République Algérienne Démocratique et Populaire

Minstère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Yahia Fares de Médéa

FACULTE DES SCIENCES ET TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT : Génie de la Matière

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Spécialité : Génie Mécanique

Filière : Sciences des Matériaux

Thème

Etude de défauts de gale dans la fonte à graphite lamellaire FGL20

Préparé et présenté par :

Mekkati soufyen

Smaili mustapha

Encadreur: Mr. ELMOUHRI abdennoure

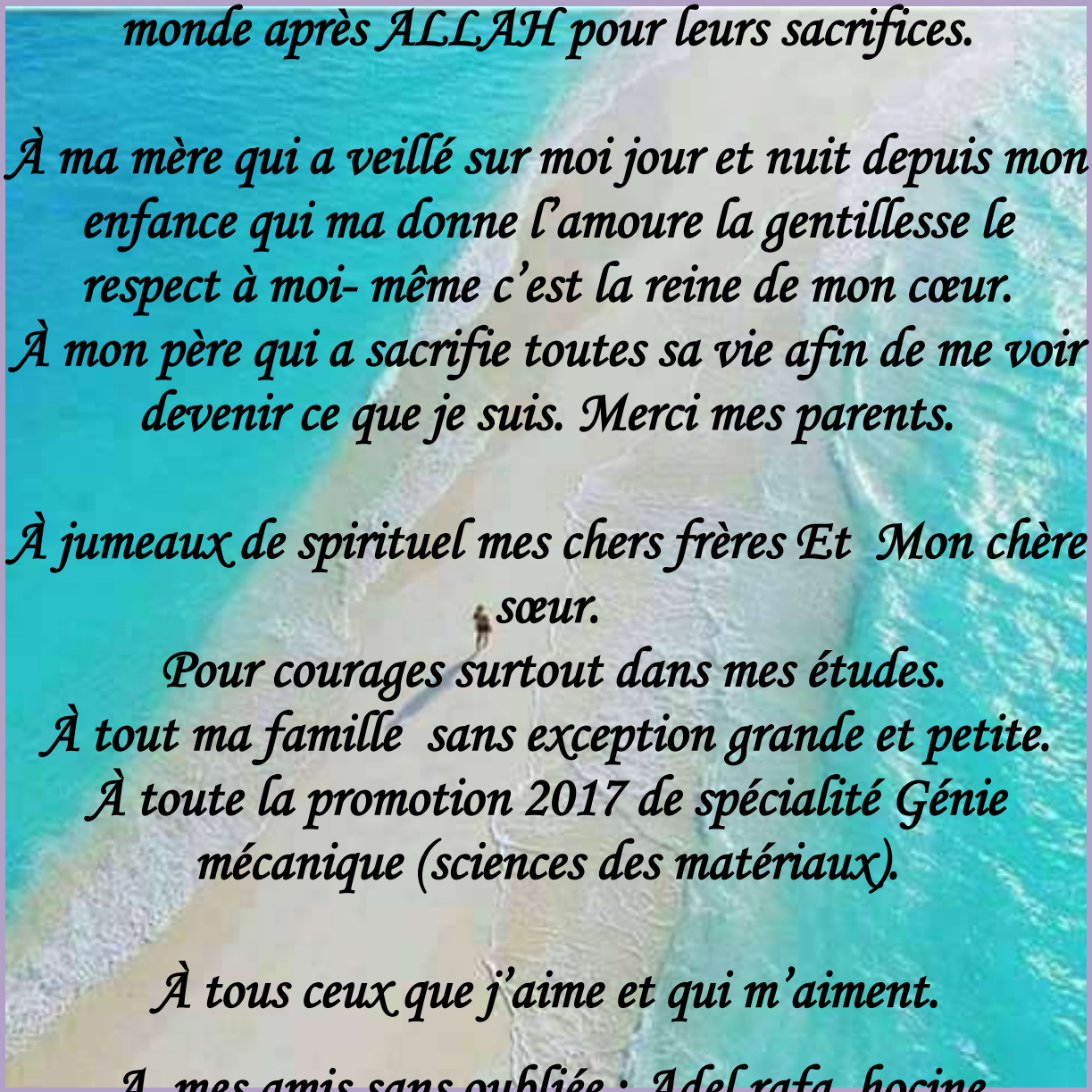
Co-Encadreur : Mr. HEBIRECH Mohamed

Mr. DJEGHDJOUGH Mehame

2016/2017

Dédicaces

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.



À ma mère qui a veillé sur moi jour et nuit depuis mon enfance qui ma donne l'amoure la gentillesse le respect à moi- même c'est la reine de mon cœur.
À mon père qui a sacrifie toutes sa vie afin de me voir devenir ce que je suis. Merci mes parents.

À jumeaux de spirituel mes chers frères Et Mon chère sœur.
Pour courages surtout dans mes études.
À tout ma famille sans exception grande et petite.
À toute la promotion 2017 de spécialité Génie mécanique (sciences des matériaux).

À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

A mes amis sans oubliée : Adel rafa, hocine bouzidani, khalil moursli, et tout les amies.

Mekkati soufyen

Dédicaces

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.

À ma mère qui a veillé sur moi jour et nuit depuis mon enfance qui ma donne l'amoure la gentillesse le respect à moi- même c'est la reine de mon cœur.

À mon père qui a sacrifie toutes sa vie afin de me voir devenir ce que je suis. Merci mes parents.

À jumeaux de spirituel mes chers frères Et Mes sœurs
Pour courages surtout dans mes études.
À tout ma famille sans exception grande et petite.
À toute la promotion 2017.de Génie mécanique.
À tous ceux que j'aime et qui m'aiment.

A mes amis sans oubliée :

Ali Mebarki, Youcefy Mohamed, Hamza doumi et Mennade, Bouzidani elhocine ; Adel Rafa.

Smaili Mustapha

REMERCIEMENTS

Au terme des années d'études au sein de département génie mécanique de l'université Dr.YAHIA FARES – MEDEA-, nous remercions tous nos enseignants et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nous expriment notre profonde gratitude à notre encadreur ***Mr. El MOHRI Abdennour,*** *Maitre de Conférence à l'université Yahia Farés de Médéa. Qui n'a épargné aucun effort pour nous encadrons dans les meilleures conditions.*

Nous adressons nos vifs remerciements et nos profonds respects à Monsieur ***Salam ABUDORA et Abde-elmonaim BELHADJ,*** *professeur à l'Université de Médéa , et à Monsieur* ***Dr Mounir ZIRARI*** *chef département Génie de la matière à l'Université de Médéa.*

Nous voudrons exprimer toute notre reconnaissance à Monsieur ***HEBIRECH mohamed*** *qui nos avoir fait l'honneur de présider le jury de notre soutenance.*

Nous remerciements vont également aux Monsieur ***DJEGHDJOUGHE MOHAMED****, membres de jury pour leur contribution à l'examinassions de ce travail.*

Nous avons remercié tous le personnel de l'entreprise POVAL qui nous aidé pour réaliser la partie pratique de ce travail ; spécialement :

Monsieur ***Ahmed ABDELLAH*** *; chef de fonderie technologie ;*

Monsieur ***Cherif TOUMI****, ingénieur au sein de la fonderie ;*

Monsieur ***BARKAN et MAHMOUDE,*** *ingénieur de contrôle de qualité ;*

Madame ***BECHOUCHA***, chef de laboratoire ;

Et Monsieur ***SAHRAOUI***, technicien de labos des essais mécaniques

Résumé

Dans ce projet de fin d'étude consiste l'élaboration des fontes grises lamellaires FGL20. La préparation de Moulage et noyautage a été effectuée au niveau de la fonderie de Berrouaghia à partir d'une matière première de récupération de plus de 70 %.

En premier lieu, nous avons déterminé les élaborations des fonts; les problèmes au les défauts de fonderie, le défaut de gale en fonderie et en fonte FGL20. Ensuite, nous avons observé et étudié les causes des défauts et les remédies.

Nous avons aussi suive les compagnes de l'analyses chimique de FGL20 à laboratoire de unité de fonderie POVAL à Berrouaghia, et les analyse de sable préparé.

Les résultats obtenus à travers cette étude sont remédie la gale à partie de l'élaboration de la fonte.

Mots clés : élaboration, fonte, moulage, noyautage, la gale, les défauts de fonderie.

في مشروع نهاية الدراسة تطرقنا الى موضوع تطوير حديد الزهر الرمادي نوع 20 وكافة خصائصه.

بداية قمنا بإعداد الصب والحفر على مستوى وحدة المسبك ببوفال –البرواقية- التي تعتمد في مادتها الأولية على نسبة 70% من المواد الخام.

في الأول، قمنا بإعداد مخطط لدراسة الحديد واستخراج عيوب ومشاكل الصب والقولبة وقد ركزنا في دراستنا على مشكل الجرب الذي يصيب الاجزاء المصنعة من الحديد الزهري الرمادي نوع 20.

ثم لاحظنا أسباب هذه العيوب والمشاكل بدراسة وتتبع بعض الاجزاء المصنعة في وحدة المسبك ببوفال – البرواقية-، و قمنا كذلك بمتابعة نوعية التحليل الكيميائي لحديد الزهر الرمادي نوع 20 في كل مرحلة من عملية الصب وكان للعنصرين الكربون والسيليسيوم أكثر أهمية في مرحلة المتابعة والتحليل.

كما قمنا كذلك بمتابعة التحليل الكيميائي للرمل الذي يتم من خلاله إنشاء الحفر أو القولبة.

عملية المتابعة التي أجريت كانت خلال الفترة 2017/2016 وقد تحصلنا على مجموعة من النتائج مكنتنا من الوصول خلال هذه الدراسة إلى علاجات لمشكلة الجرب لهذه القطع التي تمت دراستها سابقا

الكلمات الدلالية: القولبة، الصب، حديد الزهر الرمادي نوع 20، عيوب الصب، مشاكل المسبك، الجرب

Liste des figures

Figure I-1: Diagramme alliage Fer-carbone ……..……...……..……..3

Figure I-2 : Schéma descriptif d'un four cubilot ….……...…….……..……6

Figure I-3 : Four à résistance rayonnante …..……...……...……...…….8

Figure I-4 : Schéma descriptif d'un four à arc électrique ……..……..9

Figure I-5 : Schéma descriptif d'un four à induction à creuset ……..10

Figure I-6: parc à ferrailles ……12

Figure I-7 : l'aiment de remplissage ……..12

Figure I-8: Schéma descriptifs des Opérations d'élaboration de la fonte ……..15

Figure I-9 : schéma descriptif le moulage avec noyaux ……..……...25

Figure II-10 : Défaut de Retassures …….…..……..……..……34

Figure II-11 : Défaut de Soufflures ……..……..……..……..35

Figure II-12 : Défaut de décollement superficielle ……..……..……36

Figure II-13 : défauts Gale franche ……..……..……..……..36

Figure II-14 : Défaut de gale plafond ……..……..……..……...37

Figure II-15 : défaut de gale d'angle ……..……..……....38

Figure II-16 : défaut de gale plancher (a) ……..…38

Figure II-16 : défaut de gale plancher (b) ……..……..……..…....39

Figure II-17 : bâti de machine en fonte GL avec gale franche ……..39

Figure II-18 : Gale volante ……..……..……..……...40

Figure II-19 : Transformation de sable quartzeux par T° ……..41

Figure III-20 : Le Berceau ……44

Figure III-21 : la pièce Contre poids ……45

Figure III-22 : La pièce antigoise ……..46

Figure III-23 : la pièce volant de moteur ……...47

Liste des figures

Figure III-24 : l'influence de Si sur le taux de rebut dans le berceau en FGL20 …..51

Figure III-25 : l'influence de H_2O sur le taux de rebut dans le berceau en FGL20...52

Figure III-26 : l'influence de bentonite sur le taux de rebut, le berceau en FGL20...53

Sommaire

Introduction…….....1

PARTIE THEORIQUE

Chapitre I : Elaboration et moulage de la fonte FGL

I-1 Elaboration de la fonte ……...……...……..3

I-1-1 Définition des fontes ……...……...……..3

I-1-2 Matières premières ……...……...……4

I-1-3 Compositions des fontes ……..……..4

I-1-4 Eléments principaux de la fonte …….……..4

I-1-5 Les différents types de la fonte ……..…4

I-1-6 Fours et procédés ……..…5

I-1-6 -1 Le cubilot ……5

I-1-6 -2 Les fours électriques ……...….7

A) Four à résistance rayonnante …….…….…7

B) Four à arc électrique ……...7

I-1-6-3 four à induction …...……...……..9

I-2 Elaboration de la fonte à graphite lamellaire (FGL) ……...……...10

I-2-1 Définition ……...……10

I-2-2 Procèdes d'élaborations de la fonte FGL ……..……12

I-2-2-1 Les étapes d'élaboration de la fonte ……12

I-2-2-2 Préparation des échantillons ……13

I-3 Elaboration de la fonte FGL 20 (Poval à berrouaghia) ……..……14

I-3-1 Procède d'élaboration FGL20 (poval) …….…..14

I-3-2 Lit de fusion de FGL20 ……..15

I-4 Moulage et noyautage ……..……17

I-4-1 Définitions …….……...……..17

A) Le Moulage ……..……...……16

B) Le sable de fonderie …….……..16

I-4-2 Type de sable de moulage ……..18

I-4-2-1 Sable naturel …….……..18

I-4-2-2 Sable siliceux …….….18

I-4-2-3 Sable à prise chimique ……18

I-4-2-4 Sable à noyaux …….……..18

I-4-3 Technique de préparation des moules en moulage non permanent……..……18
I-4-3-1 Le modelage ……...……19
I-4-3-2 Conception des modèles ……...…19
I-4-3-3 Les noyaux ……..……19
I-4-3-4 les masselottes …….……20
I-4-3-5 Préparation du sable à vert …….……20
I-5 Moulage et noyautage pour FGL poval …….……20
I-5-1 Le moulage ……20
I-5-2 Préparation de sable ……20
I-5-2-1 Définition de sable siliceux ……..……20
I-5-2-2 Les caractéristiques du sable ……...…21
I-5-2-3 L'indice de finesse (AFS) ……..……23
I-5-2-4 Le grosseur moyenne des grains ……..……24
I-5-2-5 Degré de régularité ……..…24
I-5-3 Le Noyautage ……24
I-5-4 Moulage avec noyaux ……24
I-5-5 Propriétés des noyaux ……26
I-6 système d'alimentation quelque pièce ……...……26
I-6-1 Destination et genre des systèmes de coulée ……..…26
I-6-2 Calcul de système de coulée ……...……26
I-6-2-1 Calcul des systèmes de coulée pour des petites pièces coulées en fonte (jusqu à 45 kg de masse)…….….26
I-6-2-2 Calcul des systèmes de coulée pour des pièces coulées on fonte jusqu'à 100kg de masse ……..……29
I-6-2-3 Calcul des systèmes de coulées pour de moyennes et grosses pièces coulées en fonte ……..31

Chapitre II : Défaut de fonderie pour la fonte FGL20

II-1 Défaut de fonderie ……33
II-1-1 Définition ……..33
II-1-2 Principaux Défauts de Fonderie ……33
II-1-2-1 Retassures ……..33
II-1-2-2 Criques ……...…34
II-1-2-3 Piqûres et porosités dues aux gaz ……..34

II-1-2-4 Soufflures ……...35
II-2 Défaut de gale ……...…35
II-2-1 Définition de la gale ……..……35
II-2-2Défaut de gale dans la fonte ……...……35
II-2-2-1 Décollement de la première couche ……...……35
II-2-2-2 Gale franche ……...36
II-2-3 Défaut de gale en FGL ……..40
II-2-4 Transformation de sable Quartzeux ……..40
II-3 Technique de remède de défaut de la gale ……...…41
II-3-1 Remèdes de défaut de gale franche ……...41
II-3-2 Remèdes de défaut de gale volante ……...…42
II-3-3 Remèdes de défaut de gale de Décollement de la première couche ……42

PARTIE PRATIQUE

Chapitre III : Contrôle de défauts de gales en FGL20

III-1 Suive de compagne pour la pièce désigné ……..……43
III-1-1 Introduction ……..……43
III-1-2 Suivie de compagne pour la pièce désigné ……...……...43
III-1-2-1 les compagnes pour la pièce berceaux ……..……43
III-1-2-2 les compagnes pour la pièce contre poids ……44
III-1-2-3 les compagnes pour la pièce entretoise……..……45
III-1-2-4- les compagnes pour la pièce volant de moteur ……...……46
III-2-1 Analyse chimique pour FGL20 ……...…47
III-2-1-1 Norme et fourchette utilisé en POVAL de l'analyse chimique ……47
III-2-1-2 Contrôle de l'analyse chimique des compagnes de FGL20 ……..…..47
III-3-1 Analyse de sable préparé et caractéristique ……..……48
III-3-1-1 Norme de sable à verte pour le moulage ……..48
III-3-1-2 L'analyse de sable de moulage en poval ……..49
III-4 Analyser les résultats des graphiques ……..50
III-4-1 Le graphe de Si sur le taux de rebut ……50
III-4-2 le graphe de H_2O sur taux de rebut ……..51
III-4-3 le graphe Bentonite par taux de rebut ……..52
Conclusion ……...…54
Bibliographie ……...……55

Introduction Générale

Introduction :

La fonte est un matériau obtenu par la cuisson de différentes éléments (coke, minerais, calcaire) dans des proportions exigées pour extraire le maximum de fer contenu dans les minerais.

La fonte a une température de fusion allant de 1 135 °C à 1 350 °C, essentiellement en fonction du pourcentage de carbone et de silicium qu'elle contient. Lorsqu'elle est 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.

Les fontes sont utilisées 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 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.

En ce qui concerne les problèmes de fonderie fontes, 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.

Notre travail est orienté vers l'étude de défaut de gale, qui est rencontrée dans la plupart des moyennes et grosses pièces en fonte grise lamellaire obtenus par moulage à vert.

On enregistre chaque coulée pour ce type de pièces, un énorme rebut imputé au défauts de gale, donc c'est un sérieux problème qui existe à l'unité fonderie de Berrouaghia, dont il faut le résoudre.

Nous considérons que ce type de défaut apparait par dilatation du mur de l'empreinte en sable siliceux dû au chauffage de ce dernier par rayonnement lors du remplissage du moule en fonte liquide.

Il existe deux types de gales : la gale volante et la gale franche.

Donc, pour remédier et trouver des solutions définitives pour ce type de défaut (gale), il faut premièrement comprendre les phénomènes mis en jeux pour l'apparition de ce défaut.

A partir des phénomènes cités dans la recherche bibliographique, on peut donner quelques solutions considérées comme pertinentes pour atténuer ou même éliminer catégoriquement le défaut de gale.

Après cette introduction, nous aborderons notre travail par une étude bibliographique dans laquelle nous présentant des généralités sur les fontes grises lamellaires de point de vue élaboration et moulage, puis nous définissons les principaux défauts de fonderie notamment la gale que requiert une fonte grise lamellaire.

Puis en dernier, nous donnons les résultats de contrôle de différentes compagnes pour mieux comprendre et analyser ce défaut, et enfin une conclusion finale.

I-1 Elaboration de la fonte :

I-1-1 Définition des fontes :

Une fonte est un alliage métallique dont l'élément essentiel est le fer, et dont la teneur en carbone est supérieure à 2,1%. Il est à noter que la présence de fortes teneurs en éléments carburigènes peut modifier cette limite de la teneur en carbone. Dans la pratique les pourcentages de carbone se situent le plus souvent entre 3 et 4% et ne dépassent jamais les 4,5%.

Une fonte est considérée comme non alliée lorsque sa composition est la suivante:

Carbone: C entre 1,9 et 4,5%

Silicium: Si < 4,5%

Manganèse: Mn < 1,5%

Phosphore: P < 1,8%

Soufre: S < 0,25%

Oligo-éléments: < 0,1% ou <0,3% suivant les éléments

L'étude des fontes repose sur l'analyse et l'interprètation des diagrammes: le diagramme fer-cémentite et le diagramme fer-graphite. [1]

Il existe différent types de fontes (figure I-1) :

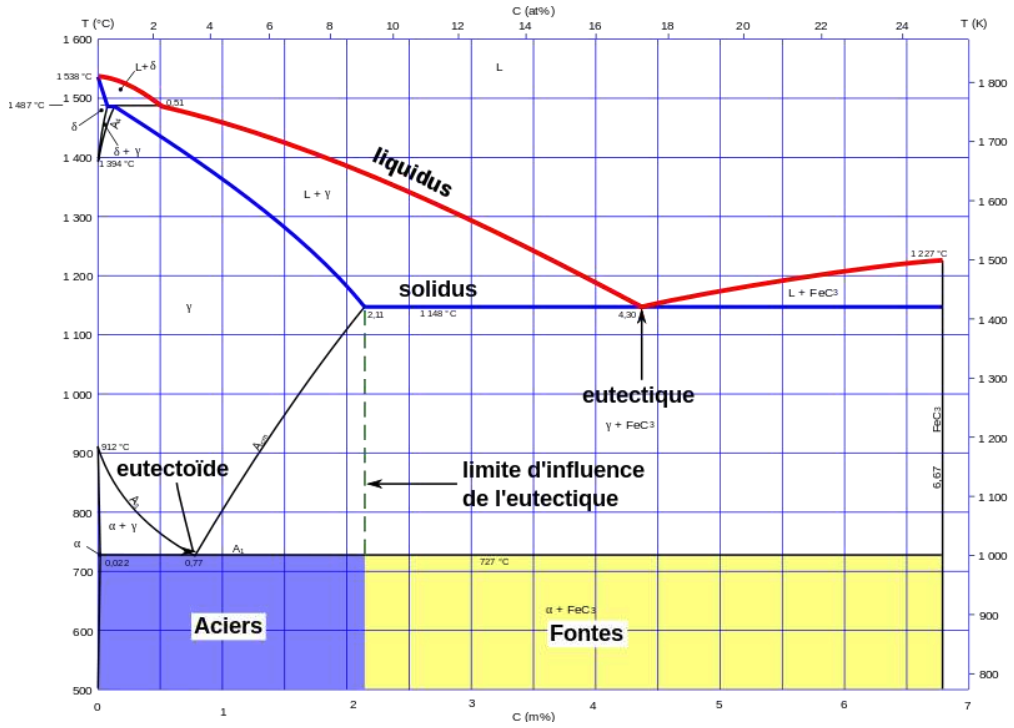


Figure I-1: Diagramme alliage Fer-carbone [2]

I-1-2 Matières 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.

I-1-3 Compositions des fontes :

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 hypoeutectique : de 2,11 à 4,3 % de carbone.
- fonte eutectique : 4,3 % de carbone.
- fonte hypereutectique : de 4,3 à 6,67 % de carbone. [3]

I-1-4 Eléments principaux 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.

I-1-5 Les différents types de la fonte :

Elles peuvent être classées en :

- Fontes blanches ;
- Fontes grises lamellaires ;
- Fontes malléables ;

- Fontes à graphite sphéroïdal (GS) ;
- Fontes alliées.

I-1-6 Fours et procédés :

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

I-1-6 -1 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 aux tuyères disposés 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.[4]

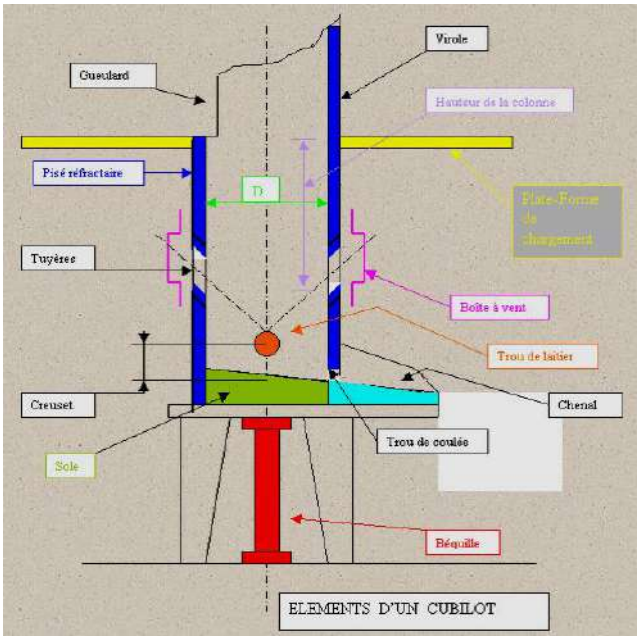


Figure I-2 : Schéma descriptif d'un four cubilot

-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 garnies 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. Celuici 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 (πD^2 / 4)

p = 75 kg / dm2 pour un cubilot à vent froid.

P horaire en kg = 75 x ($\pi D2$ / 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 (θ int. – 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.

I-1-6-2 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 électrode sont refroidies par eau. La consommation d'électrode est importante.

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 :

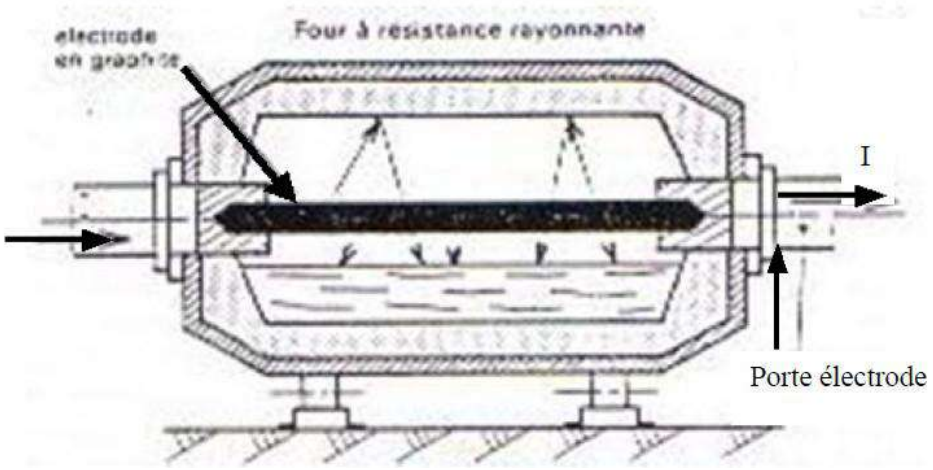


Figure I-3 : Four à résistance rayonnante

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. [5]

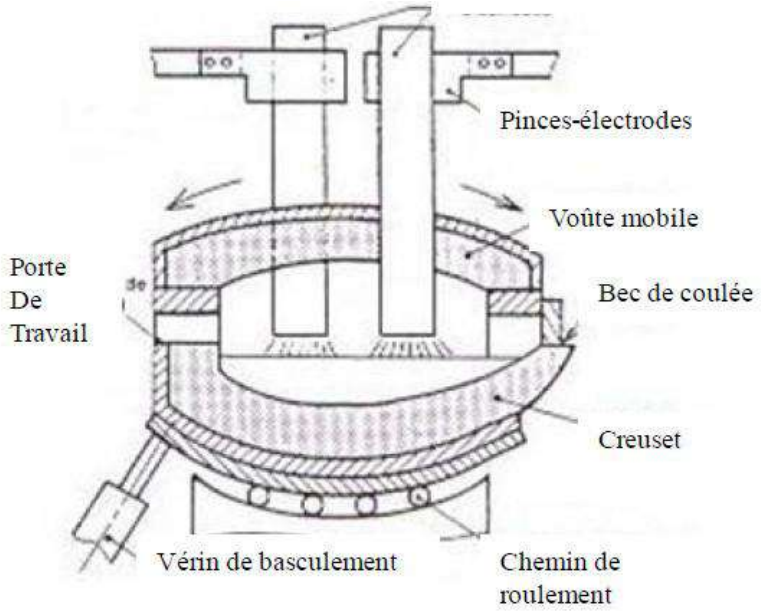


Figure I-4 : Schéma descriptif d'un four à arc électrique

I-1-6-3 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[6].

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 .

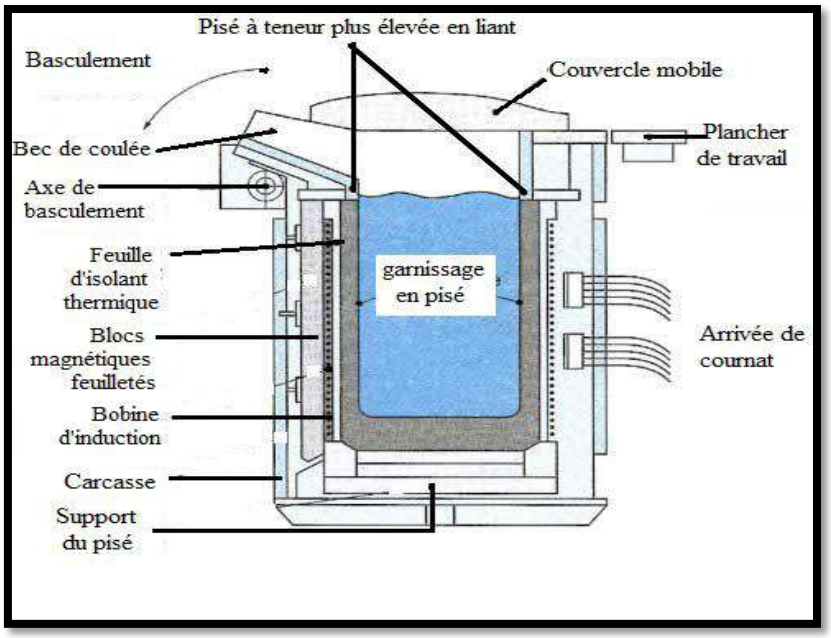


Figure I-5 : Schéma descriptif d'un four à induction à creuset[6].

I-2 Elaboration de la fonte à graphite lamellaire (FGL) :

I-2-1 Définition :

Les alliages Fe-C contenant 2 à 3 % de silicium forment, par solidification lente, le graphite et le graphite eutectique sous forme dite lamellaire en longs rubans plus ou moins torsadés (en anglais {flakes} qui signifie pétales). En fonction de la composition ou de la cinétique de refroidissement la matrice est perlitique, ferritique ou mixte avec de la ferrite et des cellules de perlite[7].

Ces fontes sont destinées à fabriquer des pièces coulées dans des moules, en conséquence une bonne fluidité du liquide métallique est nécessaire pour assurer un remplissage correct du moule. Or une teneur en carbone proche de l'eutectique.

Leur composition chimique ne fait pas l'objet d'une définition imposée ; elle peut varier dans les limites suivantes en fonction des propriétés visées (et des conditions de coulée) :

- Carbone : de 3.2 à 3,9 % ;
- Silicium : de 1,5 à 3 % (cet élément stabilise la ferrite) ;
- Manganèse : de 0,3 à 1,2 % ;
- Phosphore : de 0,1 à 1,2 % (cet élément participe au durcissement).

Les lamelles de graphite constituent des défauts qui perturbent la déformation plastique et affectent la ductilité. [7]

Sur des pièces moulées, la résistance minimale à la traction de ces fontes peut varier de 80 à 315 N/mm^2 selon la composition et les conditions de solidification et de refroidissement ; l'allongement à rupture est faible et souvent inférieur à 1 %. La résistance au choc est faible, les lamelles constituant des amorces de rupture.

On ne peut pas faire d'essai de résilience (on peut réaliser un essai conventionnel sur éprouvette cylindrique). La masse volumique de ces fontes est de l'ordre de 7,2 kg/dm^3 et leur module d'élasticité peut varier de78 000 à 143 000 N/mm^2.

Ces fontes sont décrites par la norme NF EN 1561 qui propose les nuances désignées comme suit :

• EN-GJL 100 ou EN-JL1010 ;

• EN-GJL 150 ou EN-JL1020 ;

• **EN-GJL 200 ou EN-JL1030** ; (qui va servir à cette étude)

Où (100, 150…350 = Résistance minimale a la rupture par traction. en N/mm^2 sur échantillon coulé à part) [8].

- Caractéristiques physiques de fonte GL :

FONTE GL										
Caractéristiques physiques	Conductivité thermique (W/m·°C)					Capacité thermique spécifiques (J/kg·°C)		Résistivité électrique spécifique (Ω mm²/m)	Densité (kg/dm³)	Coefficient de Poisson
	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C	200 °C	600 °C	20 °C	20 °C	20 °C
EN GJL 150	52.5	51	50	49	48.5	460	535	0.8	7.1	0.26
EN GJL 200	50	49	48	47	46	460	535	0.77	7.15	0.26
EN GJL 250	100	200	300	400	500	200	600	20	20	20
EN GJL 300	47.5	46	45	44	43	460	535	0.7	7.25	0.26

Tableau I-1 : Caractéristiques physiques de FGL

-Caractéristiques mécaniques de fonte GL :

Fonte GL								
Caractéristiques mécaniques	Masse volumique (ρ en kg/dm3)	Effort de tension, $R_{p0,2}$ (Mpa)	Effort de rupture, R_m (MPA)	Allongement, A (%)	Module d ´élasticité (Gpa)	Coefficient moyen de dilatation thermique entre 20(°C) (10-6/(°C))		
					20 °C	(-)100°C	200 °C	400 °C
EN GJL 150	7,10	98 – 165	150 – 250	0.3 – 0.8	78 - 103	10	11.7	13
EN GJL 200	7,15	130 – 195	200 – 300	0.3 – 0.8	88 - 113	10	11.7	13
EN GJL 250	7,20	165 – 228	250 – 350	0.3 – 0.8	20	-100	200	400
EN GJL 300	7,25	195 – 260	300 – 400	0.3 – 0.8	108 - 137	10	11.7	13

Tableau I-2 : Caractéristiques mécanique de FGL

I-2-2 Procèdes d'élaborations de la fonte FGL:

I-2-2-1 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 à ferrailles.

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

3- La collecte despalettes 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 par additions des quantitiées nécessaire sous forme de graphite et du alliage Ferro-Silicuim et Ferro-Mn



Figure I-6: l'aiment de remplissage



Figure I-7 : parc à ferrailles

4-Le transfert pour fusion au niveau du four de 2^{em}e 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 eprouvette de leur posible pour le contrôle visuel et l'autre pour les analyses au niveau de laboratoire.
- Suite aux résultats des analyses précédentes, on doit juger necessaire de porter des corrections sur la teneur des élements princiapux.
- Le degrée de saturation, doit etre 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 pése 800 Kg pour la bonne coulabilitée.
- 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 propotionnelle à la taille de la piéce 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.

6- 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-2-2-2 Préparation des échantillons :

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 maniéré 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 à partir de plaques ou barres. On doit empêcher l'échantillon de se chauffer pendant le découpage. Donc le découpage de l'échantillon recommander sous un jet d'eau ou liquide approprié[9].

- **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°C à 180°C).cette opération nécessite 7 min environ. Le refroidissement de moule prend 3min 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[9].

- **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 métallographique.

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 ; stade 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[9].

I-3 Elaboration de la fonte FGL 20 (Poval à berrouaghia)

I-3-1 Procède d'élaboration FGL20 (poval)

L'élaboration de FGL20 en poval est très important, et donc pour faire les pièces convenable il faut faire l'élaboration comme désignée dans la Figure suivante :

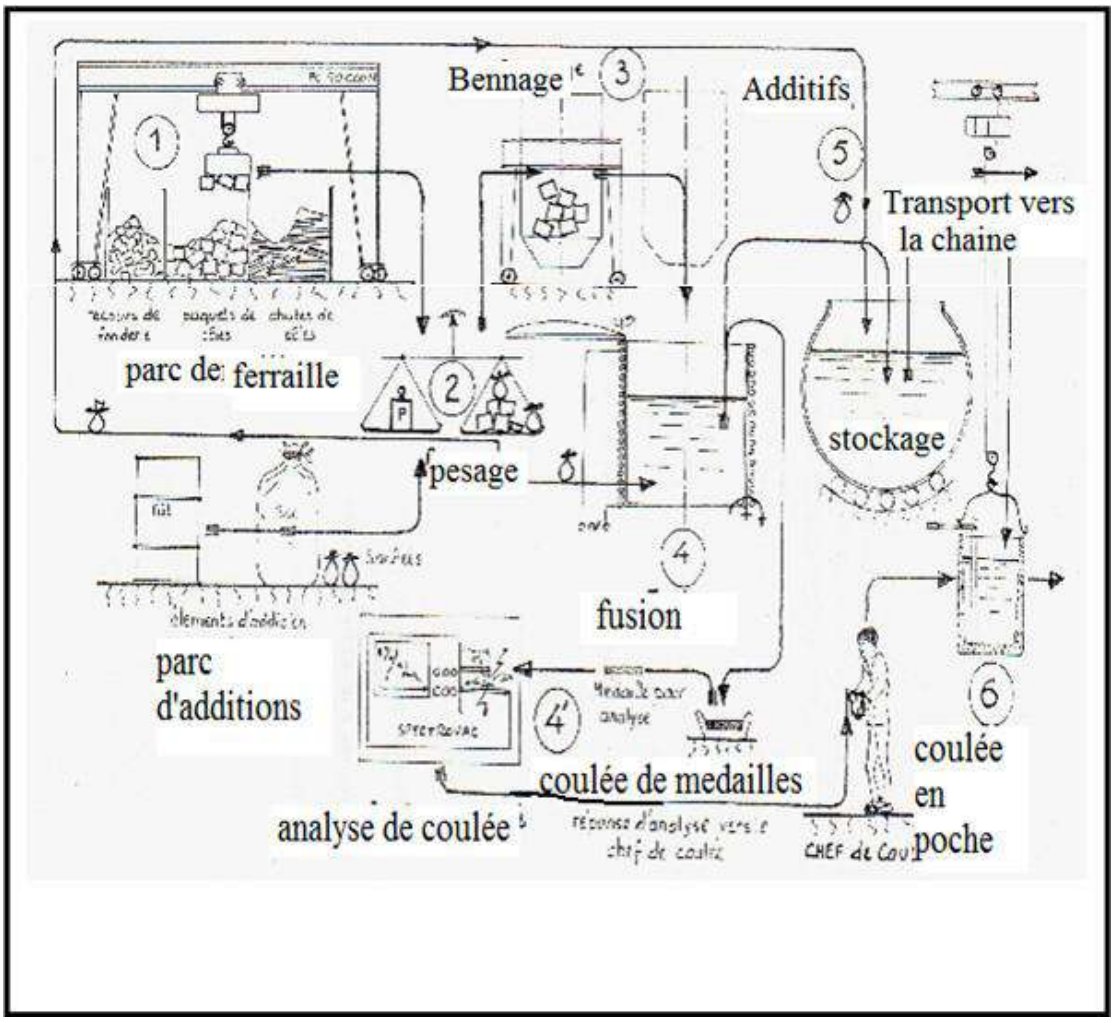


Figure I-8: Schéma descriptifs des Opérations d'élaboration de la fonte [10].

On distingue les étapes suivantes :

1. Préparation des matières premières (ferrailles + additions : Retour externe Hématite Ferraille d'acier Retour interne),
2. Pesage précis,
3. Bennage des ferrailles vers les fours de fusion,
4. Fusion au four à induction

   -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-3-2 Lit de fusion de FGL20 :

-compositions visé pour FGL20 à POVAL

Carbone : **C**= 3.2%----------3.6%

Silicium **Si**= 1.8%----------2.3%

Manganèse **Mn** ≤0.45%

Phosphore **P** ≤0.20%

Soufre **S** ≤ 0.02% ≈ 0.12%

-Retour externe :

Elément	C	Si	Mn	P	S
%	3.5	2	0.45	0.2	0.02

-Retour interne :

Elément	C	Si	Mn	P	S
%	3.4	1.8	0.4	0.2	0.02

-Ferraille d'acier :

Elément	C	Si	Mn	P	S
%	0.12	0.1	0.38	0.017	0.022

-Hématite (fonte d'acier) :

Elément	C	Si	Mn	P	S
%	4.3	2.3	0.38	0.12	0.04

-calcul lit de fusion pour 01 tonnes :

On à donnée :

R_{ex}= 60%

R_{int}= 10%

Hématite= 20%

Ferraille d'acier= 10%

-calcule de Carbone :

R_{ex} : C=$\frac{60x3.5}{100} = 2.1\%$

R_{int} : C=$\frac{10x3.4}{100} = 0.34\%$

Hématite : C=$\frac{20x4.3}{100} = 0.86\%$

Ferraille d'acier : C=$\frac{10x0.12}{100} = 0.012\%$

•Total de C=3.31%

%C-Total de %C=3.5-3.31=0.19% et ≈ 1.9 Kg pour 1 tonnes.

Donc Pour un four de 12 tonnes = 22.8 Kg

-calcule de silicium :

R_{ex} : Si=$\frac{60x2}{100} = 1.2\%$

R_{int} : Si=$\frac{10x1.8}{100} = 0.18\%$

Hématite : Si=$\frac{20x2.3}{100} = 0.46\%$

Ferraille d'acier : Si=$\frac{10x0.1}{100} = 0.01\%$

Total de %Si=1.85%

%Si-Total de %Si=2-1.85=0.15%

Fer Si=75% Si=$\frac{0.15x100}{75} = 0.2\%$ et ≈ 2Kg pour 1 tonnes

Donc Pour four de 12 tonnes est égal 24 Kg

NB :

-le pourcentage de manganèse ne pas calculé.

I-4 Moulage et noyautage :

I-4-1 Définitions:

A) Le Moulage : reproduire un objet au moyen d'un moule. Le mot moulage définit aussi l'action de verser dans des moules des métaux en fusion.

Le moulage des métaux s'effectue dans des fonderies, car il faut fondre le métal pour obtenir son état pâteux ou liquide. Actuellement le moulage en fonderie est encore le moyen le plus important de production des pièces[11].

B) Le sable de fonderie : est un élément essentiel de la préparation des moules qui concerne deux secteurs de la fonderie :

•Le secteur sablerie qui stocke, prépare les mélanges, achemine la matière vers l'atelier de Moulage en sable, puis récupère le sable usé pour, soit le régénérer, soit le transporter en décharge[11].

•Le secteur noyautage qui possède, dans les grandes fonderies, sa propre préparation de mélange sable+résine+catalyseur, au plus près des machines de moulage des noyaux.

I-4-2 Type de sable de moulage :

I-4-2-1 Sable naturel :

Il est directement extrait de carrière et se compose de silice, d'argile en forte proportion et de poussières. C'est la version "naturelle" du exemple sable silico-argileux.

I-4-2-2 Sable siliceux :

La silice ($Si0_2$) est largement répandue sur Terre. Extrait de carrières, le sable brut est traité par lavage, classé en fonction de sa granulométrie, puis séché. La pureté des sables ainsi traité avoisine les 99,5 %.

I-4-2-3 Sable à prise chimique :

Il est composé de silice (pour l'aluminium et les fontes) ou de chromite (pour les aciers), de résines (environ 1 % à 2 % de la masse du sable) et d'un catalyseur (5 à 60 % de la masse de résine). La polymérisation des résines, déclenchée par le catalyseur permet d'assurer la cohésion entre les grains de sables. L'ajout des résines et du catalyseur se fait juste avant le moulage, généralement à l'aide d'un malaxeur à vis rapide, muni de pompes doseuses qui délivre la quantité de sable préparé nécessaire à la réalisation d'un moule. La "durée de vie" de ce sable préparé (temps pendant lequel il peut être travaillé avant durcissement) est ajustable en fonction de la taille des moules à réaliser. Généralement de l'ordre de 5 minutes, elle peut être allongée jusqu'à 15 min pour le moulage de grosses pièces. L'ajustage de ce temps se fait en jouant sur le dosage du catalyseur. Le sable est stocké «à sec», généralement dans un silo situé au-dessus ou à proximité du malaxeur[12].

I-4-2-4 Sable à noyaux :

Obtenue à partir de sable blanc auquel on incorpore un agglomérant (huile de lin, collargine, mélasse, etc.), ils sont séché ou étuvés après mise en forme. Il doivent résister aux efforts et manutention tout en étant facilement débourrables. Ils doivent avoir une compressibilité suffisante, permettant au retrait du métal de se manifester normalement sans pour cela trop résister sous peine de provoquer des tensions voire des criques dans la pièce[12].

I-4-3 Technique de préparation des moules en moulage non permanent :

Pour la préparation des moules en moulage non permanent en à suive les plusieurs techniques qui permet un bon résultat de moulage.

I-4-3-1 Le modelage :

Le modèle est l'appareil utilisé pour la réalisation économique de l'empreinte dans le moule. Les principaux facteurs influant sur sa conception sont le nombre de pièce à fabriquer, la précision demandée, les dimensions et formes des pièces, la méthode de moulage et de noyautage choisie[13].

I-4-3-2 Conception des modèles :

Lors de leur réalisation, il convient de tenir compte d'un certain nombre de facteurs :

A) Le retrait :

C'est un phénomène physique de contraction du métal (ou alliage) lors de sa solidification (recristallisation).

Schéma de variations de volume de l'acier, depuis l'état liquide Son existence oblige le modeleur à prévoir sur le modèle des dimensions supérieures à celles de la pièce,

d'environ :

- 1,2 à 2,4% pour les aciers
- 1 à 1,5% pour les fontes
- 1,2 à 1,6% pour les alliages d'aluminium et cuivreux

B) Les surépaisseurs d'usinages :

Réserves de matière nécessaires à l'usinage, elles sont fonction du nombre de passes effectuées et des copeaux minima (ébauche, semi-finition, finition).

C) La dépouille :

Inclinaison des parois verticales du modèle ou boite à noyaux par rapport au sens de démoulage, elle permet de faciliter l'extraction du modèle en moulage sable ou de la pièce en moulage coquille. Le sens du démoulage est défini par le plan de joint .

D) les congés :

Arrondis de rayon variable qui permet d'éviter les tensions internes et de faciliter le démoulage.

I-4-3-3 Les noyaux :

Parties de moule exécutées séparément, les noyaux permettent le plus souvent de ménager des évidements dans les pièces, parfois de faciliter le démoulage. Il comportent toujours deux zones :

- l'une qui sera en contact avec le métal liquide et donnera la forme à la pièce.
- L'autre, en contact avec le sable du moule, sert à son positionnement (portée).

I-4-3-4 les masselottes :

Ce sont des réserves de métal liquide, ménagées dans les moules, destinées à céder du métal à la pièce pendant sa solidification. Elles permettent, en outre, de localiser les défauts internes à l'extérieur des pièces, les impuretés remontant en surface. Ce processus se pratique en moulage sable et en coquille[14].

I-4-3-5 Préparation du sable à vert :

- Un matériau réfractaire **: la silice pure**
- Un matériau plastique : **l'argile**
- Un matériau protecteur : le noir minéral

Cette préparation se réalise dans la sablerie qui sert à recycler le sable à vert
(taux de recyclage 99%)

I-5 Moulage et noyautage pour FGL poval

I-5-1 Le moulage :

Le moulage en poval se fait sur 3 type :

- moulage a main : Le type utilisé de châssis : tous les châssis déférent
- moulage Mécanique : impact en châssis de 630x500x200 et 1000x800x200.
- moulage Hydraulique (automatique) : impact en châssis de 1000x1000x400.

I-5-2 Préparation de sable :

I-5-2-1 Définition de sable siliceux :

La silice ($Si0_2$) est largement répandue sur Terre. Extrait de carrières, le sable brut est traité par lavage, classé en fonction de sa granulométrie, puis séché. La pureté des sables ainsi traité avoisine les 99,5 %. Le choix du sable dépend de sa granulométrie c'est-à-dire de la taille des grains qui le constitue. Elle est définie par le calcul de l'indice de finesse du sable. (indice AFS).

L'indice de finesse à une échelle définie tel que le plus petit indice représente une granulométrie grossière, exemple le 35 AFS, le plus fort indice représente une granulométrie fine, par exemple 120 AFS. Un indice élevé favorise l'état de surface de la pièce brute au détriment de la perméabilité du moule et vice versa. De plus un indice élevé amène à une vitrification plus précoce du sable. Dans les fonderies d'alliages ferreux cet indice est de l'ordre 55 à 65 AFS (cas des fontes), plus élevé dans le cas des alliages légers (où le problème de vitrification ne se pose pas)[15].

NB : La température de vitrification de la silice pure est de 1700°C.

•les caractéristiques de sable neuf (poval) :

- Grosseur moyen (GM) : 0.2mm----------0.3mm
- Matière en suspension (MS) : 0.5%----------2%
- Perte au feu (PF) : 0.5 %
- Indice de finesse (AFS : 55--------60

•Les procédée de Noyautage (poval) :

Dans le sable de noyautage il y a trois types de procédée :

- CO_2 : sable neuf + silicate de soude +Co_2
- Cold box : sable neuf + acide + résine
- Nobec : sable neuf+ acide + caltasse.

I-5-2-2 Les caractéristiques du sable

A) Propriétés chimiques :

-Des composants qui peuvent former, par réaction chimique avec leSiO_2puret/avec les composants du métal moulé, des composes fusibles au température réduites qui influent directement sur la réfractivité du moule/noyau, particulièrement des composés des métaux alcalins (Na, k), des composés des métaux alcalins-teneur (Ca ,Mg), des composés du Fe, Mn et Al de plus le sable doit être exempt le plus possible :

-Des matières organiques issues, par exemple des plantes de la couche couvrant la sablière, en particulier les matières humiques.

-Des radicaux d'acides, liés par abruption à la surface des grains et prévenants par exemple des eaux souterraines acides.

Ces impuretés entrainent chez tout liant la réduction ou même la destruction complète des forces liantes.

-Des composants qui dégagent, à la température de coulée des produits gazeux surtout des carbonates ($CaCO_3$, $MgCO_3$)[15].

B) Composition chimique :

Le sable neuf quartzeux doit correspondre aux exigences suivantes :

$\%SiO_2$	mini 98%
%CaO+ %MgO	0.5%---1% au maxi
$\%K_2O+\%Na_2O$	0.1%----0.5% au maxi
$\%Fe_2O_3+\%Al_2O_3$	0.5% au maxi

C) Surface des grains :

La surface des grains doit être (au moins dans les fractions principales) entre˝lisse˝.

˜ vitreuse ″et ˜rugueuse″ , des surfaces fortement crevassées ont pour conséquences une sur consommation du liant, en réduisant, en même temps les propriétés du sable.

D) Morphologie des grains :

Principales de tamisages fractions qui contiennent plus de 10% de la quantité analysée) entre˜Ronde″ et˜angulaire ″, on ne peut pas employer dans la fonderie ; des sables˜éclatés ″.

E) Teneur en matière de suspension :

Les composants d'une grosseur moyenne des particules de 0.020 mm (20 µm) au moins.

Au cas où les matières en suspension sont des minéraux argileux gonflables, où le sable concerné n'est employé que pour la production des moules (en sable lié de bentonite), la teneur en Ms peut être toléré jusqu'à plusieurs pourcents, dans tous les autre cas (Ms gonflables, emploi d'autres liants, productions des noyaux par exemple), il faut tenir compte du fait que, pour chaque dixième de % des MS, la demande en liants s'augmentera de deux dixième %.

F) Échantillon :

Fraction d'un lot qui, prise globalement, est représentative des propriétés uniformes.

G) Granulométrie :

Science ayant pour objet la mesure des dimensions et la détermination de la forme des particules ou des grains.

H) Analyse granulométrie :

Ensemble des opérations permettant d'obtenir une distribution de la forme des particules ou des grains

I)-1 Tamisage :

Opération de séparation d'un ensemble d'éléments selon leur grosseur, à l'aide d'un ou plusieurs tamis.

I)-2 Les tamis :

Instrument destiné à effectuer le tamisage. il se compose d'un fond de tamis et d'une monture.

J) Perte au feu :

La prête au feu doit être inferieure à1% (pour acier coulé à 0.5%), des pertes au feu plus élevées indiquent la présence des substances nocives, par exemple : substances organiques carbonates.

K) Sable Pur :

Posé 20g+5ml tétra sodium phosphate +100ml H_2O dans un bêcher de 600ml mettre sur le plaque chauffante pendant 10min puis ajoute H_2O jusqu'à 400ml puis mettre sur

l'agitateur pendant 10min ensuite ajouter un peu. d'eau et laisser reposer pendant 30min siphonnée puis ajouter de l'eau et siphonnée.

Puis filtres et mettre le creuset sur la plaque chauffent et mettre dans le four à 1050°C pendant 2heurs.

L) Le groupe de sable :

Le groupe du sable est déterminé d'après le numéro du tamis moyen de la fraction basique, en fonction de la grosseur des grains de sables sont divisés en huit(8) groupes universels représentés dans le tableau I-3.

Tableau I-3 : Les 08 groupes universel du sable

Numéros des tamis fraction basique	Indication du groupe	Dénomination du groupe du sab
1 – 0.63 – 0.4 ou 0.710 – 0.50 - 0.355	0.63 ou 0.5	Gros
0.63 – 0.4 - 0.315 ou 0.5 – 0.355 – 0.250	0.4 ou 0.355	Très grand
0.4 – 0.315 - 0.2 ou 0.355 – 0.250 - 0.2	0.315 ou 0.250	Grand
0.315 - 0.2 - 0.16 ou 0.250 – 0.2 – 0.180	0.2 ou 0.2	Moyen
0.2 – 0.16 – 0.1 ou 0.2 – 0.18 – 0.125	0.16 ou 0.18	Fin
0.16 – 0.1 -0.063 ou 0.80 – 0.125 -0.090	0.1 ou 0.125	Très fin
0.063 – 0.5 ou 0.125 – 0.090 – 0.063	0.063 ou 0.090	Mince
0.063 – 0.05 – cuve ou 0.090 – 0.063 – cuve	0.05 ou 0. 063	Poussiéreux

I-5-2-3 L'indice de finesse (AFS) :

C'est un chiffre conventionnel qui à cependant l'avantage d'indiquer numériquement la prédominance de dimension des grains les plus nombreux d'un sable étudié.

L'indice de finesse est calculé selon la formule suivante :

Indice de finesse (AFS)=$\sum$ (ai*ri)/$\sum$ri où

• ri : le résidu du sable dans chaque tamis

•ai : le coefficient multiplicateur pour chaque tamis

I-5-2-4 Le grosseur moyenne des grains :

En générale on emploi des sables ayant une grosseur moyenne des grains :

- 0.1 à 0.15mm pour métaux non ferreux
- 0.2 à 0.3mm pour fontes
- Plus de 0.4mm pour l'acier coulé

I-5-2-5 Degré de régularité :

Le degré de régularité doit être :

- 55% au moins pour sable employés pour moulage
- 65% au moins pour sable employés pour noyautage

Pour des valeurs plus faibles, la perméabilité se réduire fortement[15].

I-5-3 Le Noyautage :

Les noyaux de fonderie et les moules de fonderie en sable et résine sont produites grâce à la capacité de trois mélangeurs de production. POVAL est spécialisée dans la production de modèles et boîtes à noyaux en bois de différentes tailles.

Lorsque le produit que vous souhaitez mettre en place présente des cavités internes ou des profils pas réalisables avec moulage fonderie simple, ils sont utilisés âmes spéciales. L'âme est une forme qui reproduit les parties creuses de l'objet à produire et vous obtenez le compactage de la terre dans un récipient en métal ou en bois, ladite boîte de base, qui doit déterminer les lacunes dans la correspondance de ces pièces carrières. La boîte de base est fermée par des pistons pneumatiques et est équipé d'extracteurs. Les boîtes de carottes sont sujettes à être inséré et retiré du tireur machines de base en fonction des besoins de production.

I-5-4 Moulage avec noyaux :

Les parties intérieures d'une pièce sont souvent des parties en contre dépouille. Pour réaliser ces formes, on place des masses de sable aggloméré ou des broches métalliques coulissantes à l'intérieur de l'empreinte. Ces masses de sable sont obtenues dans des boites à noyaux. L'empreinte est complétée par des portées qui permettent de tenir le noyau dans le moule[16].

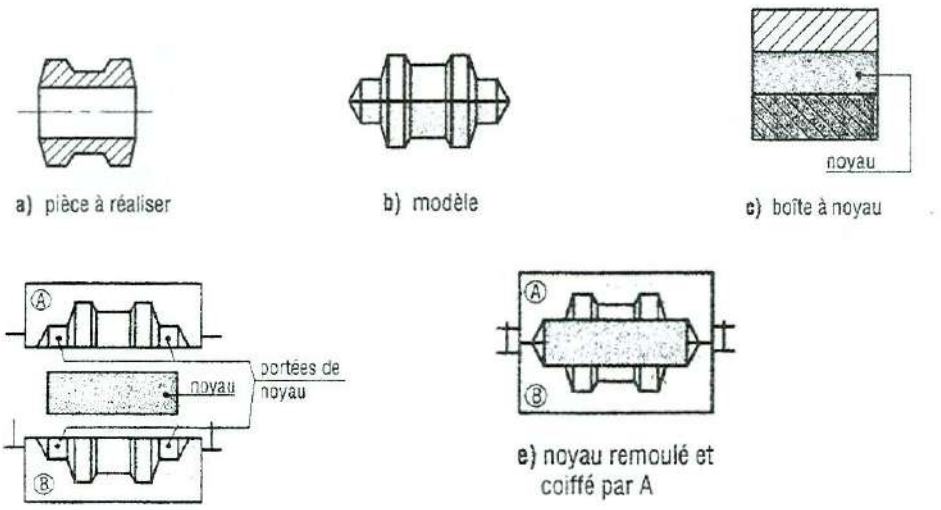


Figure I-9 : schéma descriptif le moulage avec noyaux

Les méthodes les plus courantes de la réalisation des noyaux dans le fonderie fonte grise sont:

A) Noyau en résine: la production est manuel, sur un bureau, avec les méthodes et équipements très semblables à ceux de la résine de moulage fonderie avec la seule différence que, au lieu de remplir le support, ici est rempli avec la boîte à noyau. Cette production est plus répandue parmi les entreprises du secteur; les techniques de production sont d'emploi et réalisée au banc avec des procédures similaires à celles employées pour le moule de fonderie en résine, la différence est que, au lieu de remplir le support, il remplit la boîte à noyau[17].

B) Procédé à froid (boîte froide, Ashland): dans ce processus en utilisant du sable de silice mélangé, avec mélange automatique, avec des résines phénoliques et des polyisocyanates. L'ensemble des matériaux constitutifs est compacté à l'aide d'air comprimé à l'aide de machines spécifiques[17].

C) Procédé à chaud ("de boîte chaude, Shell-moulage"): Dans ce processus, les matières premières et additifs (le pourcentage de résine varie selon les produits à obtenus), les lubrifiants et les catalyseurs sont compactés dans le trésorerie grâce noyau machine de soufflage. Les surfaces chaudes de l'affaire des noyaux (environ 250 °) la dissolution du pré-revêtement des terres favorisant le collage ultérieur des grains individuels jusqu'à ce que le durcissement de la masse totale. Une fois durci, le noyau est retiré du moule en utilisant extracteurs appropriés[17].

D) L'insufflation de CO2: après entassés dans le moule de fonderie le mélange de sable de fonderie et des additifs (silicates alcalins), le durcissement est obtenu par insufflation de dioxyde de carbone.

Pour certains produits (par exemple, des aciers spéciaux) les noyaux sont revêtues pour améliorer la résistance de surface au cours de la coulée et de la solidification[17].

I-5-5 Propriétés des noyaux

- Solide à fin de résister à la poussée que le liquide exerce sur lui.
-Perméable aux gaz produits au moment de la coulée
- Infusible pour éviter la pénétration à l'intérieur du métal.
- Pouvoir se désagrégé facilement après la coulée, pour qu'on puisse aisément enlever le sable demeuré dans les parties creuses des pièces.

I-6 système d'alimentation quelque pièce (Méthode de russe):

I-6-1 Destination et genre des systèmes de coulée :

On appelle jet de coulée le système de canaux, y compris le bassin de coulée, qui assure l'amenée du métal liquide dans le moule. Le système de coulée à pour tache :

- D'assure une amenée régulière, continue et calme du métal liquide dans l'empreinte du moule.
- De prévoir l'alimentation de la pièce en métal liquide pendant sa solidification et sans retrait.
- D'empêcher la pénétration des scories, du sable et d'autre inclusions non métalliques dans la moule ;
- De prévenir la distribution du moule par l'action du jet de métal liquide ;

Suivant l'endroit de l'amenée du métal liquide dans la cavité du moule et la construction des systèmes de coulée et d'alimentation on distingue :

- La coulée horizontale lorsque le métal parvient à l'empreinte du moule suivant un plan horizontal, le plus souvent par le surface de joint de moule ;
- La coulée verticale, lorsque le métal se déplace dans le plan vertical ;

I-6-2 Calcul de système de coulée :

On distingue les trois calculs des systèmes suivants :

I-6-2-1 Calcul des systèmes de coulée pour de petites pièces coulées en fonte (jusqu'à 45 kg de masse) :

Pour calculer la section des attaques on emploie la formule de DITTERT établie selon le principe de courant dans des canaux fermés [18].

$\mathbf{Sa} = \frac{\mathbf{X}\sqrt{\mathbf{Gpc}}}{\sqrt{\mathbf{Hm}}}$ (cm^2)……(1)

Sa : la section globale des attaques pour une seule pièce coulées

X : le coefficient, qui l'on choisie en suivant de l'épaisseur des parois de la pièce coulée (tableau I-4).

Tableau I-4 : le coefficient X

Epaisseur, en mm	2.5 – 3.5	3.5 - 8	8 - 15
X	5.8	4.9	4.3

Gpc : la masse de la pièce coulée, en (kg).

Est égale à la masse de la pièce Gp plus la masse des surépaisseurs Gs :

$\mathbf{Gpc = Gp + Gs}$, en (kg)……. (2)

Détermine la masse des surépaisseurs d'usinage par le calcul. On peut prenons Gs approximativement de 5 à 15% de masse de la pièce Gp en fonction de la valeur d'usinage mécanique. Ainsi ; on peut écrire :

$\mathbf{Gpc = Gp + (0.05 - 0.15)Gp}$, en (kg)…….(3)

La charge motrice du métal, en (cm).

Déterminer Hm par la formule suivant :

$\mathbf{Hm = Hdc - \frac{hs^2}{2xhpc}}$, (cm)……..(4)

Hdc : la hauteur de la descente de coulée, en (cm), du niveau du métal dans le bassin de coulée jusqu'à niveau de l'amené du métal dans la cavité du moule ;

hs : la hauteur de la pièce au dessus du niveau de l'amené de métal dans……de moule, en (cm) ;

hpc : la hauteur de la pièce dans la position de coulée, en (cm) ;

La coulée en chute :

$$\mathbf{hs = 0; Hm = Hdc}$$

La coulée en source :

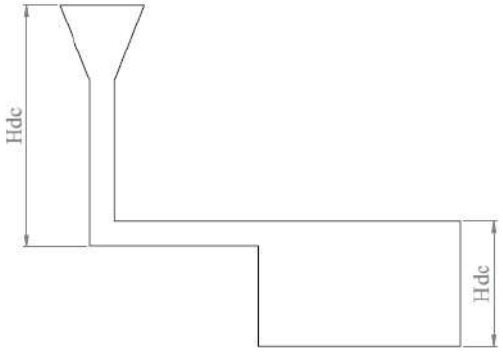
$$\mathbf{hs = hpc; Hm = Hdc - \frac{1}{2}\,hpc}$$

Les sections globales de la descente de coulée et du chenal sont calculées suivant le rapport (tableau I-5): indication

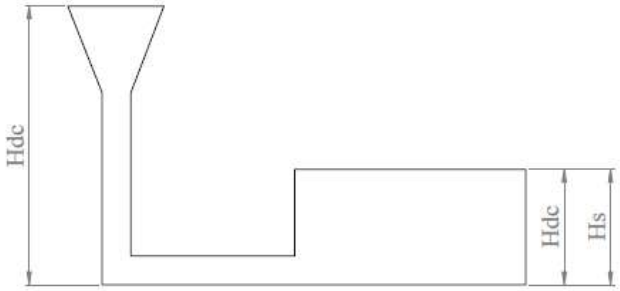
Tableau I-5 : Echelonnement des systemes

Tableau – Échelonnement des systèmes			
Alliages	Section canal	Échelonnement recommandé	Indications
Non oxydables	uniforme	1 ; 1 ; 1	2 à 3 attaques
		1 ; 2 ; 1	4 attaques ou plus
	dégressive	1 ; 1 ; 1	économie masse retours
		$1 ; \sqrt{H_i} ; \sqrt{H_i}$	empreintes fragiles
Oxydables	dégressive	$1 ; \sqrt{H_i} ; \sqrt{H_i}$	

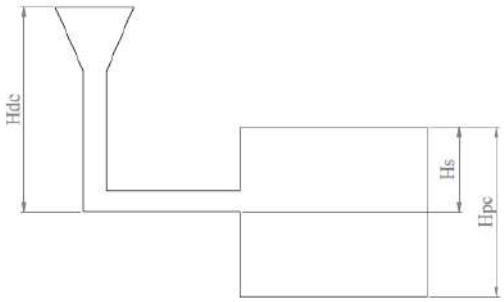
EN CHUTE :



EN SOURCE :



LATERALE :



I-6-2-2 Calcul des systèmes de coulée pour des pièces coulées on fonte jusqu'à 100kg de masse :

Salon la méthode d'OZANNE la section globale des attaques pour une seule pièce coulée est déterminée d'après la formule[19] :

$$\mathbf{Sa} = \frac{\mathbf{Gpc}}{\boldsymbol{\mu}.\boldsymbol{\tau}.\mathbf{0,31}.\sqrt{\mathbf{Hm}}}, (cm^2) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

Sa : la section des attaques, en (cm^2);

Gpc : la masse de la pièce, en (kg) : en la détermine par la formule 4 ;

Hm : la charge motrice, en (cm) ; on la détermine par la formule 5 ;

μ : le coefficient total de débit du métal dans le système de coulée, on trouve en fonction du genre de moulage et de résistance du moule (tableau I-6) ;

tableau I-6 : le coefficient **μ**

Genre de moulage		Resistance du moule		
		Grande	Moyenne	Petite
A vert	**μ**	0,35	0,42	0,5
A sec		0,41	0,48	0,6

τ : le temps de remplissage du moule par la métal liquide, en (sec).

- Pour les pièces coulées jusqu'à 450kg de masse et 15mm d'épaisseur des parois.

  τ est déterminé par la formule :

  $$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{S}\sqrt{\mathbf{Gpc}}, (Sec) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

S : le coefficient qui dépond de l'épaisseur des parois de la pièce (tableau I-7).

tableau I-7 : le coefficient S

Epaisseur des parois, mm	2,5 – 3,5	3,5 - 8	8 – 15
S	1,68	1,85	2,2

- Pour les pièces coulées jusqu'à 1000kg de masse τ est déterminé par la formule :

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{S_1}\sqrt[3]{\boldsymbol{\delta}.\mathbf{Gpc}}, (Sec) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

δ : l'épaisseur des parois de la pièce, en (mm);

S_1 : le coefficient qui dépond de l'épaisseur des parois de la pièce (tableau I-8).

δ	< 10	10 - 20	20 - 40	40 – 80
S_1	1	1,35	1,5	1,7

Exemple :

Il faut calculer les dimensions du système de coulée pour la pièce coulée en fonte « corps de vanne »de 44kg de masse nette. On produit 4 pièces dans un moule. Les dimensions des châssis (100x900x200mm). Le bassin de coulée est exécuté dans la rehausse de 100mmde hauteur. Le moulage à vert.

a) Déterminons la masse de la pièce brute, c'est-à-dire, la masse de la pièce moulée, en prenant que la masse des surépaisseurs d'usinage est égale à 10% de la masse de la pièce nette :

G_{pc}=44+0.1x44=48.4kg.

b) Déterminons la section des attaques pour une seule pièce d'après la méthode d'OZANNE (formule), parce que G_{pc}=45kg. D'abord, la valeur de l'Hm (fomule) :

$\mathbf{Hdc = hch.sup + hr}$=20+10=30cm

$h_{ch.sup}$: La hauteur du châssis supérieur ;

h_r : la hauteur de la rehausse ;

h_{pc} =25cm ; $h_s=\frac{1}{2}$x25=12.5cm

$$\mathbf{Hm = 30 - \frac{12.5^2}{25x2} = 27cm}$$

Selon le tableau 3 prenons μ=0.42 (pour le moulage à vert et la résistance moyenne du moule, parce que la complexité de la pièce est moyenne).

Il convient de déterminer le temps de remplissage par la formule 7. Selon le tableau 4 pour l'épaisseur des parois de 13mm s=2.2 ; dans ce cas :

$$\mathbf{\tau = 2,2x\sqrt{48.4} = 5,6sec \approx 16sec}$$

Ainsi :

$$\mathbf{Sa = \frac{48.4}{0.42x16x0.31x\sqrt{27}} = 5,4cm^2}$$

c) La section totale des attaques dans le moule ∑ Sa (formule 9) :

$$\mathbf{\sum Sa = 5,4x4 = 21,6\ cm^2}$$

La section totale du chenal et de la descente de coulée est déterminée d'après le rapport :

$$\mathbf{\sum Sa : \sum Sch : \sum Sdc = 1 : 1,1 : 1,15}$$

$$\mathbf{\sum Sch = 21,6x1,1 = 23,8cm^2}$$

$$\sum \mathbf{Sdc} = \mathbf{21,6x1,15} = \mathbf{25cm^2}$$

d) Déterminons les dimensions linéaires des éléments du système de coulée.

- **Attaques :** prenons les attaques de la section transversale trapézoïdale.

La section d'une attaque :

$$\mathbf{Sa1} = \frac{\mathbf{Sa}}{\mathbf{na}} = \frac{\mathbf{5,4}}{\mathbf{2}} = \mathbf{2,7cm^2}$$

Prenons la largeur Ba des attaques (la ligne moyenne) un peu inférieure par rapport à la largeur des flasques de la pièce : Ba=20mm. Dans ce cas :

$$\mathbf{ha} = \frac{\mathbf{Sa1}}{\mathbf{Ba}} = \frac{\mathbf{2,7}}{\mathbf{2}} = \mathbf{1,35cm} = \mathbf{13.5mm}.$$

Pour obtenir la forme trapézoïdale prenons la base supérieure de la section de 19mm, et celle inférieure 21mm.

- **Chenal :** après la descente de coulée le métal passe dans deux directions (fig 20). La section de chaque branche de chenal :

$$\mathbf{Sch1} = \frac{\mathbf{Sch}}{\mathbf{nch}} = \frac{\mathbf{23,8}}{\mathbf{2}} = \mathbf{11,9cm^2}.$$

Prenons : $\mathbf{hch} = \mathbf{1,2Bch}$. Donc on à :

$$\mathbf{11,9} = \mathbf{Bchxhch} = \mathbf{Bchx1,2Bch}$$

$$\mathbf{Bch} = \sqrt{\frac{\mathbf{11,9}}{\mathbf{1,2}}} = \mathbf{3,1cm} = \mathbf{31mm}.$$

$$\mathbf{hch} = \mathbf{1,2x31} = \mathbf{37mm}$$

- **Descente :** nous avons une seule descente, c'est-à-dire,$\sum \mathrm{Sdc} = \sum \mathrm{Sdc1}$.

$$\mathbf{ddc} = \sqrt{\frac{\mathbf{4xSdc}}{\boldsymbol{\pi}}} = \sqrt{\frac{\mathbf{4x25}}{\mathbf{3,14}}} = \mathbf{5,6cm}.$$

I-6-2-3 calcul des systèmes de coulées pour de moyennes et grosses pièces coulées en fonte :

On calcule la section globale des attaques pour de moyennes et de grosses pièces coulées par la vitesse spécifique de coulée à l'aide de la formule suivante[20] :

$$\mathbf{Sa} = \frac{\mathbf{Gpc}}{\boldsymbol{\tau}\mathbf{xKs}}, \mathbf{cm^2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\mathbf{8})$$

Gpc : la masse de la pièce coulée, en kg ;

τ : le temps de coulée, en sec. On le détermine par la formule :

$\boldsymbol{\tau = 1,11xXx\sqrt{Gpc}}$,Sec,………………………(9)

X : le coefficient, que l'on choisit en fonction de l'épaisseur des parois de la pièce coulée (tableau I-9) :

Epaisseur des parois, en mm	<10	11 - 20	21 - 40	>40
X	1	1,3	1,5	1,7

Ks : la vitesse spécifique de coulée, en kg /cm^2 ;

On détermine Ks en fonction de la densité relative de la pièce coulée Kv, en kg/cm^3, par la graphique (fig 21). Kv est calculé par la formule :

$\mathbf{Kv = \frac{Gpc}{Vg}, kg/dm^3}$ ….……………………………..(10)

Vg : le volume de gabarit de la pièce coulée. On le calcul en multipliant la langueur de la pièce par la largeur et par la hauteur.

II-1 Défaut de fonderie

II-1-1 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 [21].

II-1-2 Principaux 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[21].

- 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[22] :

II-1-2-1 Retassures :

Les retassures sont des cavités situées en profondeur (retassure interne) ou en surface (retassure externe) des masses métalliques. (La figure II-10 : 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 microretassures non visibles (figure II-10)[22].

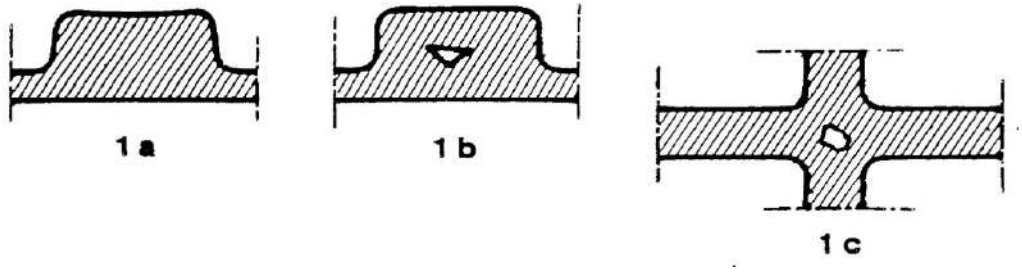


Figure II-10 : Défaut de Retassures

II-1-2-2 Criques

Les criques sont des ruptures partielles qui se produisent à température élevée en présence d'une petite quantité de métal encore liquide. Elles se produisent sous l'action d'efforts transmis au métal et résultant d'inégalités de retrait ou de la rigidité du moule. La pièce de la figure 2 présente une crique due à la formation d'un point chaud dans la partie massive. La figure 3 est un exemple de formation de crique liée à la différence de coefficient de dilatation entre la pièce et une partie du moule. La contraction différentielle est l'origine d'une crique si le métal de la pièce ne possède pas la capacité de déformation nécessaire [22].

II-1-2-3 Piqûres et porosités dues aux gaz

Les piqûres sont des défauts d'origine gazeuse. Elles proviennent de la dissolution de gaz dans le métal liquide lors de la fusion. Lorsqu'un métal gazé est coulé, la solidification s'accompagne d'un dégagement gazeux.

Suivant l'avancement de la solidification, les bulles restent à l'endroit de leur formation en prenant l'aspect de piqûres dont la taille est inférieure à 2 mm ou tendent à se rassembler vers la surface libre en donnant naissance à des porosités plus importantes[22].

II-1-2-4 Soufflures

Les soufflures sont aussi des défauts d'origine gazeuse dus à l'entraînement d'air pendant la coulée (figure II-11).

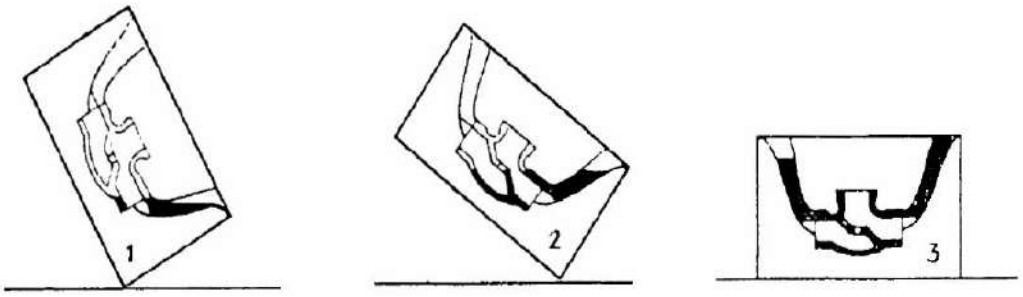


Figure II-11 : Défaut de Soufflures

Pour remédier ce défauts un Basculement d'un moule pendant la coulée pour assurer un remplissage sans remous et éviter la formation de piqûres ou de soufflures d'origine gazeuse[22].

II-2 Défaut de gale :

II-2-1 Définition de la gale :

La gale : ces défauts sont consécutif à une entrave totale à la dilatation dans le plan de la paroi intéressée, Mais ils peuvent, également, se produite alors que la dilatation s'effectue librement dans une direction de ce plan. C'est en particulier, le cas lorsqu'une empreinte présente un coin de sable [23].

II-2-2 Défauts de gale dans la fonte :

Il y a 3 type de défauts de gale dans la fonte sont :

II-2-2-1 Décollement de la première couche :

Écaille de moule emprisonnée dans le métal, ces décollement de couche totale ou partiel sont dus au manque de liaison entre les couches : un cloque ou un écaille se soulève pondant la fabrication de moule et peut se rompre lors de la coulée[24].

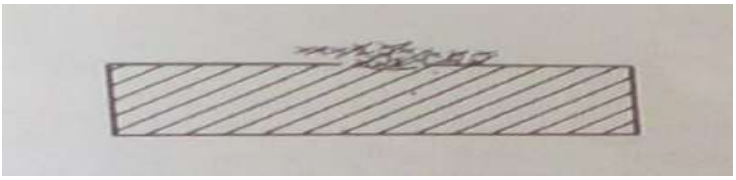


Figure II-12 : Défaut de décollement superficiel[25].

II-2-2-2 Gale franche :

Excroissance métallique irrégulière d'un épaisseur de quelques millimètre, en général à bords aigus, parallèle à la surface du moulage , à surface très rugueuse, qui d'habitude ne tient au moulage que par endroits[25].

Pour le reste elle s'en éloigne. La surface de moulage sous ce défaut présente apparence et la dépression subsiste.

La gale franche se produit sur tous les moulages principalement sur :

-la surface horizontale supérieure de l'empreinte (gale de plafond).

-la surface inferieure horizontale de l'empreinte (gale de plancher).

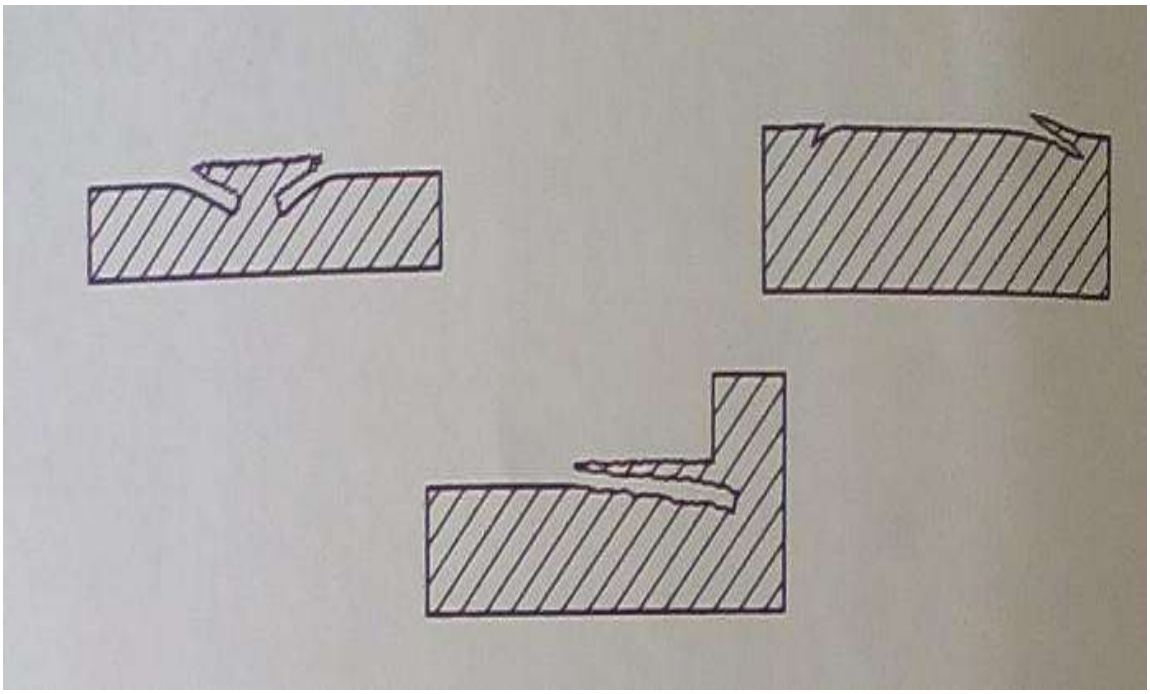


Figure II-13 : défauts Gale franche

A) gale de plafond :

- apparition d'une zone de condensation de faible résistance (schéma 1) puis formation d'une croute dont la dilatation est contrariée par la contrainte de compression dans la paroi de l'empreinte (schéma 2).

Compression de cette croute contre le sable de remplissage par l'arrivée du métal liquide et éclatement de la croute (schéma 3). le métal liquide vient s'infiltrer dans l'espace qui pout reste entre la croute et le reste du moule et forme une languette qui constitue la gale[26].

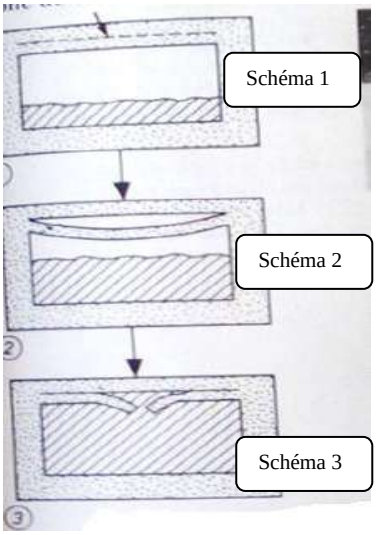


Figure II-14 : Défaut de gale de plafond

B) Gale d'angle :

Ainsi que l'apparition d'une zone de condensation de faible résistance formation d'une croute non contrariée par la contrainte de compression. La croute ne se rompt pas et pénètre dans l'empreinte ou elle se dilate (sillon). Le métal remplit la cavité qui s'est formé derrière la croute en donnant des excroissances plates partant de l'angle : défaut gale d'angle[27].

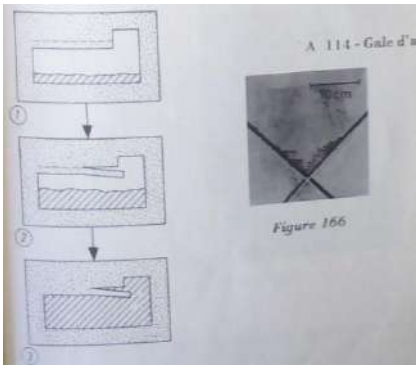


Figure II-15 : défaut de gale d'angle

C) Gale de plancher :

La nappe de métal entrant dans l'empreinte provoque rapidement une zone de condensation d'humidité de faible résistance. Ensuite avec d'assez fortes contrainte de compression dans la paroi de l'empreinte il se produite une croute dont la formation est contrariée le long de cette zone.

-la croute ne se sépare pas complètement du sable de remplissage et glisse par suite de la dilatation de la silice sur la région avoisinante de la paroi de l'empreinte . les bords de cette croute s'élèvent ce qui produite des queues de rat (R) ou bien , s'ils s'élèvent au point que métal peut pénétrer sous la croute, des gales (S)[28].

NB : R=queue de rat S=gale

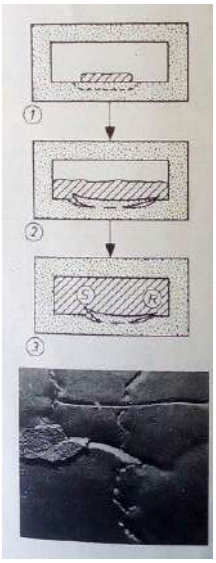


Figure II-16 : défaut de gale de plancher (a)[28]

- la croute se soulève entre deux flux de métal liquide puis est comprimée par la continuation de l'arrivée de métal liquide. Si elle ne se rompt pas il se produite seulement un enfoncement de la surface du moulage. Si elle se rompt et si le métal liquide pénètre dans la cavité qu'elle a laissée, il y a formation d'une gale .

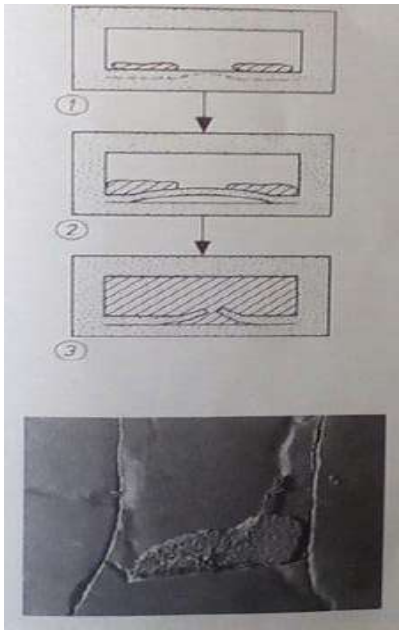


Figure II-16 : défaut de gale de plancher (b)[28].

- Les gales de plancher apparaissent en règle générale en même temps que les queues de rat (Figure II-17).



Figure II-17 : bâti de machine en fonte FGL avec une gale franche[29].

II-2-3 Défaut de gale en FGL :

Ce défaut apparaît dans les coins et angle rentrants du moulage ou sur des surfaces ayant une forme irrégulière, le plus souvent en même temps que les défauts gale (figure II-18)[30].

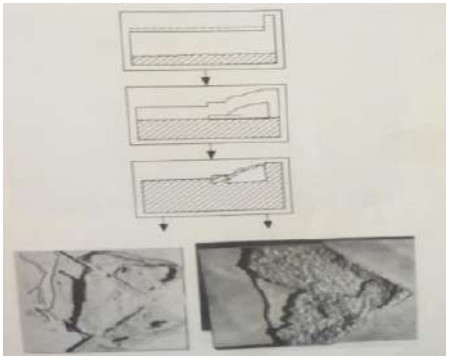


Figure II-18 : Gale volante

-Causes possible :

Contraintes de compression élevées dans les couches chaudes de la paroi supérieure de l'empreinte produite par la dilation de la silice ; en même temps il peut se produire, derrière ces couches, une zone humide de condensation à faible résistance. Une couche chaude peut alors se trouver arrachée.

II-2-4 Transformation de sable Quartzeux :

Il est intéressant d'étudier les transformations de phase, car les températures mises en jeu en fonderie de fonte et d'acier sont telles, qu'il y a transformation suivant les gradients de température du mouler.

En fonction de la température, le quartz **α** se transforme en quartz β à partir de 573°C (anomalie bien connue de la dilation de la silice). Cette transformation est réversible.

-Dilatation de 1.5% :

Le quartz β se transforme ensuite en tridymite aux environs de 867°C.

A partir de 1470°C, le tridymite se transforme en cristobalite qui une forme stable.

-Dilatation de 3% à 5% :

Dans tous les cas, il s'agite de silice cristallisée et non de silice amorphe, puisque le point de fusion n'a pas été dépassé.

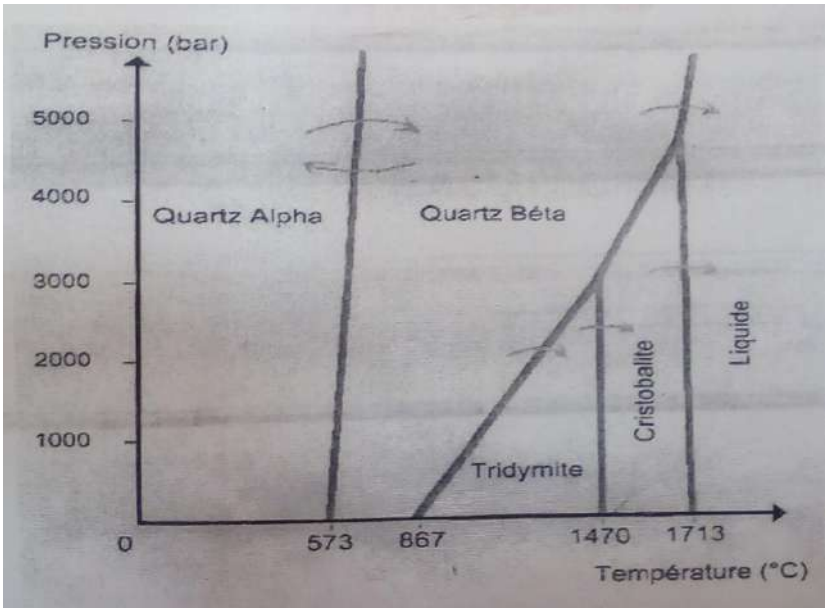


Figure II-19 : Transformation de sable quartzeux par T°.

II-3 Technique de remède de défaut de la gale :

D'après l'étude que on distingue les remèdes de défaut de gale dans la au les autre pièces moulée en unité de fonderie [31] :

II-3-1 Remèdes de défaut de gale franche

1- augmentation de la résistance à vert par :

-plus forte proportion d'agglomérant (argile, bentonite) ;

-emploi d'une meilleure qualité d'argile (bentonite) ;

-activation de la bentonite par la soude ;

-bon refroidissement de sable en circuit ;

-Meilleure préparation du sable (malaxage) ;

-choix d'un sable plus gros

2-Diminution de contrainte de compression :

-remplissage de l'empreinte plus rapide et plus régulier ;

-éviter une trop forte humidité du sable ;

-Emploi d'additifs qui par ramollissement ou combustion compensent la dilatation de la silice : poussier de charbon, brai, bitume. N'utiliser néanmoins qu'avec précaution les additifs qui ont une forte action ramollissante tels que la farine de tourbe et la farine de bois car leur emploi entraîne une diminution de la résistance à vert du sable ;

-remplacement total ou partiel du sable siliceux par des sables réfractaire à faible dilatation et ne comportant pas, comme la silice, des transformations allotropique accompagnées au chauffage de fortes expansions. Le sable de zircon remplit ces conditions.

3-Tirer l'air. Augmenter la perméabilité ;

4-Remèdes généralement à déconseiller :

-Pointer ; incliner le moule ; couvrir les parties menacées avec des Tôles[31].

II-3-2 Remèdes de défaut de gale volante :

1-Augmenter la résistance à vert par les moyens suivants :

-plus forte proportion d'argile (Bentonite),

-meilleure qualité d'argile (Bentonite),

-meilleure préparation de sable (broyage),

-serrage optimal (éviter un serrage exagéré),

-refroidissement du sable.

-Diminution des contraints de compression,

2-augmentation de la résistance à la traction du sable à l'état sur humidifié[31].

II-3-3 Remèdes de défaut de gale de Décollement de la première couche :

-Réajustement des cycles de trempe et de séchage [31].

III-1 Suivie des compagnes de FGL20 en (POVAL):

III-1-1 Introduction :

-Suivie les 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 III-10, tableau III-11, tableau III-12, tableau III-13)

- 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 III-15

- Ces analyses, Faites-nous aussi nous analysons le sable, Le tableau (III-16) présente les résultats.

III-1-2 Suivie de compagne pour la pièce désigné :

Dans cette étude, nous avons 4 pièces que nous avons fait la suive de compagne:

III-1-2-1 les compagnes pour la pièce berceaux :

-Le tableau suivant exprime la compagne pour la pièce berceau (tableau III-10).

Tableau III-10 : la compagne de la pièce berceau

N° de la compagne	La date	Pièce	Poids (Kg)	Rebut	% de chaque Rebut
Compagne1	20/02/2017	3	130	• 3 Défaut de moulage	100%
Compagne2	23/01/2017	2	130	• 2 non venu (NV)	100%
Compagne3	08/01/2017	4	130	• 4 non venu (NV)	100%
Compagne4	25/12/2016	14	130	• 10 Défaut de moulage • 4 La gale	71.42% 28.58%
Compagne5	19/10/2016	6	130	• 6 La gale	100%
Compagne6	24/09/2016	5	130	• 5 chute des sables	100%
Compagne7	28/07/2016	4	130	• 4 bulles	100%
Compagne8	17/07/2016	33	130	• 6 non venu (NV) • 27 Défaut de moulage	81.81% 18.19%
Compagne9	31/05/2016	20	130	• 5 non venu (NV) • 5 La gale • 10 Défaut de moulage	25% 25% 50%
Compagne10	24/04/2016	71	130	• 71 La gale	100%
Compagne11	17/04/2016	10	130	• 6 Défaut de moulage • 4 La gale	60% 40%
Compagne12	16/04/2016	1	130	• 1 Défaut de moulage	100%
Compagne13	28/03/2016	24	130	• 20 La gale • 4 Défaut de moulage	83.33% 16.67%
Compagne14	16/03/2016	8	130	• 4 Défaut de moulage • 4 La gale	50% 50%

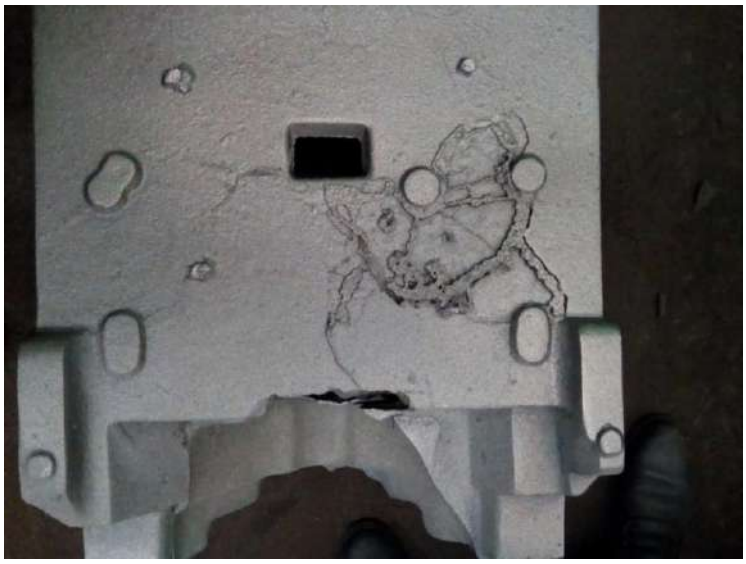


Figure III-20 : Le défaut de gale dans la pièce Berceau

III-1-2-2 les compagnes pour la pièce contre poids :

Le suivi de la compagne de la pièce (contre poids) est exprimé dans le tableau (III-11)

Tableau III-11 : la compagne de la pièce contre poids

N° de la compagne	la date	pièce	poids en Kg	Rebut	% de chaque rebut
Compagne 1	20/02/2017	3	55	• 3 Défaut de moulage	100%
Compagne 2	08/01/2017	106	55	• 90 Défaut de moulage • 10 Pénétration • 6 choc	84.91% 9.43% 5.66%
Compagne 3	12/12/2016	10	55	• 10 Défaut de moulage	100%
Compagne 4	19/10/2016	4	55	• 4 Choc	100%
Compagne 5	24/09/2016	6	55	• 6 Choc	100%
Compagne 6	12/06/2016	9	55	• 4 Défaut de moulage • 5 Pénétration	44% 55%
Compagne 7	17/04/2016	15	55	• 10 Défaut de moulage • 5 Pénétration	66.66% 33.33%



Figure III-21 : pièce Contre poids

III-1-2-3 les compagnes pour la pièce entretoise :

-le tableau suivant exprime la compagne pour la pièce entretoise (tableau III-12):

Tableau III-12 : la compagne de la pièce entretoise

N° de la compagne	la date	Pièce	Poids en Kg	Rebut	% de chaque rebut
Compagne 1	23/01/2017	11	16	• 5 Chute • 6 Pénétration	45.45% 54.55
Compagne 2	14/11/2016	32	16	• 16 chute • 16 Pénétration	50% 50%
Compagne 3	23/07/2016	24	16	• 24 Gale	100%
Compagne 4	17/07/2016	44	16	• 20 Chute • 24 Pénétration	45.45% 54.55%
Compagne 5	31/05/2016	21	16	• 10 Chute • 11 Gale	47.61% 52.39%
Compagne 6	11/05/2016	20	16	• 20 Chute	100%
Compagne 7	06/04/2016	95	16	• 35 Chute • 20 Bavure • 30 Défaut de moulage • 10 Gale	36.84% 21.05% 31.57 10.52%
Compagne 8	16/03/2016	53	16	•20 Chute • 23 Gale • 10 Défaut de moulage	37.73% 43.39% 18.87%
Compagne 9	20/02/2016	22	16	• 15 Gale • 7 Défaut de moulage	68.18% 31.82%
Compagne 10	15/12/2015	14	16	• 14 Chute	100%



Figure III-22 : La pièce entretoise

III-1-2-4- compagnes pour la pièce volant de moteur :

-le tableau suivant exprime la compagne pour la pièce volant de moteur (tableau III-13):

Tableau III-13 : la compagne de la pièce volant de moteur

N° de la compagne	la date	Pièce	Poids en Kg	Défaut	% de chaque rebut
Compagne 1	08/01/2017	9	23	• 09 Chute	100%
Compagne 2	25/12/2016	29	23	• 20 Défaut de moulage • 9 Gale	68.96% 31.04%
Compagne 3	15/09/2016	54	23	• 25 Chute • 20 Pénétration • 9 Gale	46.29% 37.03% 16.67%
Compagne 4	17/07/2016	43	23	• 20 Chute • 15 Pénétration • 8 Gale	46.51% 34.88% 16.61%
Compagne 5	31/05/2016	45	23	• 20 Défaut de moulage • 25 Gale	44.44% 55.56%
Compagne 6	16/04/2016	27	23	• 15 Chute • 12 Variation	33.33% 66.67%
Compagne 7	28/03/2016	54	23	• 54 Variation	100%



Figure III-23 : Pièce volant de moteur

III-2-1 Analyse chimique pour FGL20 :

III-2-1-1 Norme et fourchette utilisé en POVAL de l'analyse chimique :

-Les éléments composites pour la fonte graphite lamellaire dans le tableau suivant (tableau III-14) :

Tableau III-14 : les normes de FGL20 en poval

Elément	Carbone	Silicium	Manganèse	Phosphore	Soufre
Pourcentage	3.2 à 3.6	1.8 à 2.3	≤ 0.45	≤ 0.20%	0.02 à 0.12

$$\mathbf{D_S=\frac{C}{4.3-(Si+P)/3}=1\pm0.2}$$ (Ds : Dégrée de saturation)

III-2-1-2 Contrôle de l'analyse chimique des compagnes de FGL20

Par la suite on obtient les résultats de l'analyse chimique des compagnes de FGL20 datés de l'année 2016-2017, données par laboratoire de fonderie de POVAL montré dans le tableau (III-15)

Tableau III-15 : les compagnes pour l'analyse chimique FGL20 à POVAL

Compagne	la date	Four	Qualité	Temps entrée	Temps sortie	%C	%Si	DS (Sc)	Observation
Compagne 1	20/02/2017	12 T	FGL20	11:30 12 :25	11:42 12 :35	3.39 3.51	2 1.91	0.93 0.97	•Correction 1 •Bon Résulta
Compagne 2	23/01/2017	12 T	FGL20	9 :50 11 :28	10 :00 11 :42	3.38 3.48	2.14 2.14	0.94 1.00	•Correction 1 •Bon Résulta
Compagne 3	08/01/2017	12 T	FGL20	08 :00 10 :00	8 :19 10 :12	3.41 3.46	2.05 2.19	0.94 1.00	•Correction 1 •Bon Résulta
Compagne 4	20/12/2016	12 T	FGL20	8 :00	8 :22	3.45	2.14	0.99	•Bon Résulta
Compagne 5	19/10/2016	12 T	FGL20	07 :17	07 :33	3.46	2.10	0.99	•Bon Résulta
Compagne 6	25/09/2016	12 T	FGL20	08 :03 08 :57	08 :15 09 :07	3.46 3.41	1.91 2.05	0.94 0.97	• Correction 1 •Bon Résulta
Compagne 7	28/07/2016	12 T	FGL20	07 :38 08 :25	07 :50 08 :35	3.40 3.45	2.14 2.09	0.93 0.98	•Correction 1 •Bon Résulta
Compagne 8	17/07/2016	12 T	FGL20	11 :19	11 :25	3.17	1.63	1.00	• Bon Résulta
Compagne 9	31/05/2016	12 T	FGL20	07 :55 09 :25	8.35 09.40	3.40 3.45	2.05 1.95	0.93 0.99	•Correction 1 •Bon Résulta
Compagne 10	18/04/2016	12 T	FGL20	07 :55 09 :23 09 :52	08 :32 09 :35 10 :02	3.28 3.42 3.42	1.86 1.95 2.14	0.94 0.95 0.99	•Correction 1 •Correction 2 •Bon Résulta
Compagne 11	28/03/2016	12 T	FGL20	07 :50 09 :50 10 :58	08 :30 10 :05 11 :12	3.25 3.37 3.44	2 2.19 2.14	0.93 0.97 0.98	• Correction 1 •Correction 2 •Bon Résulta
Compagne 12	16/03/2016	12 T	FGL20	07 :50 09 :10	08 :30 09 :25	3.41 3.51	2.05 2.05	0.97 1.00	•Correction 1 •Bon Résulta

III-3-1 Analyse de sable préparé et caractéristique :

III-3-1-1 Norme de sable à verte pour le moulage :

- Humidité (H2O) = 3.5%----------4.5%
- Cisaillement (cis) = 0.19 kg/cm^2----------0.26 kg/cm^2
- Compression (comp) = 0.80 kg/cm^2----------1.20 kg/cm^2
- Plasticité (plas) = 0.20----------0.25
- Perméabilité (perm) = 100----------180
- Bentonite (bent) = 9.10%----------11.10%
- Charbon (charb) = 3.5%----------4.5%
- Poussier = 13.5 max
- Grosseur moyen (GM) = 0.20mm----------0.30mm
- Matière volatile (MS) = 0.5%----------2%
- Perte au feu (FF) = 0.5%

III-3-1-2 l'analyse de sable de moulage en poval :

- Composition du sable de moulage objet 4 :

- ✓ 1690Kg--1620Kg sable vieux …….93.2%
- ✓ 80Kg—110Kg sable neuf ……5.2%
- ✓ 13.3Kg—20.8Kg bentonite …….0.9%
- ✓ 9.9Kg—16.8Kg 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 …….0.26 Kg f/mm^2
- ✓ Résistance à la compression 0.8 …….1.2 Kg f/mm^2
- ✓ Perméabilité 100 ……. 180
- ✓ Bentonite 9 ……..…… 11 %
- ✓ Carbone 3.5 ……..…… 4.5 %

Dans l'analyse suivant tout les essais se faite en objet 4 (tableau III-16).

Tableau III-16 : les compagnes de l'analyse du sable

date	Arrivé Départ (hh :mm) –	Essai	compression	cisaillement	Plasticité	perméabilité	H_2O	%C	Bentonite (%)	Observation
19/03/2017	09:05 09:52	1er 147 g	1.60	0.32	0.2	155	3.29	3.20	8.60	Sable de retour
	09.04 -- :--	2ème 147 g	1.60	0.32	0.2	155	4.05	3.20	8.60	Sable de retour
	09:05 09 :52	3ème 147 g	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	2ème 147g	1.80	0.39	0.22	155	4.77	2.91	9.30	Sable de retour
	09 :45 10 :36	3ème 147g	1.82	0.39	0.21	160	3.99	3.29	9.30	Mélangeur
13/01/2017	12:45	1er 147g	1.7	0.35	0.2	170	4.06	3.07	8.60	Retour serrage
	12:45 13 :27	2ème 147g	1.7	0.35	0.2	170	4.62	3.07	8.60	Mélangeur

09/01/2017	08:30 09 :09	1ère 148.5g	1.60	0.33	0.21	160	3.52	5.07	8.60	Salle serrage retour 20 Découchage
	09 :08 09 :48	2ème 148.5g	1.60	0.32	0.20	150	3.45	2.87	8.60	1er mélange moule cassée
	10 :00 10 :40	3ème 148.5g	1.70	0.34	0.20	160	3.33	2.82	9.30	2ème mélange 25L H_2O
	10 :40 11 :00	4ème 148.5g	1.70	0.34	0.20	160	4.00	2.82	9.30	1er 28L H_2O 25 Kg (Bent)
	10 :40 11 :00	5ème 148.5g	1.70	0.34	0.20	160	3.93	2.82	9.30	26L H_2O 25 kg (Bent)
	18 :15 19 :10	6ème 148.5g	1.55	0.35	0.22	150	3.62	3.03	8.60	/
25/12/2016	08 :45 09 :05	1er 147g	1.45	0.29	0.20	170	3.46	3.11	6.60	Sable retour1
	09 :15 09 :40	2ème 147g	1.45	0.29	0.20	170	3.10	3.11	7.30	Sable retour2
	09 :47 10 :30	3ème 147g	1.55	0.35	0.22	170	3.85	2.95	8.00	1er mélange 18L eau 15kg(bent)
	11 :50 12 :20	4ème 147g	1.50	0.30	0.20	160	3.80	2.91	8.60	2ème mélange 18L eau 15kg(bent)
024/09/2016	08 :50 09 :41	1er 150g	1.60	0.31	0.19	145	2.98	2.68	8.00	/
	10 :20 11.05	2ème 150g	1.6	0.31	0.19	145	3.40	2.77	8.60	Correction eau
	12 :20 13 :10	3ème 150g	1.5	0.27	0.18	145	3.38	2.84	9.30	/
	13 :40 14 :05	4ème 150g	1.5	0.27	0.18	145	3.30	2.84	9.30	/
	15 :25 16 :15	5ème 150g	1.5	0.27	0.18	150	3.65	2.99	9.30	Correction 32 serrage
28/06/2016	10 :20 11 :10	1er 150g	1.35	0.25	0.18	135	3.25	2.85	8.60	/
	14 :15 15 :00	2ème 150g	1.50	0.26	0.17	145	3.36	2.93	8.60	/
31/05/2016	10 :05 10 :50	1er 150g	1.1	0.24	0.22	130	3.30	2.68	9.30	/

III-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 : Si, H_2O et la bentonite en fonction de taux de rebut, voir les figures (III-24, III-25 et III-26)

III-4-1 Le graphe de Si sur le taux de rebut :

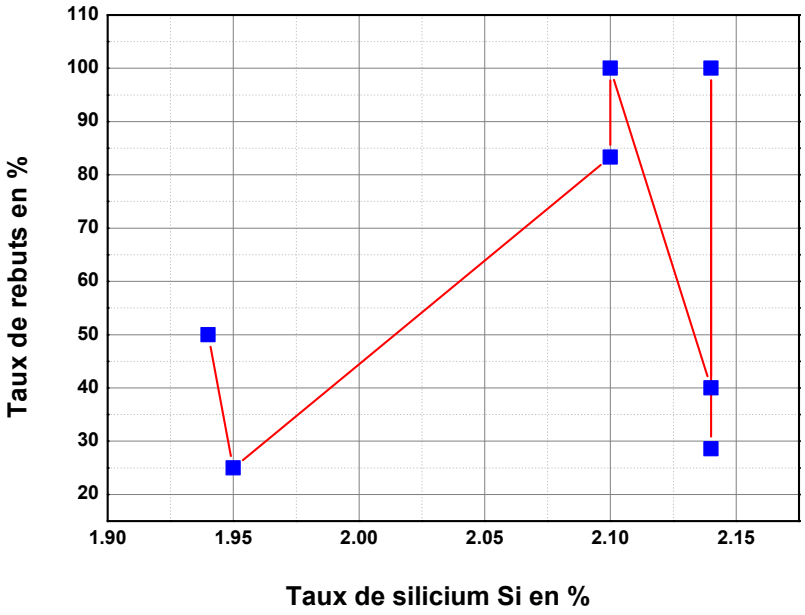


Figure III-24 :l'influence de Si sur le taux de rebut dans le berceau en FGL20

D'âpre le graphe au-dessus, nous remarquons quand le taux de silicium est inférieure à la valeur de 1.93% et supérieur la valeur 2.14% le taux de rebut est plus élevé, Contrairement à valeur quand ils sont entre l'intervalle 1.95% et 2.13% le taux de rebut est beaucoup moins élevé.

Cependant, dans certaines des valeurs dans l'intervalle 1.95<Si<2.13 Il nous montre une augmentation de rebut, et cela est dû à d'autres facteurs.

A travers l'analyse de la courbe, Nous concluons que le silicium appartient à la norme utilise en POVAL (tableau III-14) , et n'affecte pas L'émergence de rebut au le défaut de gale.

III-4-2 le graphe de H_2O sur taux de rebut :

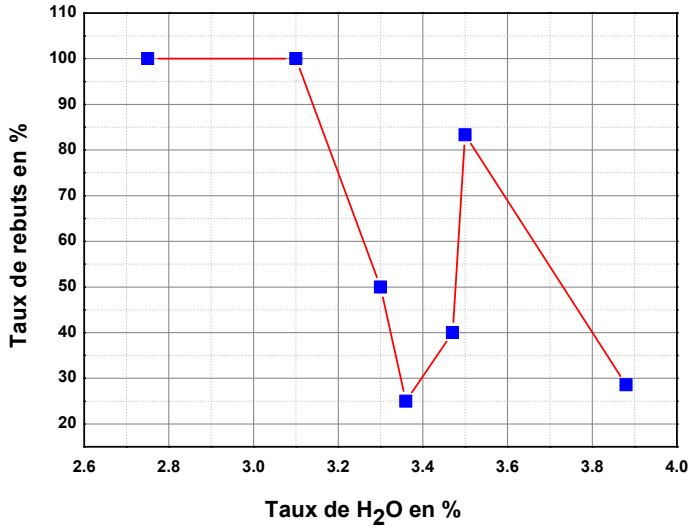


Figure III-25 :l'influence de H_2O sur le taux de rebut dans le berceau en FGL20

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

-Lorsqu'il le pourcentage de humidité (H_2O) est moins que à 3.10%, le taux de rebut devient le grande proportion pouvant aller jusqu'à 100%.

- Lorsque l'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 III-16.

- l'humidité est un élément important qui doit être suivie dans l'intervalle précédemment mentionnée.

III-4-3 le graphe Bentonite par taux de rebut :

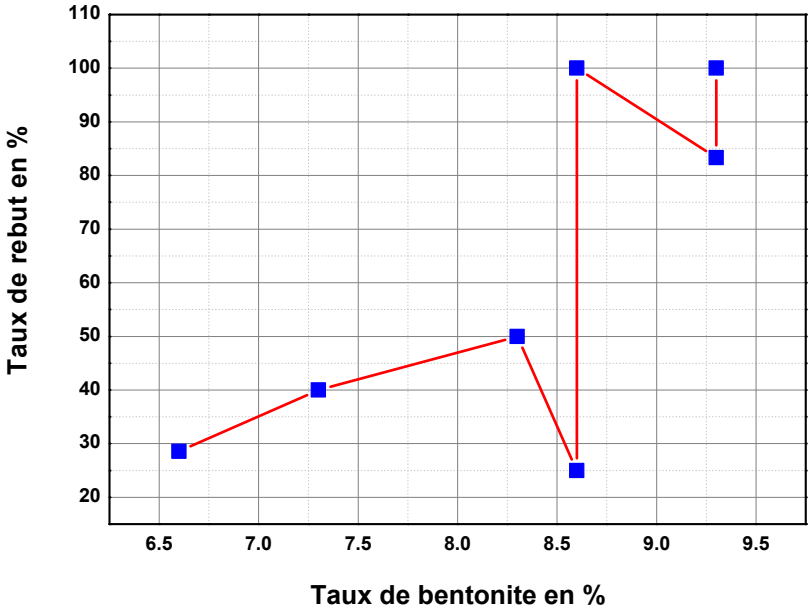


Figure III-26 :l'influence de bentonite sur le taux de rebut dans le berceau en FGL20

L'influence de bentonite sur le taux de rebut, Il nous indique la valeur qu'il faut prendre pour remédier les défauts de gale dans la pièce berceau, 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 III-16, 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.

La 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:

Conclusion Générale :

L'objectif fondamental de notre travail, est l'élimination en tout au moins la réduction sensible des rebuts de pièces moulées en fonte à graphite lamellaire. Les causes de défaut de gale et les Techniques de remède de ce défaut, causées par le moulage et le sable de moulage.

Cette étude porte sur la fonte FGL20 qui est utilisée généralement pour la fabrication des pièces moulées en POVAL.

Nous avons divisé notre travail comme suit :

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

2-Partie qui consiste le contrôle des défauts de fonderie pour la fonte FGL20.

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

4-Afin de ressortir les causes possibles de ces énormes pourcentages de rebut, et les techniques de remédie le défaut de gale.

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

• Des meilleur taux de silicium est compris entre 1.95%<Si<2.10% (fourchette des normes) ;

• Un emploi de l'humidité (H_2O) dans la 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 les deux compagnes à chaque l'opération de moulage au coulée, Et de suivi de l'intervalle précédemment mentionnée.

Bibliographie

[1] : G. Murry, Aide -mémoire métallurgie, Paris, Dunod, 2004, 2010

[2] : Image fer-carbon tsaucray.free.fr 1metallurgie 11fusion F21b

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

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

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

[7] : M. Durand-Charre, La microstructure des aciers et des fontes Genèse et interprétation, Paris, Spire éditeur, 2003

[8] : J. Barralis, G. Maede, Précis métallurgie, élaboration, structures-propriétés, normalisation AFNOR, Paris, Nathan, 2005

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

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

[11] : Partie livre Moulage et noyautage de technique ingénieur.

[12] : Moulage et Noyautage de technique ingénieur.

[13] : Cours procédé des fabrications 3eme année licence UYF.

[14] : Cours procédé des fabrications 3eme année licence UYF.

[15] : Mémoire 3eme année licence préparation de sable à poval

[16] : Cours03 Le principe du moulage Fonderie

[17] : Le bureau de fonderie (noyautage) à poval .

[18] [19] [20] : Fichier calcul des systèmes de coulée et d'alimentation (poval Berrouaghia)

[21] : Cours Procédés de Fabrication/Mécanique Sciences Des Matériaux /université YAHIA FARES-MEDEA-

[22] : Défauts et règles de trace des pièces de fonderie, Université le mans Métallurgie

[23] : Center Technologie des Industries de la Fonderie (CTIF), principe aux défauts imputable aux sables a vert en fonderie de fonte.

[24] : Recherche de la qualité des pièces de la fonderie, page 215 (D242)

[25] : Recherche de la qualité des pièces de la fonderie, page 216 (231)

[26] [27] : Recherche de la qualité des pièces de la fonderie, page 217 et 218

[28] : Recherche de la qualité des pièces de la fonderie, page 219

[29] : Recherche de la qualité des pièces de la fonderie, page 221 (231)

[30] : Recherche de la qualité des pièces de la fonderie, page 223