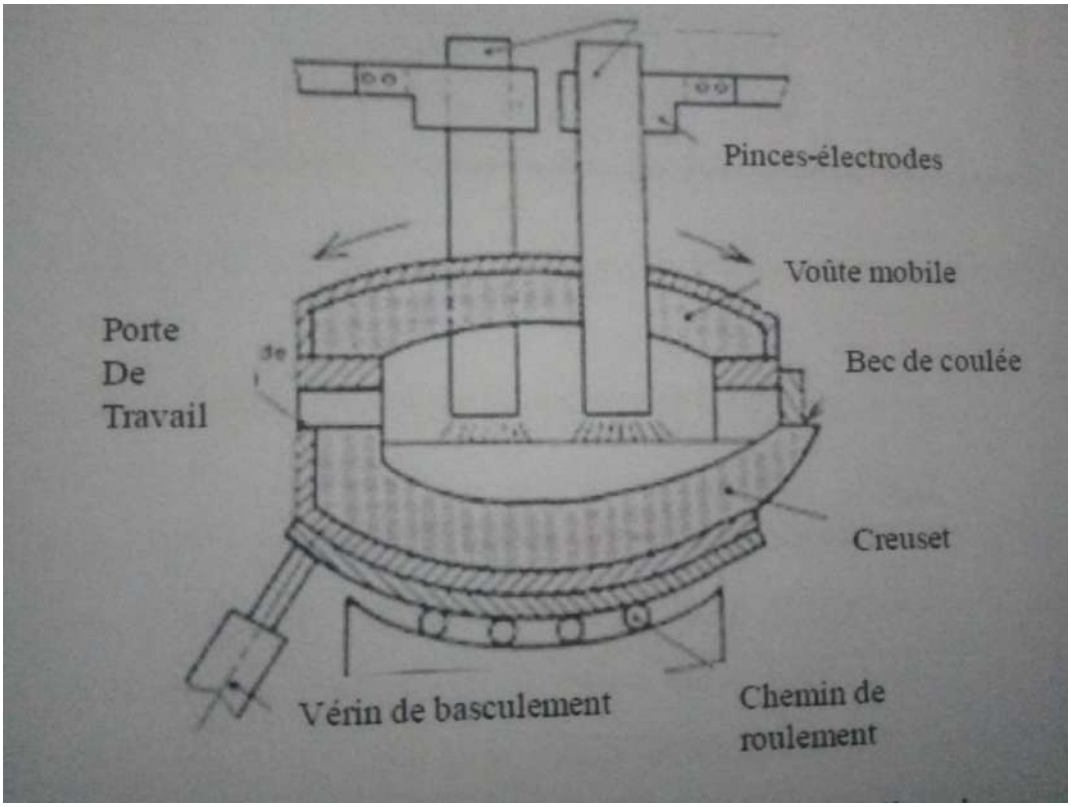


Figure 9 four à arc électrique

I.6.2 Four à induction :

La maturité du développement des diodes et des thyristors de puissance autorise la construction de générateurs électriques basés sur l'utilisation de champ magnétique variable. En effet, les courants induits, ou courants de Foucault, produits par ces équipements permettent d'obtenir, par effet Joule, des puissances thermiques suffisamment importantes pour qu'elles puissent assurer

industriellement la fusion des métaux. Ce type de générateur thermoélectrique de fusion, pour la fonderie, est le four électrique à induction [2]

Il y a principalement deux familles de four :

- Four à creuset basse fréquence (BF), ou fréquence réseau (50 ou 60 Hz).
- Four à creuset moyenne fréquence (MF), de 100 à 10 000 Hz.

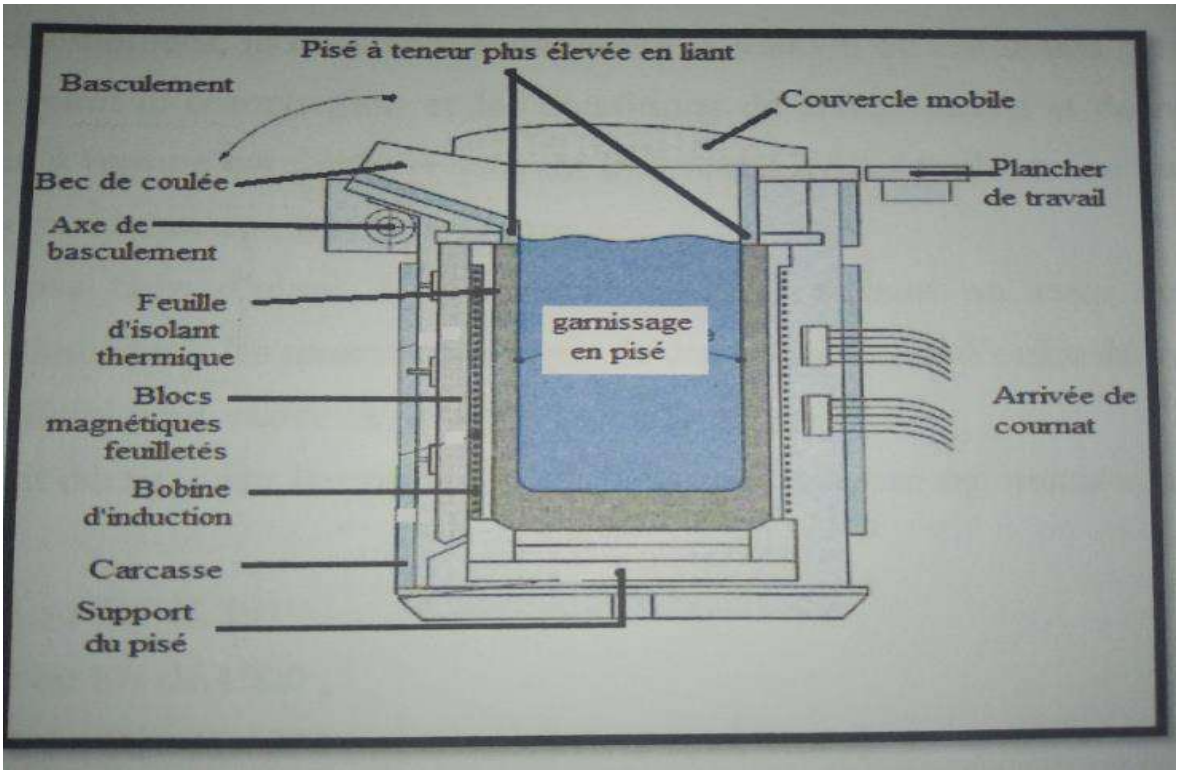


Figure 10 four à induction à creuset [2].

Chapitre II

Procédé de moulage non permanent

II. Procédé de moulage non permanent

II.1 Préparation de moulage

L'opération de moulage est l'une des plus importantes du processus industriel de la fonderie. Est un ensemble de procédés qui permet de réaliser des pièces métalliques brutes par coulée du métal en fusion dans un moule en sable ou en métal (représentant l'empreinte de la pièce à obtenir). Le métal en se solidifiant, reproduit les contours et dimensions de l'empreinte du moule.

II.1.1. Moulage en sable manuel

Le moulage en sable manuel est utilisé surtout pour la fabrication des pièces unitaires et des pièces de grandes dimensions, qui ne peuvent pas être réalisées dans des machines de moulage.

La figure 11 représente le matériel nécessaire pour le moulage en sable manuel :

- Modèle et noyau.
- Châssis.
- Sable de moulage.
- Métal liquide.
- Aiguille (pour la confection de trous d’air).
- Truelle (pour rendre lisse la face de joint du moule).
- Pilette, Fouloir (pour le compactage du sable).
- Spatule (pour rendre lisse les différentes surfaces du moule après démoulage).
- Mandrin de coulée (pour la confection du trou de coulée).
- marbre; (sur lequel s'effectue la préparation du moule).

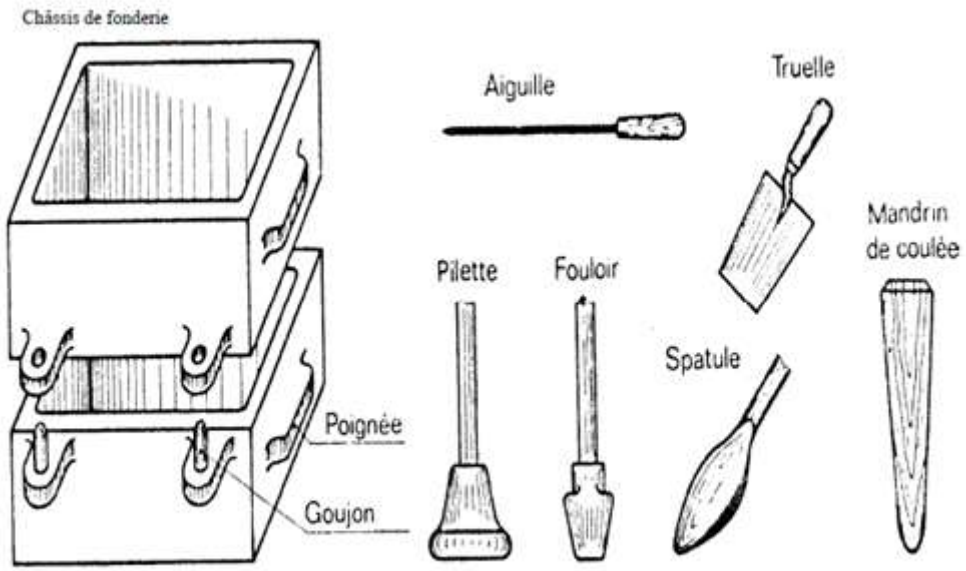


Figure 11 : Matériel de moulage

II.1.1.1 Moule (outil) :

Un moule est un élément servant à la fabrication d'autre élément par les techniques de moulage. Le moule représente en creux la forme de l'objet que l'on désire obtenir, on y coule un matériau sous forme liquide, puis on attend que ce matériau refroidisse et passe à l'état solide. Ce moule est constitué d'un matériau qui varie en fonction de l'objet à obtenir, de sa complexité, du métal coulé, du nombre d'exemplaires désirés et de son prix de revient.

Il y a trois types de moule **:**

• Moule en sable, ne sert qu'une fois. Pour toute forme de fabrication (unitaire ou grande série), dans toutes les matières.

• Moule métallique, cher à réaliser et à entretenir, pour la fabrication grande série de pièces en alliages légers (aluminium, zamak, plastique).

• Moule souple (caoutchouc, latex, silicone), surtout utilisé en fonderie d'art pour la reproduction fidèle d'objet à réaliser sans fusion ou pour prendre une empreinte. [13].

II.1.1.2 Noyau et boite à noyau

Pour obtenir le contour intérieur de la pièce on emploie les noyaux, qui sont placés dans le moule. Le moulage avec noyau s'impose lorsque les pièces présentent des évidements qu'il serait difficile ou même impossible d'obtenir par moulage au naturel.

Le noyau est confectionné en sable auto-siccatif, dans un moule appelé boite à noyau en bois ou métallique (figure12, figure13) et se compose de deux parties assemblées par des groupes de repérage.

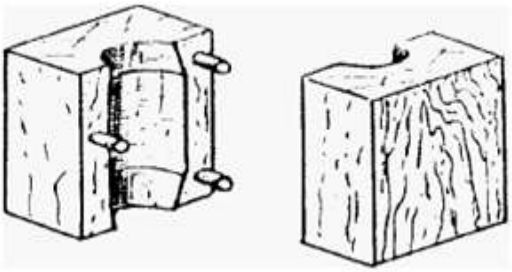


Figure 12 : Boite à noyau ouverte

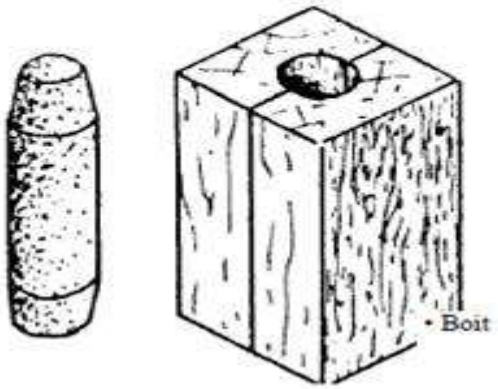


Figure 13 : Boite à noyau et noyau fermée

Lorsque le sable est serré ce dernier prend la forme du moule. Le noyau est sorti de la boite sans détérioration, ensuite il est séché (cuit) à F étuve pour lui donner une solidité lui permettant de résister à l'érosion du métal en fusion et aux efforts de compression qu'il subit lors du refroidissement de la pièce.

L'incorporation de certaines résines synthétiques au sable du noyau permet :

- Soit un moulage du noyau dans une boite métallique chauffée modérément et dans laquelle le sable est injecté. Le durcissement dure alors moins d'une minute. Un dispositif pneumatique porté par la machine assure l'ouverture et la fermeture de la boite.

- Soit un moulage à la main et un durcissement à froid moins rapide, mais qui dispense de l'étuvage habituel (séchage thermique ou durcissement chimique).

Les dimensions du noyau sont établies comme celles du modèle, en tenant compte des surépaisseurs d'usinage, du retrait et de la dépouille éventuellement. Pour la fabrication des pièces en petites série, on utilise les noyaux perdus, qui sont confectionnés à partir du sable siliceux et liant. Ces noyaux sont détruits lors de l'extraction de la pièce coulée.

Pour la fabrication de pièces en grande série, on utilise le plus souvent les noyaux en acier ou en fonte, afin d'éviter leur collage avec la pièce, ils sont peints avant la coulée avec

un noir résistant à la chaleur. Lors de l'extraction de la pièce, ils ne sont pas détruits et peuvent être réutilisés.

II.1.1.3. Sable a noyaux

La composition des sables de moulage et de noyaux est très diverse et dépend de la nature du métal, de l'épaisseur des parois de la pièce, de sa masse, forme etc...

Les sables a noyaux doivent être plus compressibles, réfractaires et perméables que les sables de moulage car autour du noyau se trouve le métal liquide, c'est pourquoi pour le noyautage on utilise des matériaux plus réfractaires (la proportion en sable quartzeux est élevée).

Donc l'élément de base d'un noyau est le sable siliceux avec addition des agglutinants et agglomérant. L'argile naturelle représente un type d'agglutinant et peut devenir plastique en présence de l'eau, son rôle est de souder entre eux les grains de silice. L'agglomérant est destiné à donner une résistance après cuisson.

Les différents types d'agglomérant utilisés en fonderie sont la dextrine, huile de lin, l'huile cuite, produit de pétrole distillé, lessive sulfurique. Ces deux types de liants sont introduits en quantité de 1 à 5% pour augmenter les propriétés du sable et cela grâce a la formation d'une pellicule dure autour des grains du sable pendant le séchage.

Pour la fabrication des pièces en alliages non ferreux on utilise du sable argileux et pour les alliages a base de magnésium on ajoute 0.51% de soufre jusqu'à 0.5%, d'acide borique pour éviter l'action nocive de l'oxygène. Dans le cas des sables spéciaux tels que, le sable au silicate de soude, le sable soumis l'action du gaz carbonique (CO_2) durcit instantanément, ce sable contient 95÷97% de sable quartzeux, d'argile, 5÷7% de verre soluble ou de sable auto-durcis sable qui assure son durcissement pendant 3÷5min. Pour cela on doit introduire dans le sable 5% de verre soluble et 2+3% de laitier contenant Cr_2O_3.

II.1.1.4 Le châssis

C'est un cadre rigide fabrique en fonte, en acier ou en aluminium parfois en Bois, sans fond destiné à contenir et à soutenir le sable constituant le moule. Un châssis complet comprend au moins deux parties.

II.1.1.5 Les corps de refroidissement :

Les corps de refroidissement forment une certaine partie à la surface de la pièce coulée et sont destinés à absorber rapidement la chaleur du métal coulé. Ils sont introduits dans le moule aux endroits favorisants les retassures.

II.2 Technique de moulage :

Le moulage est l'action de prendre une empreinte qui servira ensuite de moule dans lequel sera placé un matériau et qui permettra le tirage ou la production en plusieurs exemplaires d'un modèle. Le moulage consiste donc à placer un matériau (liquide, pâte, poudre, feuille, plaque, paraison, préforme, pastille, etc.) dans un moule dont il prendra la forme. On a plusieurs types de moulage :

- Moulage en sable.
- Moulage métallique ou moulage permanent.
- Procédés spéciaux de moulage.[14]

II.2.1. Moulage aux sable : [15]

Le moulage en sable est l'un des plus vieux procédés de moulage connu. Il s'agit d'un procédé à forme (ou moule) perdue. Le moulage est fabriqué manuellement ou à l'aide de Machines d'après un mélange de sable siliceux et d'argile ou de résine. On place dans une boîte à noyau une moitié de modèle que l'on remplit de sable, on procède de même avec l'autre moitié. Pour marquer les parties creuses on dispose des noyaux également formés de sable. Après moulage la forme est perdue car détruite.

Le moulage en sable est employé pour réaliser des grosses voire très grosses pièces, pour les petites et moyennes séries et pour les pièces uniques et les prototypes. Il s'agit des cas où la réalisation d'un moule dur serait trop onéreuse ou carrément infaisable.

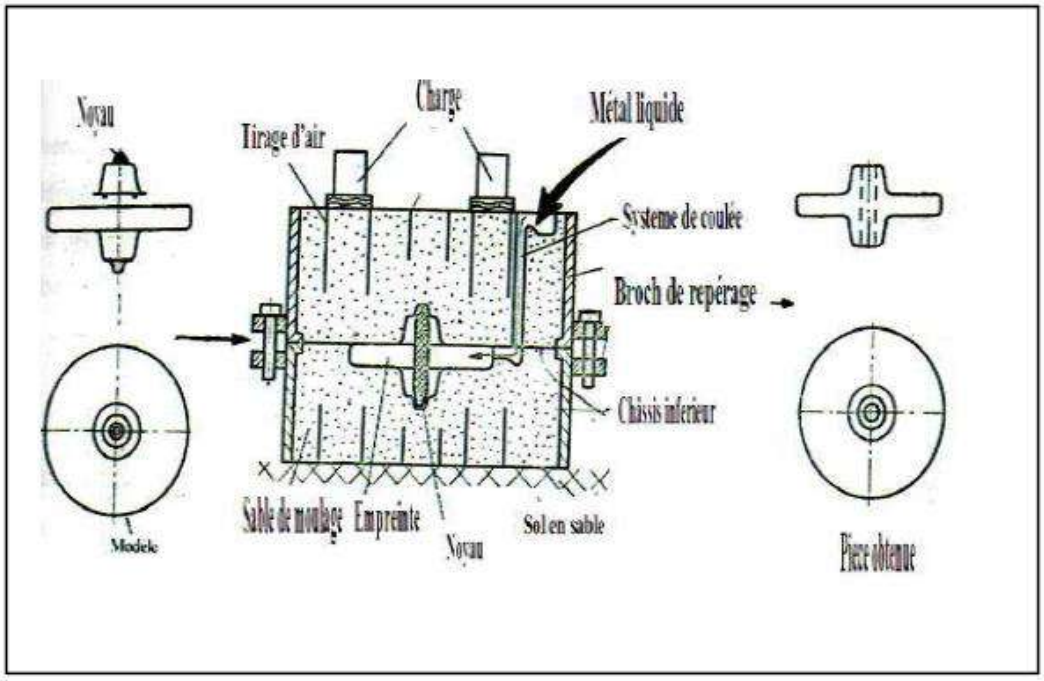


Figure 14 : Une mole en sable avec les déférentes parties essentielles [16]

II.2.1.1. Moulage aux sables à durcissement thermique:

La matière première de base pour les procédés à durcissement thermique reste le sable siliceux suffisamment pur, mélangé à des liants organiques (huiles siccatives, résines), le sable étant serré ou soufflé dans une boîte à noyaux ou contre une plaque-modèle. Le chauffage du mélange provoque la prise ou polymérisation des liants et le durcissement du sable. On distingue deux procédés:

- le chauffage du sable en dehors de l'outillage après démoulage.
- le chauffage du sable par contact avec un outillage chauffé.

a) Chauffage et durcissement du sable en dehors de l'empreinte:

Le sable est mélangé avec deux liants pour lui donner la cohésion à vert (conservation de sa forme après démoulage de la boîte à noyaux) et la résistance mécanique finale après cuisson à 250°C.

b) Chauffage et durcissement du sable dans l'empreinte:

L'utilisation de mélanges de sable sec et de résines thermodurcissables permet d'obtenir directement dans des empreintes chauffées à 200-240°C des noyaux ou des carapaces, avec des temps de production de l'ordre de quelques minutes.

II.2.1.2. Moulage aux sables à durcissement chimique et physique:

Dans les procédés modernes à prise chimique, à liants organiques ou minéraux, on à cherché à supprimer l'étuvage des moules ou la cuisson des noyaux qui conduisent à des

noyaux qui conduisent à des déformations, nuisent à la qualité des pièces et nécessitent des matériels importants. En outre, ces opérations induisent des manutentions très nombreuses,

d'un coût très élevé, aussi bien en fabrication de pièces unitaires qu'en fabrication de pièces de série.

a) Sables auto durcissant (durcissement chimique):

Ces sables durcissant directement au contact avec les modèles utilisent pour les plus anciens des liants minéraux (ciment, plâtre, silicate). Les nouveaux procédés à liants organiques (résines synthétiques) sont plus performants. Ils ont amélioré considérablement la fonderie de pièces unitaires notamment, permettant de développer l'emploi des modèles en

polystyrène, source de productivité importante dans cette spécialité.

• **Sables au ciment:** Le ciment est employé comme liant en substitution de l'argile, Le durcissement se fait lentement, par un mécanisme de prise hydraulique et il faut éliminer l'excès d'eau par séchage ou chauffage.

b) Moulage par congélation (durcissement physique):

Ce procédé consiste à lier les grains de sable par de la glace. Le matériau de moulage est constitué essentiellement par du sable siliceux mélangé à 4 % en masse de bentonite et 4 à *6%*en masse d'eau. La congélation de l'eau est obtenue par injection d'azote ou de co2 liquides sur les surfaces de l'empreinte après démoulage.

II.2.1.3. Moulage avec modèles perdus :

Les techniques les plus diffuses sont, pour la plus ancienne, celle du moulage à cire perdue et pour la plus moderne, le moulage à modèle en polystyrène connu sous le nom de procédé Lost Foam ou PMP. [17]

a) Moulage en polystyrène expansé:

Ce procédé, appelé aussi moulage à modèle perdu, moulage à modèle gazéifiable ou Lost Foam.

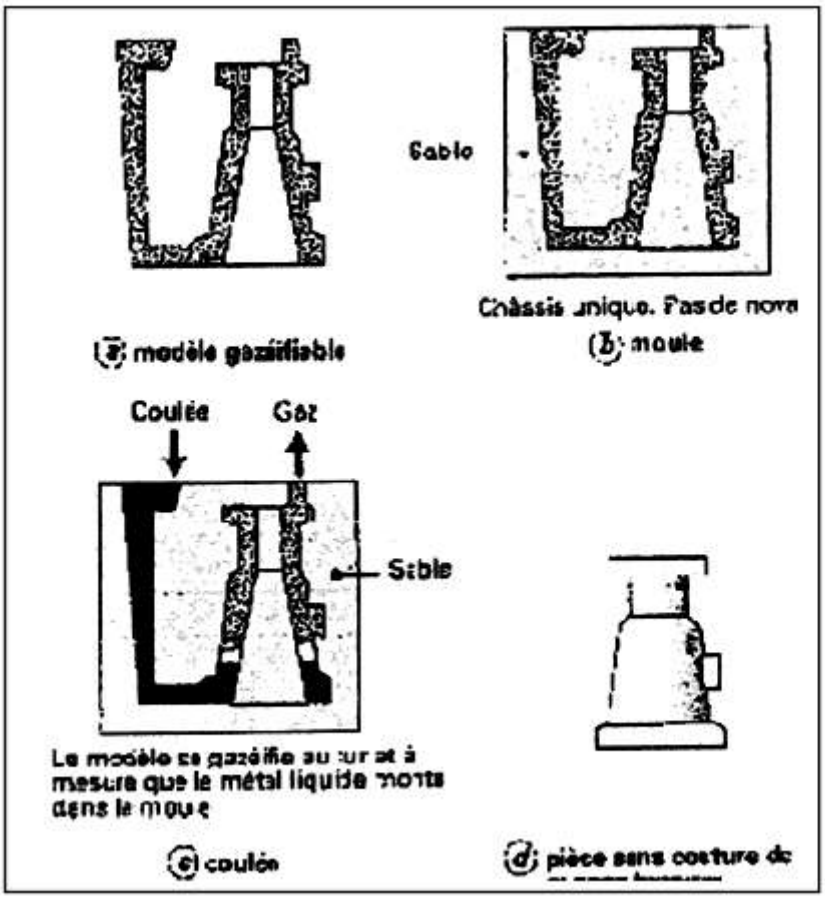


Figure 15 : Moulage au polystyrène expansé

Le principe de ce procédé consiste à fabriquer un modèle en polystyrène expansé, noyée suite dans le sable de moulage. À la coulée, le métal liquide vaporise le modèle et remplit peu à peu l'empreinte, d'où le nom de procédé avec modèle gazéifiable. Utilisé au départ pour la fabrication des grosses pièces unitaires (outils d'emboutissage par exemple), il s'est ensuite développé plus progressivement dans le domaine des pièces de grandes séries, tant en aluminium qu'en fonte et en acier, pour lesquelles de très nombreuses installations sont maintenant en production industrielle.

- Moulage avec modèles en polystyrène pour grosses pièces unitaires.
- Moulage avec modèles en polystyrène pour pièces de série.

b) Moulage à la cire perdue, dit aussi moulage de précision:

Les modèles sont réalisés en matières fusibles (cire, urée, polystyrène...), assemblés en grappes, recouverts de couches réfractaires et éliminés ensuite par dissolution ou par voie thermique.

II.3 Préparation de sable en fonderie POVAL :

II.3.1 Le sable de moulage :[18]

Le sable de moulage doit être infusible (résister à la température de coulée du métal), résistant (résister à l'érosion du métal liquide) et poreux (ne peut s'opposer au passage des gaz produits au moment de la coulée)

C'est un cadre rigide fabrique en fonte, en acier ou en aluminium parfois en Bois, sans fond destiné à contenir et à soutenir le sable constituant le moule. Un châssis complet comprend au moins deux parties.



Figure 16 : Deux châssis

II.3.2 Remplissage :

Après la pose de plaque model en pose le chassais sue les goujons pour remblais le chassais par le sable.



Figure 17 : Remplissage

II.3.3 Serrage :

C’est une opération pour serré le sable dans le chassais par une machine qui marche avec la vibration et pression pour fabriquer l’empreint.



Figure 18 : Serrage

II.3.4 Démoulage :

C’est l’opération qu’on enlève le moule partir d’un plaque modèle chassais.



Figure 19 : Démoulage

II.3.5 Moule inferieur :

C’est ½ moule qui contient le souvent le system d’alimentation (les attaque) ainsi qui la descente et la partie de remoulage (la pose de noyau).



Figure 20 : Moule inferieur

II.3.6 Moule supérieur :

C'est un ½ moule supérieur qui contient le system de coulé (descente, l'entonnoir masselotte et l'évent).



Figure 21 : Moule supérieur

II.3.7 System d'alimentation :

- **Entonnoir de coulée :**

Destiné à recevoir et à couler le métal liquide provenant de la poche de coulée vers le canal de descente.

- **Canal de descente :**

C'est un canal vertical, destiné à conduire le métal liquide vers les autres éléments du système de coulée.

- **Canal transversal :**

C'est un canal horizontal ayant en plus le rôle de la conduite du métal, un autre rôle c'est la retenue des particules de la scorie et les autres impuretés non métalliques.

- **Canal arrivée :**

Il conduit le métal liquide directement dans l'empreinte du moule. Le plus souvent l'entonnoir de coulée, le canal de descente et le canal transversal se trouvent dans la partie supérieure du moule (châssis supérieur). Les systèmes de coulée peuvent être à 2,3 ou 4 éléments.

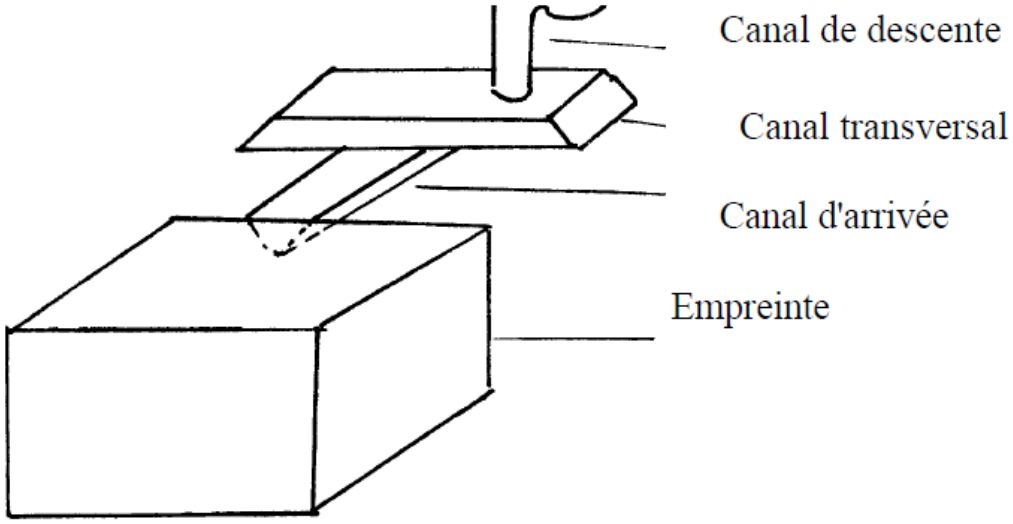


Figure 22 : système de coulé

II.3.8 Les évents :

Sont de petits canaux en communication avec la pièce qui facilement le dégagement des gaz qui remplissent le vide des moules ; ils préviennent également que le moule est rempli et permettent, si besoin est, de faire dégorger une partie du métal coulé.



Figure 23 : Les évents et canal descente

II.3.9 Remoulage :

Pose du noyau s'il y a lieu, on donne au noyau un appui par sa partie ou ses parties hautes.



Figure 24 : Remoulage

II.3.10 Fermeture de moule :

C'est opération d'assemblage de deux chassais par les crocher pour évité l'enlèvement de 1/2 moule supérieur.



Figure 25 : Fermeture de moule

II.3.11 Coulée du métal :

Après la fusion de métal dans le four à T=1200 c en surchauffe le métal jusqu'à 1400 c pour évité le refroidissement après sa coulé en poche. Après remplissage complète de la poche de coulé en jette confite de slave pour agglomérer la crasse a fin d'illuminer facilement.



Figure 26 : Le four et l'opération de coulée

Chapitre III

Défauts de fonderie et défauts de chute de sable

III. Défauts de fonderie et défauts de chute de sable :

III.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.

Imperfection d'un œuvre, et absence de ce qui serait nécessaire ou désirable .Il s'agit d'exposer les moyens et les méthodes de contrôle de qualité du produit moulé.[18]

III.1.1. Principe Défauts de Fonderie : [19]

Les défauts peuvent être groupés d'après :

- Les causes qui sont à la base de leur formation.
- Leur aspect.
- Les facteurs métallurgiques ou de moulage desquels ils relèvent.

Pour classification des défauts suivants leurs causes sont défauts dus retrait du métal (retassure, arrachement a chaud, poquelles, etc.…), défauts dus à la coulabilité des alliages (mal venu, reprise, etc.…), défauts de non-conformité aux plans (liquation, ségrégation, etc.…), défauts dus aux inclusions (crasses, gouttes froides, etc. …), défauts dus aux sables (érosion, ver, etc. …), défauts dus à la pression du métal sur les moules et noyaux(noyau cassé, moule détérioré, etc. …), défauts de fonderie dus aux gazes(Soufflure , piqures, etc. …), et défauts divers(support fondu, coulé à court, etc. …), et pour leur l'aspect on a excroissances, cavités, inclusion, etc. ….

III.1.1.1. Défauts dus au retrait de solidification :

Les défauts de retrait apparaissent lorsque le métal liquide ne parvient plus à compenser les contractions dues à la solidification du métal. On peut distinguer les défauts débouchant sur la surface de la pièce de ceux restant à l'intérieur de la matière. Les défauts visibles de la surface sont (criques débouchant), qui s'apparentent à une déchirure de la peau de la pièce, et les (dépressions) qui sont une déformation concave. Les défauts dus au retrait restant à l'intérieur de la pièce, appelés (retassures), Ce défaut se caractérise par une cavité interne ou externe à parois rugueuse. La cause principale est le retrait à l'état liquide de solidification. Le mécanisme de formation de ce défaut est le suivant :

La solidification commence le long des parois du moule et progresse vers le centre de la pièce.

Chaque couche solidifiée a subi d'abord le retrait liquide puis, surtout, le retrait de solidification. Le métal liquide alimente les couches en cour de solidification, mais plus la solidification progresse, plus le volume restant à combler augmente et ceci par l'addition des retraits. Ce volume peut être débouchant ou interne suivant le type de d'alliage (à intervalle de solidification ou eutectique) et la configuration de la pièce.

Ce défaut peut être également causé par un tracé défectueux de la pièce et par un système d'alimentation insuffisant : mauvais emplacement de celui-ci et volume des masselottes insuffisant.[18]

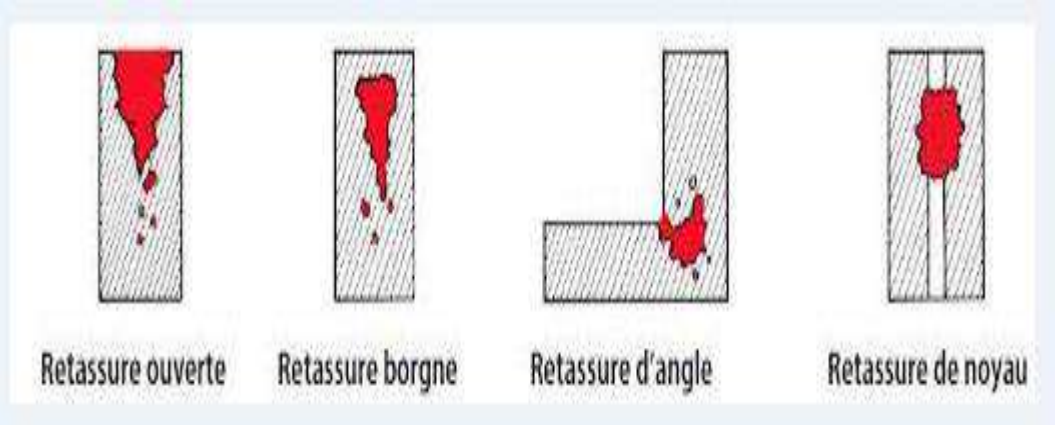


Figure 27 : défirent type de retassure

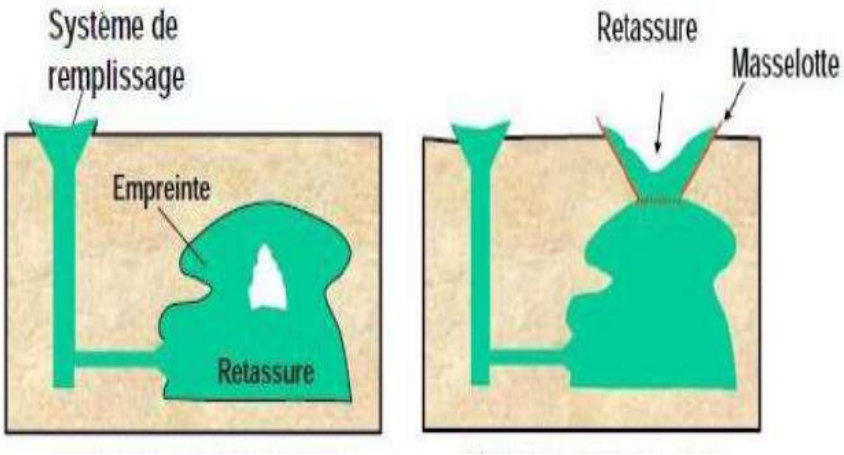


Figure 28 Coulée sans masselotte Figure 29 Coulée avec masselotte

a) Causes :

La cause principale est la contraction de volume subie par le métal :

- ✓ A l'état liquide, dans le moule, jusqu'au de la solidification.

- ✓ En passant de l'état liquide à l'état solide.

Des causes accessoires peuvent éventuellement agir sur l'importance, l'aspect et la localisation du défaut ce sont :

- ✓ Les gaz dégagés par le moule et la pression atmosphérique (effet léonard).
- ✓ L'effet, sur les parties en cours de solidification, du retrait solide de parties déjà solidifiées (crique de retassure).
- ✓ Des dégagements gazeux au serin du métal liquide (soufflures endogènes, retassures dispersées).
- ✓ Les déformations du moule sous l'effet de la dilatation due à son élévation de température ou de la pression du métal (pression statique ou gonflement de solidification).

b) Remèdes aux retassures :

- Tracé
  - ✓ S'astreindre à constituer les pièces régions dont les modules soient sensiblement égaux, ou aillent en croissant vers les masselottes (solidification dirigée). Il s'agit bien entendu de modules corrigés suivants les formules en usage.
  - ✓ Modifier éventuellement le tracé par addition de surépaisseurs qui seront, si c'est nécessaire, enlevées à l'usinage.
- Métal
  - ✓ Utiliser un alliage ne présentant qu'une contraction de solidification faible ou nulle. La fonte grise ou la fonte G.S sont les seuls alliages de fonderie susceptibles de se prêter, dans une certaine mesure à un tel réglage par variation de la teneur en graphite eutectique.
- Coulée
  - ✓ Limiter, dans la mesure du possible, la température de coulée afin réduire la contraction à l'état liquide.
- Alimentation
  - ✓ Masselottes disposées de façon à alimenter les zones de haut module, comportant une réserve de métal en quantité suffisante et pourvues d'un tracé ou de dispositifs permettant un libre passage du métal liquide jusqu'à la fin de la solidification.

- ✓ Emploi de produits exothermiques.
- ✓ Nombre de masselottes suffisant, compte tenu des zones d'action propres au métal à alimenter et du degré de compacité exigé.
- ✓ Utilisation éventuelle de refroidisseurs externes ou internes, pour crée des effets d'extrémité ou pour modifier les modules.
- ✓ Addition éventuelle de nervures de refroidissement.

III.1.1.2. Défauts dus au gaz :

Les (porosités) ou les (soufflures) c'est le défaut est plus important et ponctuel. Correspondent à la formation de bulles de gaz dans le métal pendant sa solidification. Ce phénomène est dus au fait que la plupart des matériaux peut contenir une plus grande quantité de gaz dissous à l'état liquide qu'à l'état solide. Le gaz dissous est donc rejeté au moment de la solidification, jusqu'à former des bulles. Ces bulles sont facilement décelables lorsqu'elles débouchent à la surface de la pièce : elles apparaissent comme une (piqûre) ou un cratère.

Elles peuvent également rester piégées au sein du métal, affaiblissant alors dangereusement la pièce moulée. L'azote, l'oxygène et l'hydrogène sont les gaz les plus fréquemment trouvés dans les soufflures.[20]

Ce sont des cavités internes ou externes provoquées par un dégagement gazeux à travers l'alliage encore liquide.

Les origines peuvent être :

- Alliage gazé pendant l'élaboration et les manutentions et que lèbre les gaz pendant la solidification.
- Dégagement de vapeur d'eau du sable.
- Entrainement d'air à la coulée et mauvais tirage d'air dans le moule.
- Réaction moule métal.
- Trace d'humidité.[21].

a) Causes :

Les soufflures et les piqures se produisent du fait de gaz inclus dans le métal en cours de solidification. Toutefois les gaz peuvent être à l'origine d'autres défauts :

1/ Origine métallurgique (soufflures endogènes).

-Tenseur en gaz du bain trop élevée (matières premières, mode de fusion, atmosphère, etc.) ; le gaz dissous se dégage lors de la solidification.

-S'agissant d'acier moulé, de fonte et de malléable : formation d'oxyde de carbone, par réaction du carbone avec l'oxygène présent comme gaz ou l'état d'oxyde. Possibilité d'un agrandissement des soufflures d'oxyde de carbone par diffusion d'hydrogène ou exceptionnellement d'azote.

2/ Gaz provenant des matériaux constituant le moule ou les noyaux (soufflures exogènes)

-trop forte humidité des moules ou noyaux.

-agglomérant ayant une forte tendance à libérer des gaz.

-trop forte proportion d'additifs contenant des carbures d'hydrogène.

-noirs et couches ayant une trop forte tendance à libérer des gaz.

3/ Gaz retenu mécaniquement (soufflures exogènes)

-insuffisance d'évacuation de l'air et des gaz remplissant l'empreinte.

-insuffisance de perméabilité du moule ou des noyaux.

-entrainement d'air par suite de turbulence dans le jet de coulée.

b) Remèdes :

- Supprimer les sources des gaz
- Dégazage avant solidification
- Poteyages non réactifs
- Améliorer l'évacuation des gaz
- Events
- Tirage d'air
- Perméabilité moule
- Contrôler l'humidité des sables
- Améliorer le tracé des conduites de Remplissage.

➢ Pour la fonte et la malléable :

-Empêcher l'introduction d'oxyde et l'oxydation du bain en évitant d'employer des charges rouillées et en surveillant la fusion.

-Exceptionnellement contrôler la teneur en azote.

-Surveiller la teneur en aluminium, cause possible d'introduction d'hydrogène.

-Vérifier que la température de coulée n'est pas trop basse.

III.1.1.3 défauts dus au remplissage :[22]

La pièce se solidifie avant de remplir complètement l'empreinte ou présente un manque de matière dans les parties supérieures du moulage. Ceci peut être due à une température de coulée basse, une fluidité et coulabilité insuffisantes ou un tracé incorrect de la pièce (sections trop faibles).

a)Malvenu :

La pièce est complète à l'exception des angles saillants qui sont plus ou moins arrondis. S'agissant de fonte, la surface est généralement brillante et se laisse bien décaper.

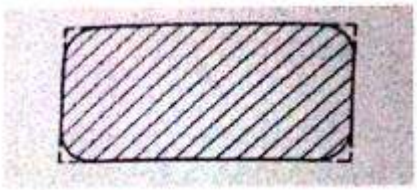


Figure 30 : Dessin représente le malvenu

Causes :

- Manque de fluidité et de coulabilité du métal liquide du à une température de coulée trop basse eu égard à la composition.
- Remplissage trop lent de l'empreinte par suite d'une trop faible section des jets et des attaques.
- Dégagement d'air insuffisant (perméabilité, évents, tirages d'air).
- En coulée en coquille : température trop basse de la coquille.

Remèdes :

- Régler la température de coulée assez haut, eu égard à la composition chimique de l'alliage a taux épaisseurs de moulage.
- Vérifier le systèmes d'attaque et augmenter les sections s'il y a lieu.
- En coulée en coquille : élever la température de coquille.
- Améliorer la perméabilité et les dispositifs de dégagement des gaz.

b)Manque :

Une partie de la pièce manque, généralement à la partie supérieure du moule ou dans une région éloignée des coulées. Les arêtes à l'endroit du défaut sont arrondies. Les surfaces avoisinant le défaut en général sont brillantes.

Les jets de coulée, chenaux, attaques sont bien remplis.

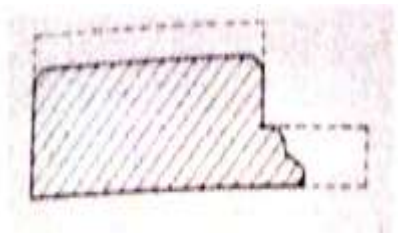


Figure 31 : Dessin de manque

a) Causes :

- Température de coulée trop basse. Fluidité et coulabilité du métal insuffisantes.
- Système d'attaque de section insuffisante ou mal conçu eu égard à la forme du moulage.
- En moulage en coquille : température trop basse de la coquille, départs d'air insuffisants.

b) Remèdes :

- Elever la température de coulée.
- Modifier la conception ou les dimensions de coulée.
- Prévoir des tirages d'air plus efficaces.
- Elever la température de la coquille.

Si les conditions le permettent, s'entendre avec le client pour augmenter les épaisseurs de la pièce.

III.2 Problème de défauts du Chute de sable :

Excroissance irrégulière, massive à apparence de cassure, sur la face supérieure du moulage. On retrouve en général sa contrepartie sous forme d'inclusion de sable ou manque de matière.[23]

Ce défaut, à l'inverse du défaut cassure de moule, se produit aussi sur des faces de moulages lisses, sans qu'il y ait une gale au-dessous de lui.

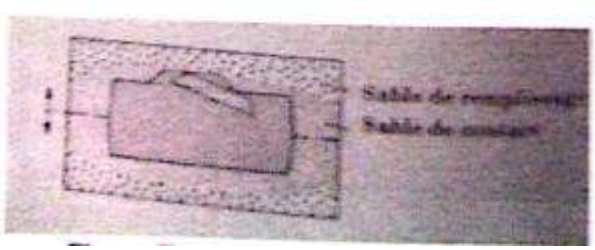


Figure 32 : Dessin de chute de sable

a) Causes :

Le sable de contact ou, de façon plus générale, la couche de sable voisine du modèle, n'adhère pas assez au sable de remplissage et se détache :

- Au moment du démoulage (sable collé au modèle).
- Pendant la manutention du moule.
- Pendant le remmoulage.

La tenue insuffisante du sable provient d'un pouvoir agglomérant insuffisant (trop faible résistance à vert) surtout lorsque le moule est réalisé par couches séparées (sable de contact et sable de remplissage) ayant des propriétés à vert différents. La séparation des éléments du moule peut être provoquée au moment de la coulée par la dilatation de la couche de contact.

b) Remèdes :

- Augmenter la proportion d'agglomérant dans le sable du moulage.
- Eviter de fortes différences de propriétés à vert surtout de résistance, quand plusieurs sables doivent être employés dans un même moule.
- Serrer régulièrement de sable.
- Vérifier le moule avant le remmoulage. Réparer les points endommagés au démoulage. Employer des points ou des croches.



Figure 33 : Image de pièce d'essai en fonte, la couche de

Sable de contact s'est séparée de sable de remplissage.

III.2.1 inclusion de sable :

Inclusion de sable de forme irrégulière, le plus souvent compactes au voisinage de la surface supérieure du moulage. Souvent visibles sur le moulage brut de coulée, mais pouvant n'apparaitre qu'à l'usinage. En général, il y a en d'autres endroits de la pièce, des excroissances métalliques massives.

Comme ci-dessus, mais il y a des cavités de 2 à 6 mm d'épaisseur, plus ou mois développées, avec en général des inclusions de sable attentes. Ce défaut apparait toujours en même temps que les défauts de gale.[24]

Causes :

- Morceaux détachés du moule ou des noyaux
- Manque de soin au moulage
- Erosion ou frottes
- Croutage du sable dû à la dilatation de la silice

Remèdes :

- Prévoir largement l'évacuation de l'air et des gaz de l'empreinte (évents et tirage d'air).
- Augmenter la perméabilité du moule ou des noyaux.
- Contrôler le système de coulée.
- Dans le cas de moulage étuvé, s'assurer que l'étuvage est suffisant.
- Dans le cas de moulage à vert, contrôler l'humidité du sable.
- Diminuer la proportion d'agglomérant ou d'additif ou changer l'agglomérant ou d'additif.

- Employer des noirs ou des couches à réaction réductrice.
- Engorger la coulée et réduire la hauteur de chute.
- Augmenter la pression statique par accroissement de la hauteur des jets de coulée.

Chapitre IV

Etude cas

IV. Etude cas

IV.1 Suivi des problèmes de chute de sable FGL 20 en POVAL (Berrouaguia) :

IV.1.1 Introduction :

Suivi des compagnes des pièces en fonction de taux de rebut à partir du bureau du contrôle dans l'unité de fonderie poval a travers les tableaux présentés ci-dessous (tableau 1, 2)

- Après le suivi de compagne des pièces, nous allons également une analyse chimique de FGL20 dans laboratoire de poval qui responsable de la réalisation d'analyses, lorsque nous avons d'acquérir les résultats présentés dans le tableau 4
- Ces analyses, faites-nous aussi nous analysons le sable, le tableau (4) présente les résultats.

IV.1.2 Suivi des compagnes :

Dans cette étude, nous avons 2 pièces que nous avons fait la suive de compagne :

IV.1.2.1 Les compagnes pour la pièce antigoise et volant de moteur :

Le tableaux suivant exprime la compagne pour la pièce antigoise et volant de moteur :

Tableau 1 : la compagne de la pièce antigoise et volant de moteur(24)

N de la compagne	La date	pièce	Poids en (Kg)	Rebut	%
Compagne01	15/12/2015	14	16	14Chute	45.46
Compagne02	16/03/2016	53	16	20chute	37.73
Compagne03	06/04/2016	95	16	35chute	36.84
Compagne04	16/04/2016	27	23	15chute	33.33
Compagne05	31/05/2016	21	16	10chute	47.61
Compagne06	17/07/2016	44	16	20chute	45.45
Compagne07	23/07/2016	24	16	24chute	46.8
Compagne08	15/09/2016	54	23	25chute	46.29
Compzgne09	08/01/2017	09	23	09chute	100
Compagne10	23/01/2017	11	16	5chute	45.5
Compagne11	30/04/2019 30/09/2019	704	16	92chute	13.86
Compane12	30/08/2019 30/01/2020	331	23	56chute	19.68

IV.1.3 Les compagnes de l'analyse du sable neuf dans poval :

Composition du sable de moulage

- 1690kg---1620g sable vieux…..93.2
- 80kg---110kg sable neuf…..5.2
- 13.3kg---20.80kg bentonite…..0.9
- 9.9kg----16.80kg poussier de charbon…0.7

Somme : 1823.2kg----1837.6kg capacité malaxeur 100

- Valeurs physiques nécessaires et valeurs des analyses de sable

- Humidité 3.5….4.5
- Résistance au cisaillement 0.19….0.26kgf/mm2
- Résistance a la compression 0.8….1.2kgf/mm2
- Perméabilité 100….180
- Bentonite 9….11
- Carbone 3.5…4.5

Dans l'analyse suivant toute les assai se faite en objet

Tableau 2 : les compagnes de l'analyse du sable 19/20 (24)

Date	Arrivé Départ (h ; mm)	Poids (g)	Essai	compression	cisaillement	plasticité	Perméabilité	HO_2	C%	Bentonite (%)
09/05/ 2019	9 :40 10 :40	145g	1er essai	1.54	0.28	0.18	190	4.48	3.20	7.36
	10 :45 11 : 40	144g	2em essai	1.55	0.34	0.22	200	4.34	3.20	8.61
09/06/ 2019	11 :20 12 :20	145.5 g	1er essai	1.50	0.30	0.19	185	3.80	2.19	6.68
	16 :20 17 :10	144.6 g	2em essai	1.55	0.30	0.20	185	3.28	2.19	6.20
18/11/ 2019	08 :40 09 :30	146 g	1er essai	1.95	0.38	0.19	175	3.44	3.07	9.30
01/12/ 2019	9 :30 10 :20	144 g	1er essai	1.68	0.32	0.19	175	3.91	2.93	9.30
09/01/ 2020	8 :30 9 :50	145.5 g	1er essai	1.60	0.30	0.19	198	3.70	3.11	10
14/08/ 2020	9 :11 10 :15	143 g	1er essai	1.30	0.20	0.14	190	2.96	3.07	5.30
	12 :50 13 :50	143 g	2em essai	1.50	0.21	0.14	180	3.34	3.07	7.30
15/09/ 2020	9 :05 9 :55	148 g	1er essai	1.05	0.25	0.24	120	5.35	3.3	8.60
	11 :00 11 :45	148 g	2em essai	1.35	0.22	0.16	180	3.85	3.3	7.30

- **Norme internationale pour sable moulage fonte**

Tableau 3 : Norme internationale pour sable moulage fonte [24]

caractéristique	Normes
Humidité en%	3.5---4.0
Bentonite en%	9---14
Carbone en%	3.5---4.5
Sio2 en%	>=97
Résistance à la compression (kgf/mm2)	0.9---1.2
Résistance au cisaillement (kgf/mm2)	0.19---0.26
Perméabilité (Unité)	100---180
Degré de régularité	>-65
Diamètre moyen (mm)	0.17---0.25
Pert au feu(%)	<=1
Sable pur (%)	>=96
Matière en suspension (%)	<=2
Fe2O3/Al2O3 en%	<=1
Cao/MgO en %	<=2

Tableau 4 : les compagnes de l'analyse du sable 16/17 [24]

Date	Arrivé Départ (h :mm)	Essai	Compression	Cisaillement	Plasticité	Perméabilité	H_2O	C	Bentonite	Observation
19/03/2017	09 :05 09 :52	1re 147g	1.60	0.32	0.2	155	3.29	3.20	8.60	Sable de retour
	09 :04	2éme 147g	1.60	0.32	0.2	155	4.05	3.20	8.60	Sable de décochage
	09 :05 09 :52	3éme 147g	1.60	0.32	0.2	155	4.36	3.20	8.60	Mélangeur
16/02/2017	09 :45 10 :02	1er 147g	1.80	0.39	0.22	155	3.71	2.91	9.30	Sable de retour
	09 :45 10 :05	2éme 147g	1.80	0.39	0.22	155	4.77	2.91	9.30	Sable de décochage
	09 :45 10 :36	3éme 147g	1.82	0.39	0.21	160	3.99	3.29	9.30	Mélangeur
13/01/2017	12 :45	1er 147g	1.70	0.35	0.20	170	4.06	3.07	8.60	Retour Serrage
	12 :45 13 :27	2éme 147g	1.70	0.35	0.20	170	4.62	3.07	8.60	Mélangeur
09/01/2017	08 :30 09 :10	1er 148g	1.60	0.33	0.21	160	3.52	5.07	8.60	Sable serrage retour20 Découchage
	09 :08 09 :48	2éme 148g	1.60	0.32	0.20	150	3.45	2.87	8.60	1ermélange Moule cassée
	10 :00 10 :40	3éme 148g	1.70	0.34	0.20	160	3.33	2.82	9.30	2éme mélange 25l H_2O
25/12/2016	08 :45 09 :05	1er 147g	1.45	0.29	0.20	170	3.46	3.11	6.60	Sable retour 1
	10 :20 11 :05	2éme 147g	1.45	0.29	0.20	170	3.10	3.11	7.30	Sable retour 2
	09 : 47 10 :30	3éme 147g	1.55	0.35	0.22	170	3.85	2.95	8.00	1er mélange 18L eau 15kg (bent)
24/09/ 2016	08 :50 09 :41	1er 150g	1.6	0.31	0.19	145	2.98	2.68	8.00	/
	10 :20 11 :05	2eme 150g	1.6	0.31	0.19	145	3.40	2.77	8.60	Correction eau
	13 :40 14 :05	3eme 150g	1.5	0.27	0.18	145	3.38	2.84	9.30	/
28/06/ 2016	10 :20 11 :10	1er 150g	1.35	0.25	0.18	135	3.25	2.85	8.60	/
	14 :20 15 :00	2éme 150g	1.50	0.26	0.17	145	3.36	2.93	8.60	/
31/05/ 2016	10 :05 10 :50	1er 150g	1.10	0.24	0.22	130	3.30	2.68	9.30	/

IV.1.4 Analyser les résultats des graphiques :

Sur les tables précédemment obtenues, Nous examinerons les résultats par le graphique de la courbe pour chacun des éléments : H_2O et la bentonite en fonction de taux de rebut, voir les figures

IV.1.4.1 le graphe de H_2O sur taux de rebut :

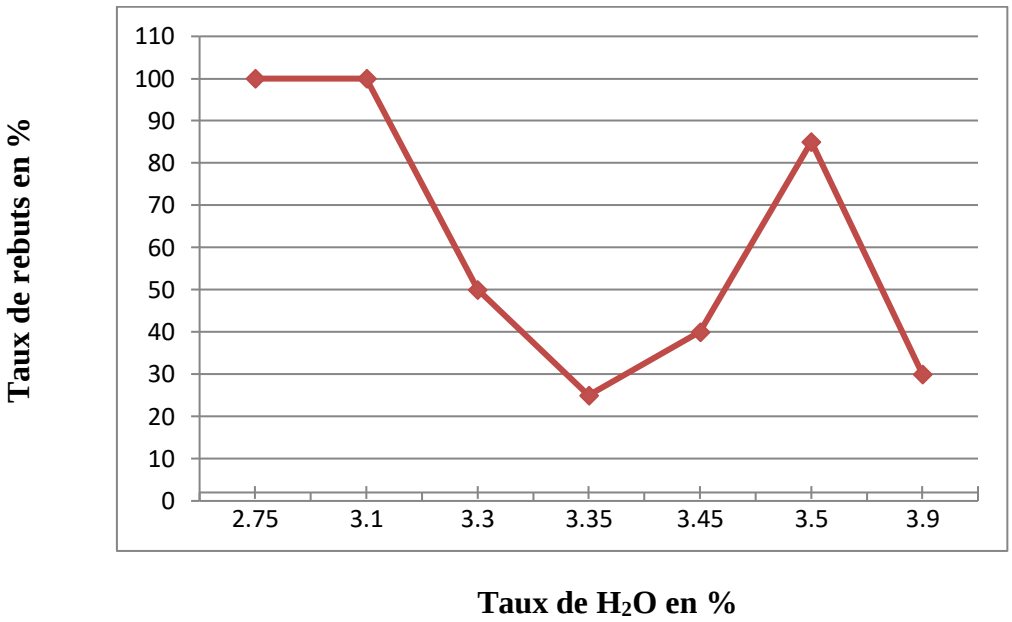


Figure 34 : l'influence de H_2O sur le taux de rebut

Dans ce graphe au-dessus, de l'influence de H_2O sur le taux de rebut et d'apre l'étude nous remarquons que :

- Lorsqu'il le pourcentage de humidité (H_2O) est moins que à 3.10%, le taux rebut devient le grande proportion pouvant aller jusqu'à 100 %.
- Lorsque humidité appartient à cet intervalle $3.2\% < H_2O < 4.0\%$, donc il permet d'éviter le taux de rebut et cela montre les normes du tableau 4.
- L'humidité est un élément important qui doit être suivie dans l'intervalle précédemment mentionnée.

IV.1.4.2 le graphe Bentonite par taux de rebut :

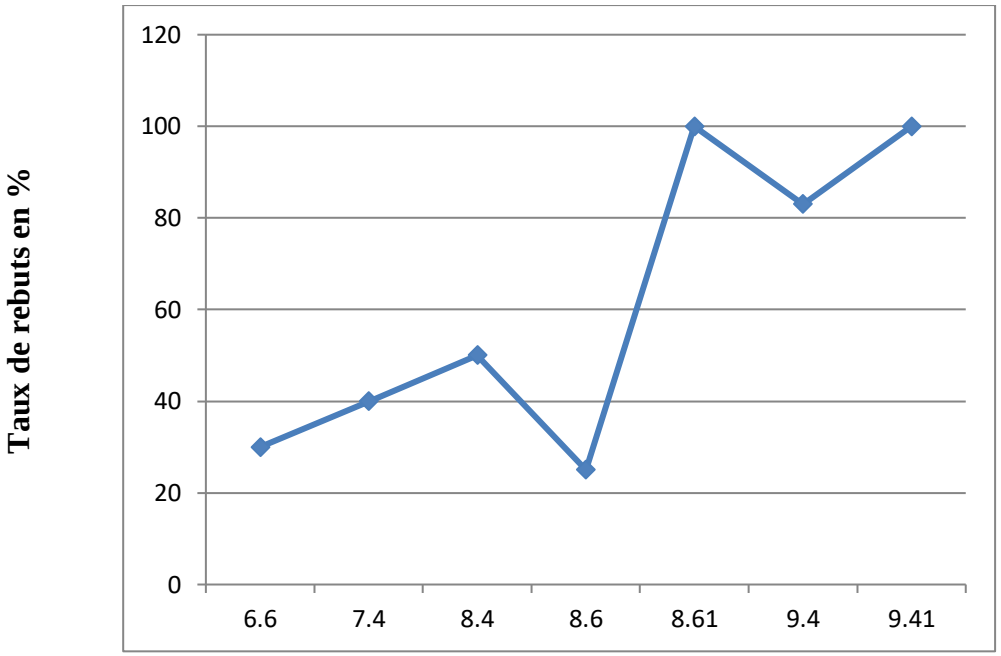


Figure 35 : l'influence de bentonite sur le taux de rebut

L'influence de bentonite sur le taux de rebut, il nous indique la valeur qu'il faut prendre pour remédier les défauts de chute de sable dans la pièce, de ce graphique, nous conclusion :

- A l'inferieur de 6.5% et supérieur à 8.6% de bentonite, le taux de rebut être très élevé.
- D'âpre le graphe au-dessus et le tableau, nous remarquons que l'intervalle de taux bentonite est 6.6% <bentonite<8.60% cet intervalle il nous indique que le taux de rebut presque très faible.

Le bentonite il permet d'éviter le taux de rebut, donc la bentonite il est également important composé doit être suivie avec l'humidité selon l'intervalle précédemment mentionnée.

Conclusion générale

L'objectif fondamental de notre travail, est l'étude des problèmes de défauts du chute de sable lors de coulée des pièces moulées en FGL 20. Les causes directe et indirecte de ce défaut sont remarquer principalement dans préparation du sable de moulage.

Cette étude porte sur la fonte FGL 20 qui est utilisé généralement pour la fabrication des pièces moulées en POVAL.

Nous avons divisé notre travail comme suit :

1. Partie qui consiste l'élaboration des fontes FGL20 précédentes réalisées par la fonderie de POVAL.

2. Partie qui consiste le contrôle des défauts de fonderie pour la fonte FGL 20.

3. Partie qui consiste à étudier l'analyse de métal et de sable et de sable des compagnes (2016/2017 ; 2019/2020) des pièces en fontes FGL20 en POVAL.

4. Afin de ressortir les causes possibles de ces énormes pourcentage de rebut, et les techniques de remédie le défaut de sable.

Le suivi de notre propre compagne de cette fonte nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

 Un emploi de l'humidité (H2O) au cours de la bon préparation du sable , est conforme pour des taux de 3.20% à 4.00% ;

 En respectant la fourchette des normes du taux de bentonite au cours de préparation du sable de moulage, qui nous indique un taux entre (6.60 et 8.60 %).

D'âpre l'étude et les recherches bibliographique, nous remarquons que la bentonite et l'humidité il permet d'éviter le taux de rebut, donc, il est également suivie et contrôler les compagnes pour chaque opération de moulage et de coulée, Et de suivi et respecter de l'intervalle de la fourchette précédemment mentionnée.

Bibliographie

[1] : Pierre Cuinin. Centre français d'exploitation. Technique de l'ingénieur. Métallurgie des alliages de fonderie. M 3520-2.

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

[3] : G-Murry, Aide-mémoire métallurgie, Paris, Dunod,2010.

[4]-MICHEL GEIER. Métallurgie de fonderie. Tome 1. Editions Eyrolles 1976.

[5] : Gilles Dour. Aide-mémoire Fonderie. Alliages. Procédés. Propriétés d'usage. Défauts.2eédition, DUNOD ,2009.

[6] : Atlas Métallographique des fontes, éditions techniques des industries de la fonderie 1980

[7] : L. Giai-Bruer. Fonderie. Eléments fondamentaux, DUNOD, 1983

[8] : Mémoire magister. Elaboration d'une fonte synthétique de moulage à propriétés mécaniques améliorées

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

[10] : Michel GEIER. Métallurgie de fonderie. Tome 2. Editions. Eyrolles 1978.

[11] : mémoire master. Etude de défauts de gale dans la FGL20.

[12] : F Condet, A Reynaud, Atlas métallographique des fontes, ETIF , 2007.

[13] : http://fr.wikipidea.org/wiki.

[14] **:**Le-moulage en sable. Cours. **PDF**

[15] : SEBASTIEN BERNARD, MICHEL PIELLARD, VINCENT ROLLAND, (Technique de fonderie : le moulage par basse pression)Université de Poitier, 2001-2002.

[16] : http://www.calameo.com

[17] : http://fr.wikipedia.org

[18] : mémoire 3eme année licence préparation de sable à POVAL

[19] :Les Défauts de fonderie « François Boussard »

[20] : www.wekipedia.com

[21] : mémoire master ETUDE DE FABRICATION D'UNE PIECE « JUMELLE » ; ET MODELISATION SOUS SOLIDWORKS

[22] : www.wekipedia.ORG.com

Bibliographie

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

[24] : laboratoire de unité de fonderie poval (berrouaghia) .