REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHESCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de Technologie

Département de Génie Mécanique

Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme De master en génie mécanique
Spécialité : Ingénierie des matériaux et des surfaces

ETUDE DE DEFAUT DE FONDERIE DE NON VENU DES PIECES MOLES EN FGL 20

Proposé et Dirigé par :
MR : El mohri Abdennour

Présenté par :
SELLALI Faouzi
AIDER Abderrahmane

Promo 2020

Remerciements

Nous remercions avant tout, Dieu le tout puissant, pour nous
.avoir permis de présenter ce modeste travail

Nous tenons à exprimer nos vifs Remerciements et notre profonde Gratitude à notre promoteur

Mr El mohri abdennour pour sa disponibilité et son aide durant tout le déroulement de tout ce projet. Grâce à son dévouement, conseils scientifiques et suivis, nous avons pu mener à terme notre travail.

Nos remerciements sincères vont également à tous les
.membres du jury d'avoir accepté d'examiner ce travail.

A tous les enseignants de l'Université, et surtout nos professeurs durant ces années, pour la connaissance que vous avez toujours su nous transmettre et pour votre disponibilité
.dans la réalisation de ce travail

Notre bonheur est d'avoir été vos étudiants et permettez-nous
.de le rester

Nous remercions du fond du cœur, notre famille sons parente.

Nous ne saurons conclure sans adresser toute notre gratitude à tous nos professeurs de l'Université Dr YAHIA FARES.
. Médéa

A tous ceux qui nous a soutenus de près ou de loin en pensées et prière. Merci

FAOUZI Abderrahman

SOMMAIRE

Chapitre I : Généralités sur les fontes

I-1Introductions..... 04
I-2 Elaboration de la fonte 04
I-3 Types de Fontes 13
I-4Utilisations des fonts..... 16
I-5Procédé de fabrication..... 17
I-6 suivi de l'élaboration de la fonte FGL 20 (POVAL)..... 24

Chapitre II **: Technologie de Moulage .....** 30
II-1 Les matières de moulage de fonderie 31
II-2 Système de coulée et d'alimentation 41

Chapitre III **: Défauts de moulage .....** 49
III-1Introduction..... 50
III-2.Défauts de moulage..... 50
III-3-Etude de Défaut de Malvenu 54

Chapitre IV : étude de cas de problème de non venue en société Poval .. 60
IV-1 Contrôle de qualité des pièces en rebut..... 61

Conclusion générale 65

Bibliographies..... 66

Liste des tableaux

N°	Titre	Page
I.1	composition chimique de défirent types de minerai de fer	06
I.1	Composition chimique de la fonte élaborée	28
I.2	Lit de fusion de la fonte élaborée	28
I.3	Compositions chimiques des constituants du lit de fusion	29
I.4	Le bilan total des additifs de lit de fusion	29
II.1	Cristallographie de SiO2suivant les conditions de température	32
II.2	Cas d'exemple : Analyse granulométrique du sable de Chlef (traité)	34
II.3	Les groupes du sable	35
II.4	Analyse typique de Noir minéral	39
II.5	Relation entre indice de finesse et dimensions moyennes des grains en mm	40
IV.1	Les compagnes des pièces Trappes	61
IV.2	Analyse chimique de FGL20	61
IV.3	Les compagnes des pièces Tampon+Cadre 850	63
IV.4	Analyse chimique de FGL20	63

Listes des figures

N°	Titre	Page
I.1	Schéma de principe d'un haut-fourneau	07
I.2	Opérations d'élaboration de la fonte de moulage	10
I.3	Le diagramme fer-carbone	12
I.4	Diagramme d'équilibre fer – graphite	14
I.5	fonte a graphite lamellaire	14
I.6	Schéma descriptif d'un four Le haut-fourneau	18
I.7	Schéma descriptif d'un four à induction à creuset	21
I.8	Four à résistance rayonnant	22
I.9	Schéma descriptif d'un four à arc électrique	23
I.10	Photo de parc à ferrailles	24
I.11	Photographie de four de fusion à induction de capacité 12T	25
II.1	diagramme Cristallographie de SiO2 suivant les conditions de température et de pression	33
II.2	structure de la bentonite	38
II.3	effet du noir a l'interface sable /métal l'ours de la coulée	39
II.4	Schéma descriptif d'un moule en sable	41
III.1	La forme et l'emplacement de la retassure dépendent des conditions de refroidissement	51
III.2	dessine repesent le non venu.	54
III.3	défaut de remplissage (malvenu)	58
III.4	défaut de non venu dans les pales de turbine (problème de coulabilité)	58
III.5	couvercle de palier en fonte alliée graphite lamellaire. Par suite d une température de coulée trop basse les angles ne son pas venus. La surface est brillante.	59
IV.1	model de la trappe qui donnait le défaut de mal venue	62
IV.2	model de trappe Après modification de système d'alimentation	62
IV.3	défaut de non venu dans La compagne de la pièce Cadre 850	64

الملخص

يتكون مشروع نهاية الدراسة هذا من دراسة عيب عدم القدوم في الأجزاء اللينة من الحديد الزهر الرمادي مع الجرافيت الرقائقي FGL20. ولإنجاز هذا العمل تمت مراجعة تقارير مكتب ضبط الجودة ومختبر التحليل الكيميائي والفيزيائي (poval) حيث يمكن الاستنتاج أن نظام الإمداد والسيولة لهما دور أساسي في ظهور هذا العيب.

Résume

Ce projet de fin d'études consiste à étudier le défaut du no venu dans des pièces moles en fonte grise à graphite lamellaire FGL20. Afin d'accomplir ce travail, les rapports du Bureau de Contrôle Qualité et du laboratoire d'analyses chimiques et physiques (poval) ont été consultés, où l'on peut conclure que le système d'alimentation et la fluidité ont un rôle fondamental dans l'apparition de ce défaut.

Abstract

This end-of-study project consists of studying the defect of no-come in soft parts of gray cast iron with lamellar graphite FGL20. In order to accomplish this work, the reports of the Quality Control Office and the chemical and physical analysis laboratory (poval) were consulted, where it can be concluded that the supply system and fluidity have a fundamental role in the appearance of this defect.

Introduction générale:

L’unité de fonderie de berrouaghia (poval) et une unité que fabrique des pièces moulées de fonte et d acier destinées aux secteurs industriel . La fonte est utilisée pour tout type de pièce mécanique.

Les fontes ce sont des alliages de fer et de carbone dont la teneur en carbone est supérieur à 2% ,avec d'autre éléments qui influence sur leur microstructure et qualité tels que le phosphore, le soufre et le manganèse.

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

La fonte FGL est la plus courante des fontes grises dans le domaine industriel à causse de ses caractéristiques de frottement , et ses bonnes qualités, et son prix peu élevé. La fonte FGL est incontournable pour la réalisation des plaques de cheminée et d'inserts de cheminée. FGL est utilisée pour la fabrication de disques de freins, pour la réalisation d'éléments de chauffage, particulièrement ceux de haut de gamme.

Pour leur majorité les pièces sont obtenues par coulée du métal liquide dans des moules en sable siliceux.

Le moulage est un procède d'obtentions des pièces brutes. Apres avoir Coules le métal a l’êta liquide dans la mole, ce dernier se solidifie pare refroidissement et prend la forme de l empreint que existe a l’intérieur de la mole. Le processus de fabrication dans le secteur de la fonderie est un processus très complexe dans le sens ou il est difficile de connaitre l’origine de ses défauts.

Les produites fabrique connait des grands problèmes de fabrication et dont une bonne proportion est rebutée a cause des défauts de surfaces de la pièce, notamment le mal venu selon les statistique donnée par le servisse de contrôle.

L'objectif de cette étude est d'obtenir une coulée sans défaut.

L'importance du sujet étudié est d'améliorer la qualité des produits et d'augmenter la production et le ratio économique de l'entreprise.

Alors, quel est le défaut de non-venu, et quelles sont les raisons les plus importantes de son apparition?.

Le problème de la liquidité, du système d'alimentation et de la température de coulée aura-t-il un effet là-dessus?

Notre travail consiste à étudier ces hypothèses et leur rôle dans ce déséquilibre.

Le présent manuscrit est composé principalement de trois chapitres engendrés par une :

Introduction et une conclusion générale.

Une recherche bibliographique sur l'élaboration des fontes qui résulte essentiellement

Une généralité sur les fontes tel que l'élaboration, et qui parle sur les éléments d'addition Principaux de la fonte, et les types des fontes et les types des fours, et l'élaboration de la fonte FGL 20 (POVAL).

Le deuxième chapitre qui parle sur la technologie de moulage, Cette dernière est basée sur les matières de moulage de fonderie, et le système de coulée et d'alimentation.

Le troisième chapitre Il parle des défauts courants de la fonderie, et nous fournissons une explication détaillée du défaut de non-venu

Le quatrième chapitre se concentre sur les pièces les plus importantes fabriquées dans la fonderie Barrouaghia, dans lesquelles le défaut de non-venu s'est produit fréquemment .

CHAPITRE I:
GENERALITES SUR LES FONTS

I-Généralités sur les fontes:

I-1Introductions :

Le fer est très largement répandu dans l'écorce terrestre, où il se présente sous forme de minerais divers (oxydes, hydroxydes, carbonates, sulfures, silicates et autres).

Depuis la préhistoire, l'être humain a appris à préparer ces minerais par lavage, concassage, criblage, élimination de la gangue, et à les traiter par réduction (fusion), agglomération sur grille ou en boulettes pour pouvoir les fondre de façon à obtenir du fer et de l'acier. A l'époque historique, une industrie florissante du fer s'est développée dans de nombreux pays à partir des gisements locaux de minerai et de la proximité de forêts qui fournissaient le combustible sous forme de charbon de bois. Au début du XVIIIe siècle, la découverte de la possibilité de remplacer le charbon de bois par le coke a révolutionné la sidérurgie, dont l'essor allait être le point de départ de tous les autres progrès de la révolution industrielle. La fabrication de l'acier ne s'est véritablement développée qu'au XIXe siècle, avec l'invention des procédés de fusion [1].

Aujourd'hui la production d'acier est un indice de la richesse nationale et elle est à la base de la production de masse dans de nombreux secteurs industriels tels que la construction navale, l'automobile, le bâtiment et les travaux publics, la construction mécanique, l'outillage et les équipements industriels et ménagers. Le développement des transports, en particulier par mer, ayant rendu le commerce international des matières premières (minerai de fer, charbon, ferrailles et additifs) économiquement rentable, il contribué à battre en brèche la position privilégiée des pays possédant des gisements de minerai de fer à proximité de mines de charbon **[1].**

I-2 Elaboration de la fonte:

Le principal moyen utilisé pour l'élaboration de la fonte est le haut fourneau. dans lequel se déroule le processus métallurgique de réduction, fusion ainsi que la carburation du fer. Le but principal du haut fourneau est d extraire le métal fer de son minerai et sa séparation de la gangue.

Les matières premières utilisées pour l'élaboration de la fonte sont :

- Le minerai de fer.
- Le coke.
- Les fondants (addition).

Le produit principal du haut fourneau est la fonte appelée aussi fonte de première fission. Elle est obtenue à l'état liquide à une température de près de 1400°C et avec une teneur en carbone de 3,5 % à 4,5 % et de teneur variable en Si, Mn, P et S. Elle peut aussi renfermer d'autres éléments tels que Ti, Cr, etc.

La fonte est définie comme un alliage de fer et de carbone dont la teneur en carbone est supérieure à 2 % (voir diagramme Fer-('arbore). Le produit secondaire obtenu lors de l'élaboration de la fonte est le laitier (dit aussi scorie) dont les principaux composants sont CaO, $Si0_2$,. $Al_2 0_3$ et MgO[2].

Matières premières

Comme il a été mentionné auparavant, les matières premières destinées pour l'élaboration de le fonte sont : le minerai de fer, le coke et les fondants.

Le minerai de fer

Ce sont des roches contenant le fer en quantité importante et économiquement peuvent être traités en procédé métallurgique. Selon la forme de combinaisons chimiques, on distingue plusieurs types de minerai de fer :

a. La magnétite (Fe_3O_4). sa couleur varie du gris foncé au noir.

b. L'hématite rouge (Fe_2O_3). sa couleur varie du rouge foncé au gris foncé.

c. L'hématite brune ($Fe_2O_3H_2O$), sa couleur varie du noir au jaune.

d. Le fer spathique ou sidérose ($FeCO_3$), sa couleur varie du jaune pâle au gris.

Certains éléments additifs du minerai de fer sont indésirables d'autres sont utiles. Les éléments nocifs sont le soufre, le phosphore, l'arsenic, le plomb, le zinc et le cuivre. Le reste tels que Mn, Cr, Ni, Al,. Na et. MO sont utiles.

Les minerais de fer sont souvent très pauvres en manganèse, l'un des éléments améliorant les propriétés de fonte. Il est essentiellement utilisé pour l'élaboration des fontes riches en manganèse tels que les ferro-manganèses et fonte spiegel. Le plus souvent on utilise les oxydes tels que MnO_2, et Mn_2O_3 dont la teneur en manganèse peut atteindre 50[2].

Le tableau ci-dessous, nous donne un aperçu sur la composition chimique des différents minerais.

Tableau I-**1:**composition chimique de défirent types de minerai de fer [2]

	Composition chimique								
Type	Fe	Mn	P	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	CO_2	humide
Magnétite Fe_3O_4	50-70	0,04-0,2	0,02-3	0,1-7	0,3-1,2	1,0-6	0,5-1,5	-	1
Hématite rouge Fe_2O_3	40-70	0,1-1,0	0,1-0,8	5-18	1-6	0,5-5	0,2-1,0	0-8	1-10
Hématite brune $FeO_3 \times H_2O$	25-58	0,5-5,0	0,1-1,0	5-15	1-10	1-25	0,2-2	8-30	5-15
Fer spathique ou sidérose $FeCO_3$	30-40	1-7	0,02	7-10	0,1-3	0,5-3	0,5-3,5	20-30	0,5-2

Le coke

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

- 78 à 80 % de carbone
- 8 à 11 % de sandre
- 2 à 6 % H_2O
- 0,8 à l,.2 % de soufre
- 2 à 3 % d'éléments volatils

Le rôle du coke dans le haut fourneau est de :

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

Les fondants

Les fondants sont utilisés dans la charge du haut fourneau pour réduire la température de fusion de la gangue, pour la scarification de la soudure du coke et enfin pour l'obtention du laitier fluide ayant une bonne capacité d'absorption du soufre et du

phosphore, ces deux derniers éléments sont indésirables dans la composition de la fonte. Comme fondants on utilise le plus souvent le calcaire $CaCO_3$, et très rarement la dolomite $MgCO_3$ ou $CaCO_3$ [2].

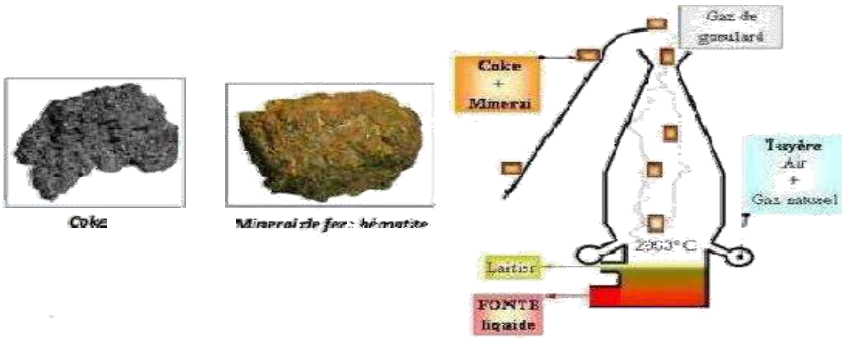


Figure I-1 : Schéma de principe d'un haut-fourneau

I-2-1-4Eléments normaux dans de la fonte :

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

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

I-2-1-5 Principaux fontes de 1ère fusion:

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

Ces oxydes de fer sont chauffés à haute température, par du coke métallurgique. Il s'opère une réduction des oxydes contenus dans le minerai, c'est-à-dire une désoxydation de ces oxydes, avec la mise en liberté du métal qui les composaient par l'oxyde de carbone, fourni par la combustion du coke[4].

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

Celle-ci est coulée dans des lingotières métalliques, des quelles on démoule, après solidification, des gueusets[4].

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

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

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

Les fontes produites par les hauts fourneaux, ont des compositions chimiques variables : % C = 3 à 4,5% - % Si = 2 à 3,5% - % Mn = 0,5 à 1,2% - % P = 0,05 à 1,5% - % S " 0,06%.

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

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

Soit vers les aciérés (afin d'être, transformées, après élimination d'une partie des éléments constituants, en aciers divers), il s'agit alors des fontes dites, fontes brutes affinage[4].

I-2-1-6 Fontes brutes de moulage :

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

Elles sont classées en fonction de leur teneur en phosphore :

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

Font hematite:

% C = 3,6 à 3,8% % Si = 3 à 3,5% % Mn = 0,6 à 0,75% % P = 0,1 à 0,3% % S ” 0,04%.

Afin de bien comprendre la fabrication il est indispensable de présenter le schéma des opérations tel qu'il peut se présenter pour l'élaboration des fontes et des aciers moulés dans une fonderie moderne (figure I-2)[5].

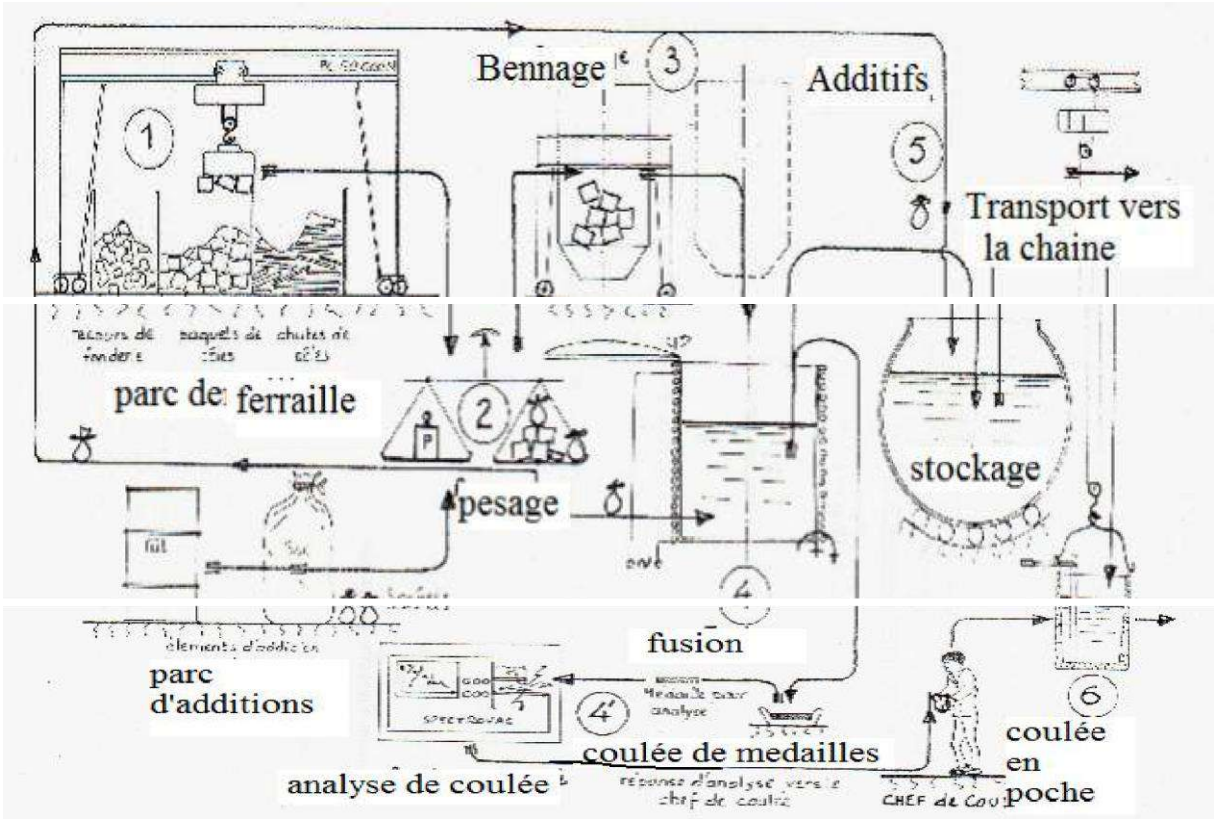


Figure I-2. Opérations d'élaboration de la fonte de moulage[4].

On distingue les étapes suivantes :

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

I-2-2Fontes de deuxième fusion:

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

- les riblons d'acier
- les vieilles fontes ou bocages extérieurs.
- Les fontes de retour ou bocages intérieurs[4] .

I-2-2-1 Fontes normales :

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

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

I-2-2-2 Fontes spéciales :

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

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

I-2-2-3 Composition de la Fonte :

D'un point de vue chimique, les fontes sont des alliages fer-carbone contenant une phase eutectique, appelée lé débrutie. 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 :

- hypo eutectique : de 2,11 à 4,3 % de carbone.
- Fonte eutectique : 4,3 % de carbone, cette fonte a la température de fusion la plus basse à 1 148 °C.
- Fonte hyper eutectique : de 4,3 à 6,67 % de carbone.

Les fontes cristallisent dans le diagramme fer-carbone métastable fer-cémentite (représenté ci-contre), Fonte bien que ce soit le graphite qui soit thermodynamiquement stable : la cémentite devrait se décomposer en Fe3C Í 3FeĮ + C (graphite).

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

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

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

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

On a donc deux types de fontes :

- Les fontes blanches à cémentite.
- Les fontes grises à graphite[5].

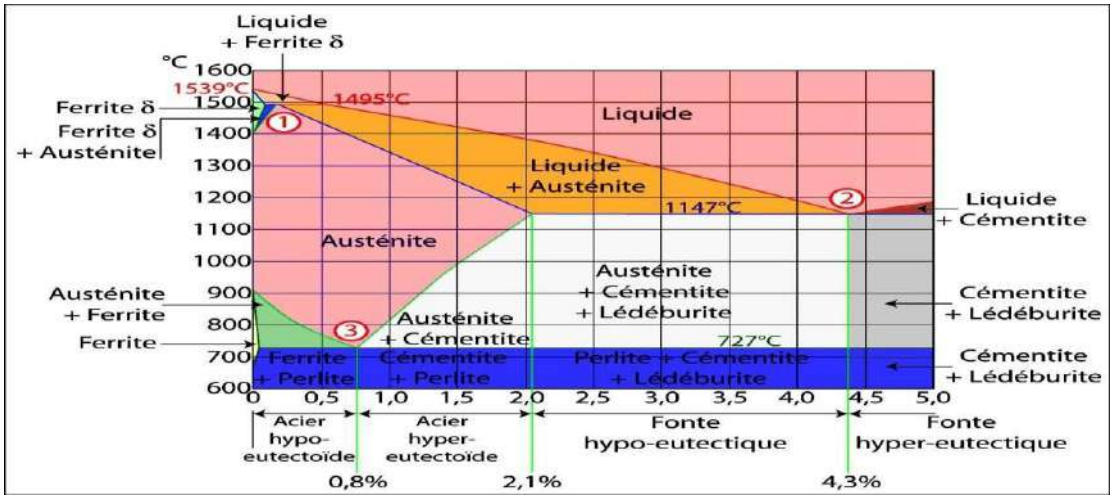


Figure I-**3** Le diagramme fer-carbone[6].

I-3 Types de Fontes :

I-3-1 Fontes blanches :

Contient de 1,8 à 3,6% de carbone, de 0,5 à 1,9% de silicium et de 1 à2% de manganèse. Un taux de refroidissement rapide empêche la précipitation du carbone comme graphite. A la place, le carbone, qui est en solution dans la coulée, forme du carbure de fer (Fe3C, également désigne cémentite). La structure de la fonte blanche est constituée de perlite et de lé deburite (Fig. 4), un eutectique d'austénite et de cémentite. Les alliages durs au Ni (89%Cr, 5-6% Ni) ont une matrice martensitique avec des carbures de chrome. La fonte blanche présente une résistance à la compression élevée et les versions alliées montrent une bonne conservation de la résistance et de la dureté a températures élevées. En raison de ses grandes quantités de carbures, particulièrement lorsqu'elle est alliée, la fonte blanche montre une excellente résistance à l'usure et a l'abrasion. Elle est employée pour les buses de grenaillage, les rouleaux de laminoir, les broyeurs, les atomiseurs et les gaines de broyeurs a boulet. En trempant la fonte grise ou ductile sur l'extérieur et en la laissant refroidir lentement a l'intérieur, il est possible de produire des pièces avec une surface dure de fonte blanche et un cœur ductile (Trempe en coquille)[6].

I-3-2 Fontes grises :

Famille des fontes où le carbone se trouve sous forme de graphite. La structure graphitique du carbone est obtenue par un refroidissement très lent de la fonte, ou l'ajout de composants graphitisants comme le silicium. L'appellation de fonte grise est due à l'aspect de la cassure qui est grise contrairement à la fonte blanche dont la couleur de la cassure est blanche. Il existe des fontes dont l'aspect est gris et blanc, ce sont les fontes truitées[4].

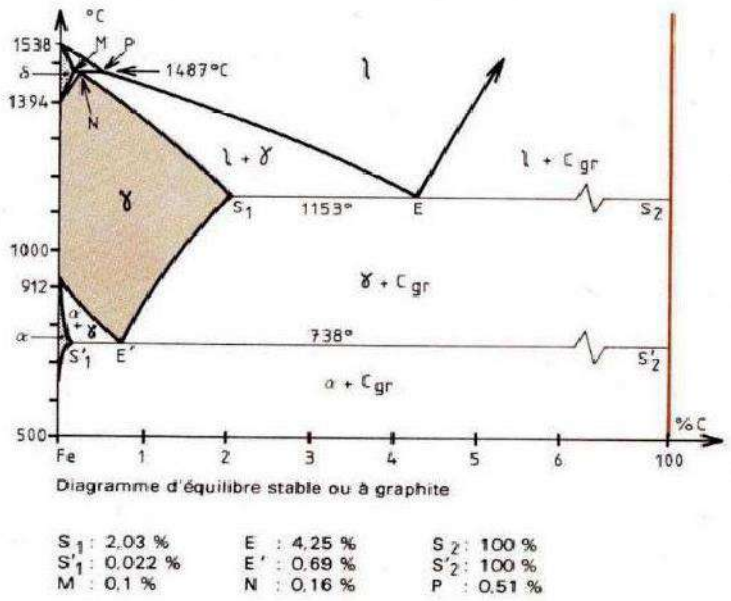
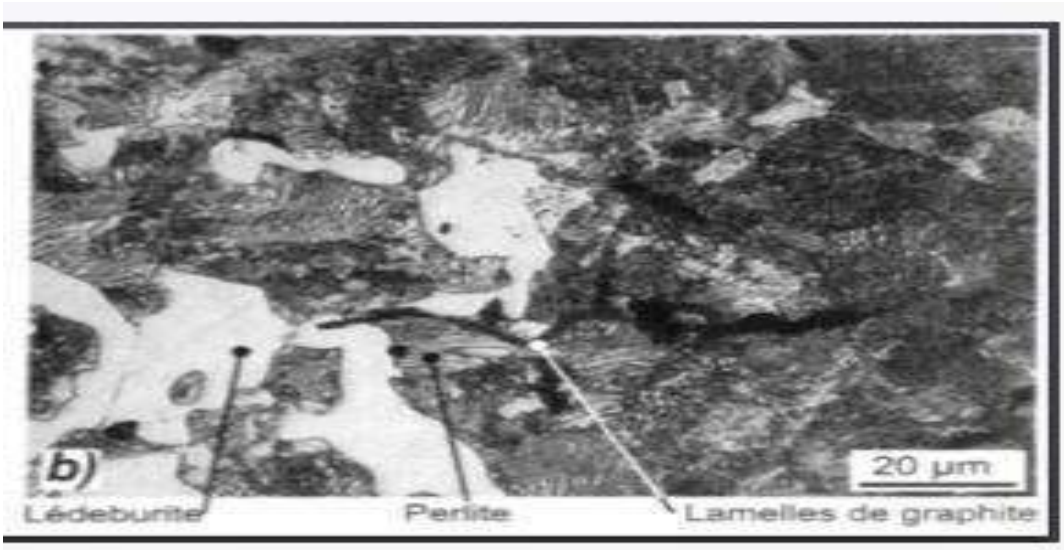


Figure I-**4**: Diagramme d'équilibre fer - graphite[4].

I-3-2-1 Fonte FGL (Fonte à graphite lamellaire):

C'est le type de fonte le plus employé. La structure d'une fonte grise est constituée par une matrice métallique contenant du graphite qui apparaît au microscope sous forme de lamelles Ce graphite peut également se présenter sous un aspect rayonnant autour d'un centre de Cristallisation. Il est alors appelé « graphite en rosettes »[4].



FigureI-5: fonte a graphite lamellaire

I-3-2-2 Les principales qualités des fontes FGL sont :

- facilité d'usinage.
- très bonne résistance à la corrosion et à la déformation à chaud.
- très bonne absorption des vibrations.
- Stabilité dimensionnelle (réalisation de machine-outil silencieuse et stable géométriquement).
- Excellente coulabilité[4].

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

Fonte dans laquelle le graphite se trouve sous forme de nodules (sphéroïdes). Cette microstructure particulière est obtenue par l'ajout de magnésium dans la fonte peu de temps avant le moulage. Le magnésium s'évapore mais provoque une cristallisation rapide du graphite sous forme de nodules. Cette microstructure lui donne des caractéristiques mécaniques proches de l'acier[7].

I-3-2-4Structures des fontes à graphite sphéroïdal :

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

On distingue:

- les fontes à matrice férritique.
- les fontes à matrice pérlitique.
- les fontes à matrice austénitique.
- les fontes à matrice bainitique[7].

Principales qualités des fontes GS :

- résistante
- ductile
- bonne soudabilité

Principales utilisations :

- Pièces mécaniques : carter, chape de liaison, bras de suspension.
- Industrie automobile : pièce de liaison au sol (ex : bras de suspension).

- Canalisations, adduction d'eau.

I-4Utilisations des fonts:

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

- La fonte, et particulièrement la fonte FGS, est très utilisée par l'industrie automobile pour la fabrication, par moulage puis usinage partiel, des blocs moteur, des étriers et chapes de frein à disque, des tambours de freins ou encore des volants moteurs, organes de suspension, arbre à came, vilebrequin etc.
- La fonte FGL est utilisée pour la fabrication de disques de freins, contrepoids (chariot élévateur), pour la réalisation d'éléments de chauffage, particulièrement ceux de haut de gamme.
- La fonte FGL est incontournable pour la réalisation des plaques de cheminée et d'inserts de cheminée.
- La fonte FGS est particulièrement utilisée en éléments de voirie comme les grilles et regards d'assainissement (grille d'égout)
- Les fontes FGS et FGL sont utilisées pour la réalisation de mobiliers urbains comme les bancs et les rambardes ouvragées (Bouches de métro Guimard), et en ornementation de bâtiments comme les appuis de fenêtre, les rosaces de portail, les pics de grille. Là, la FGS est appréciée pour sa soudabilité.
- La fonte FGL est utilisée pour la fabrication de conduites et de tuyaux. À l'exclusion, depuis quelques années, des conduites de gaz de ville car elle est trop cassante vis-à-vis des sollicitations du trafic des véhicules lourds et particulièrement lors de l'utilisation de rouleaux compresseurs à vibration par les travaux de La fonte FGL est préférée pour la réalisation des bâtis de machines-outils car elle a une très bonne capacité d'absorption des vibrations. Procède de fabrication[8].

I-5Procédé de fabrication :

I-5-1Fours et procédés :

Il existe de nombreux types de fours utilisés en moulage des métaux[2]. En voici quelques parmi les plus courants :

Le haut-fourneau:

Le haut-fourneau est un four à forme circulaire, comme le montrent la figureI-6, destiné à l'élaboration de la fonte. Son espace de travail se compose du bas vers le haut des parties suivantes :

1. Le creuset partie cylindrique, dont la partie supérieure est appelée ouvrage et porte les tuyaux qui amènent l'air chaud. La partie inférieure porte deux trous, l'un pour la coulée de la fonte et l'autre pour la scorie (laitier)[2].

2. L'étalage : tronc de cône évasé vers le haut.

3. Le ventre : partie cylindrique.

4. La cuve : tronc de cône évasé vers le bas.

5. Le gueulard : ouverture par laquelle on introduit la charge et d'où s'échappent les gaz.

6. Le Blindage métallique ayant le même profil que le haut-fourneau.

7. Les éléments de refroidissement du blindage métallique.

8. Idem que point 7.

9. La fondation.

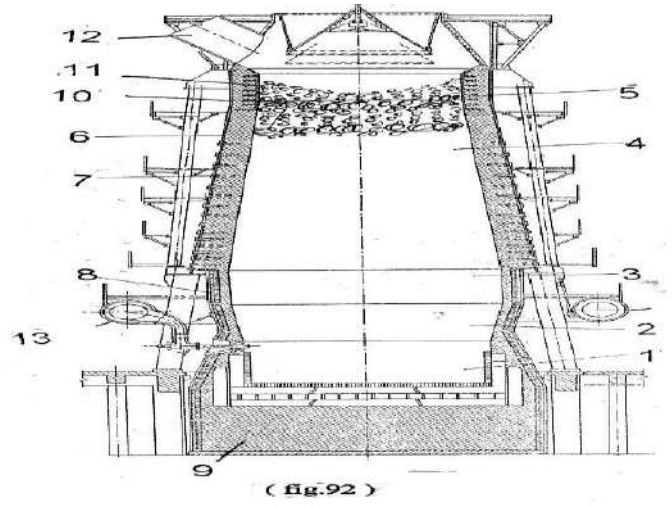
10. Le minerais de fer et la fonte.

11. Le coke.

12. L’évacuation des gaz.

13. La tuyère.

Figure I-6: Schéma descriptif d'un four Le haut-fourneau[2]:



I-5-1-2 Le four à induction :

Les fours électriques se sont développés en fonderie dès 1908 mais surtout depuis 1950

Pour la fusion ou le maintien. Ils présentent des avantages spécifiques liés à l'utilisation de

L'énergie électrique, propre, facile à mesurer et à réguler. En outré:

- les pertes au feu sont réduites et constantes,
- les risques d'oxydation et d'absorption des gaz très diminués, sauf en fours à arcs,
- l'obtention des hautes températures est plus facile, ce qui est favorable aux réactions chimiques d'affinage,
- Enfin, les nuisances au poste de travail et la pollution de l'environnement sont en général limitées (sauf pour les fours à arcs bruyants et polluants), Mais l'énergie électrique est en général plus chère à l'emploi malgré le meilleur rendement des fours. Parmi les types des fours électriques, il existe les fours à induction à creuset, à moyenne ou basse fréquence.

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

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

La pénétration des courants de Foucault à l'intérieur d'un conducteur étant d'autant plus faible que la fréquence est plus élevée (effet pelliculaire), la fréquence du courant doit être ajustée au diamètre du creuset[9].

Un four à induction se compose principalement des éléments suivants:

1) Le creuset :

Le creuset comporte un garnissage réfractaire destiné à recevoir la charge métallique

Autour du quel est montée une bobine inductrice refroidie à l'eau. Un système de rotation autour d'un axe situé près du bec de coulée permet de vidanger le four (figure 1). Les revêtements acides des creusets sont les plus fréquemment utilisés pour l'élaboration de la fonte et de l'acier[9].

Ce type de revêtement à une bonne résistance aux chocs thermiques.

2) L'inducteur :

L'inducteur est schématiquement constitué par un tube de cuivre électrolytique très pur

(Faible résistivité) enroulé en bobine, dans lequel circule l'eau de refroidissement[9]..

3) Les écrans magnétiques /ou culasses :

Pour réduire les fuites magnétiques et éviter l'échauffement de la carcasse métallique,

Des écrans magnétiques constitués généralement de fibres isolantes sont intercalés entre la

Bobine et la carcasse[9]..

4) La carcasse :

Pour contenir les vibrations générées par les forces électromagnétiques, la bobine et les

Ecrans sont solidement fixés à l'intérieur d'une carcasse. Cette carcasse est constituée soit

d'une virole en tôle d'acier très résistant, soit d'une charpente métallique ajourée qui permet De surveiller l'état de la bobine. Le système de basculement actionné par un vérin est arrimé à la carcasse[9]..

5) Le couvercle :

Pour diminuer les pertes thermiques par rayonnement, les gros fours sont équipés

De couvercles. Ces couvercles comportent une voûte en acier sur laquelle on dépose un

garnissage réfractaire. Des systèmes plus ou moins sophistiqués permettent d'éclipser

rapidement le couvercle. Certains fours sont également équipés de systèmes d'aspiration de fumées qui améliorent les conditions de travail[9]..

6) Equipment annexes :

a. Captage des fumées :

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

- soit une hotte de captage située au-dessus du four qui intègre le bec de coulée la zone De décrassage et de chargement.
- soit une enceinte fermée incluant le système de chargement continu et la coulée en Poche**.**

b. Décrassage :

Les gros fours à induction sont souvent équipés de manipulateurs de décrassage ou d'un bec de décrassage (diamétralement opposé au bec de coulée) qui permettent d'éliminer, rapidement et sans effort manuel, le laitier[9].

c. Systèmes de chargement et de préchauffage :

Les fours de fortes capacités sont souvent équipés de système de chargement continu avec bandes transporteuses et couloirs vibrants qui alimentent directement le four. Dans certains cas, un tunnel de préchauffage avec des brûleurs alimentés par du gaz naturel est placé au-dessus du couloir vibrant[9].

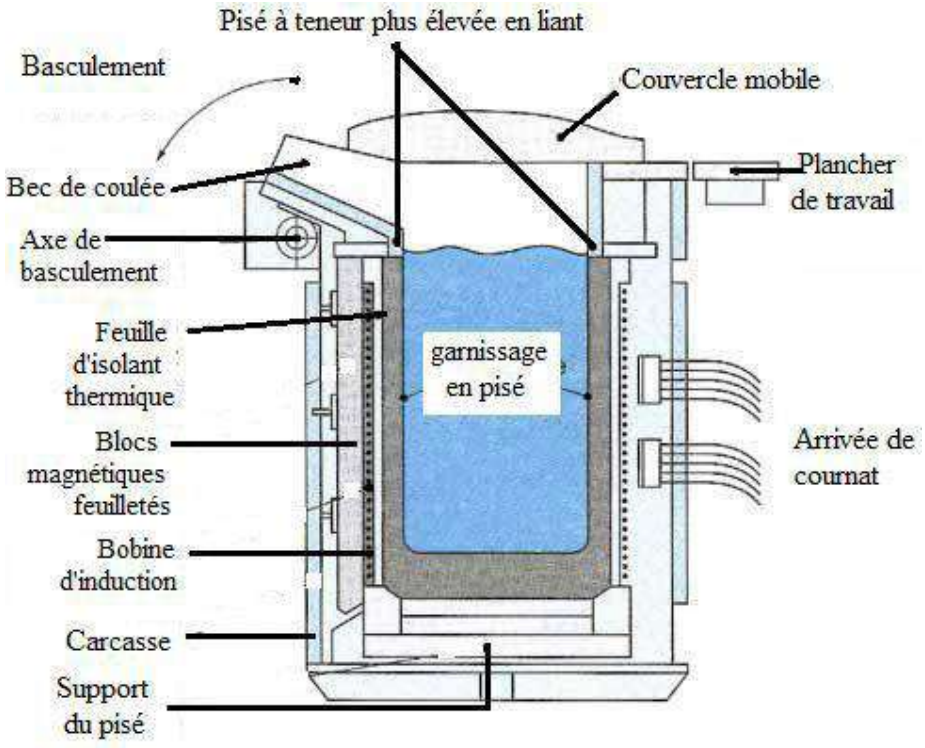
7) Installation de puissance électrique :

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

L'utilisation d'une fréquence supérieure ou égale à 250 Hz (moyenne fréquence MF) est suffisante pour assurer l'amorçage sur charge solide. En plus de la flexibilité apportée par

l'absence de pied de bain, la montée en fréquence permet d'augmenter la puissance spécifique des creusets, de diminuer la compensation de puissance réactive et de réduire les coûts d'investissements. Actuellement, la plupart des fours de fusion d'acier fonctionnent en moyenne fréquence[9].

Figure I-7: Schéma descriptif d'un four à induction à creuset[9].



I-5-1-3 Les fours électriques :

Pour les fours électriques, il existe deux catégories : Les fours à résistance rayonnante où l'électrode en graphite est placée dans l'axe d'une cuve cylindrique, garnie d'un réfractaire. Les portes électrodes sont refroidies par eau. La consommation d'électrode est importante[9].

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

Le chauffage de la charge se fait par convection et rayonnement et conduction (Réfractaire métal). 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. Electrode en Graphite :

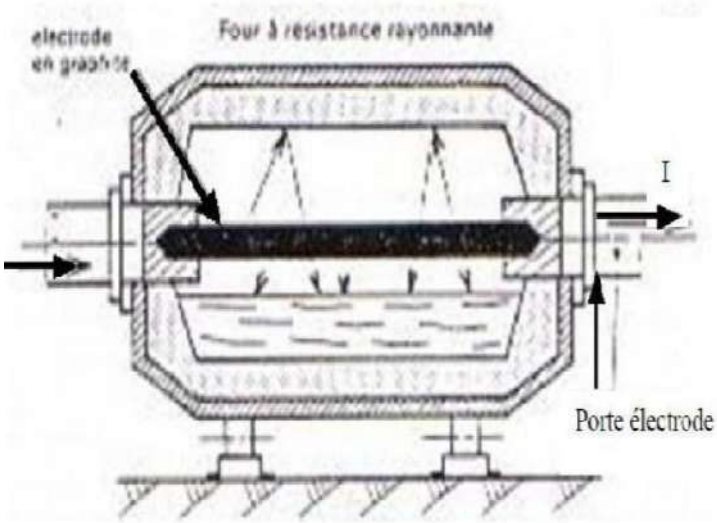


Figure I-8: Four à résistance rayonnant[9].

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[9].

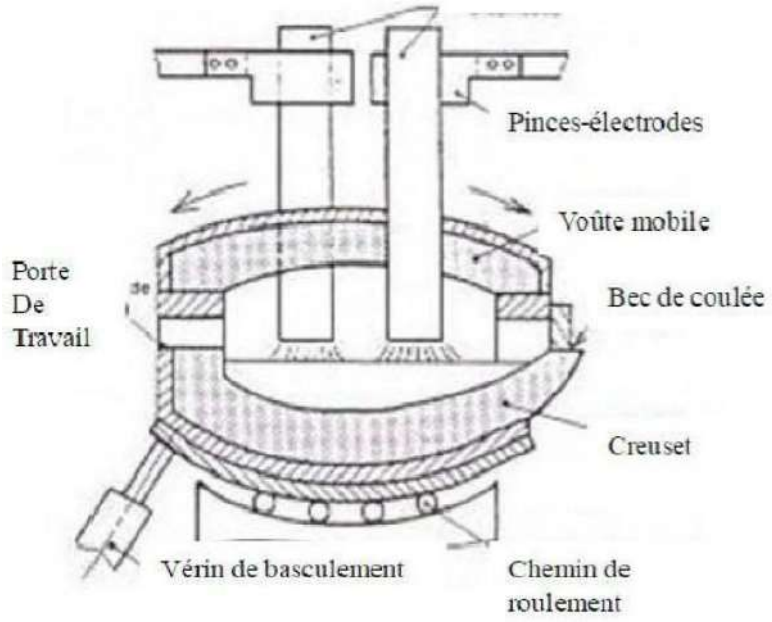


Figure I-9: Schéma descriptif d'un four à arc électrique [9].

I-6 suivi de l'élaboration de la fonte FGL 20 (POVAL):

I-6-1 Les étapes d'élaboration de la fonte :

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

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

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

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

-Analyse des différentes charges constituant le lit de fusion pour déterminer leurs compositions chimiques.

-Ajustement du pourcentage du Carbone et du Silicium et de manganèse par additions des quantités nécessaire sous forme de Graphite et de l'alliage FerroSilicium, ferro-monganése[10].



FigureI-10: Photo de parc à ferrailles.



Figure I-**11**: Photographie de four de fusion à induction de capacité 12T.

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

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

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

- Pendant la fusion, on doit couler deux (02) médailles pour analyse chimique, et éprouvette de leur possible pour le contrôle visuel et l'autre pour les analyses au niveau de laboratoire.

- Suite aux résultats des analyses précédentes, on doit juger nécessaire de porter des corrections sur la teneur des éléments principaux.

- Le dégrée de saturation, doit être égale à un (eutectique) pour une meilleure coulabilité.

- Décrasser la crasse de fusion avant le remplissage de la poche de coulée avec un moyen[10].

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

- Demande de la poche de coulée.

- Inoculation de la poche de coulée par le Fe-Si, on ajoute 04 kg de Fe-Si fin pour une poche de coulée pèse 800 Kg pour la bonne coulabilité.

- Garder la poche sous chauffage pour éviter des chocs thermiques pendant leur remplissage (car la température de fusion est très élevée).

- La température de fusion est inversement proportionnelle à la taille de la pièce à coulée.

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

- Le décrassage de la poche est assuré par le Slax[10].

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[10].

7- Après le coulage, on procède au :

- Décochage de la pièce ; pour les pièces avec noyau, on utilise le débourrage avec marteau.

- Grenaillage ; lavage des pièces.

- Ebarbage ; finition de la pièce.

- Contrôle de qualité.

- La peinture des pièces finis[10].

I-6-2 Préparation du lit de fusion :

Les charges sont puisées dans les stocks de matières premières.

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

Les retours de fonderie constitués par des pièces rebutés, des masselottes, des jets de coulée….

Les chutes de tôles en vrac, d'acier doux et mi- doux.

Des paquets de tôles d'acier extra doux compacté.

Au parc des matières d'addition où sont observées, en sacs ou fûts, toutes les additions susceptibles d'être opérées à la fusion ou en poche de coulée. Citons : les ferroalliages, le graphite, l'aluminium en barre, le bismuth, le slax, le mischmétal, l'étain[10].

Ces charges sont pesées avec précision de manière à obtenir par le calcul du lit de fusion, une analyse d'alliage fondu voisine de celle souhaitée[10].

Exemple de lit de fusion pour la fonte FGL20 :

a) Dans le four on verse environ;

- 2.50% de graphite industriel
- 1% de Ferro-silicium à 65 %
- 1% de Ferro-silicium à 65 %
- 0.5 à 1% de ferro-manganèse à 76 %
- 17 % de tôles d'acier doux en vrac
- 42 % de tôles d'acier extra-doux en paquets
- 36 % de retours de fonte grise FGL20[10].

b) Après fusion le bain de fonte est coulé en poche. Puis inoculée poche, pour versé le métal liquide dans la poche avec: Soit 1 % de Ferro silicium à 75 % Soit un mélange de :

– 0.7 % de Fe-Si à 75 % Soit 0.5 – 0.7 % de Fe-Si-Ba

Puis la poche est décrassée en y jetant 0.5 % de slax et en écrémant.

I-6-3 Fusion des charges :

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

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

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

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

- la température de coulée qui doit être déterminée avec précision car ce paramètre est déterminant pour assurer le remplissage des moules, la santé interne des pièces et également pour

obtenir des conditions de solidification et une structure métallographique correcte. Contrairement aux fours à arcs, les fours à induction se prêtent mal aux opérations métallurgiques de type décarburation ou brassage métal/laitier car, d'une part, le laitier non conducteur électrique reste froid donc inefficace et, d'autre part, les conditions hydrodynamiques. Comme de simples engins de fusion où l'analyse finale est obtenue à partir du lit de fusion et des pertes au feu. L'absence d'opération métallurgique conduit à sélectionner avec soin les ferrailles et les ferroalliages et à utiliser des charges plus nobles donc plus coûteuses que dans le cas des fours à arcs[10].

I-6-4 Préparation de lit fusion poval :

Les fontes obtenues au niveau de la fonderie de Berrouaghia ; sont destinées pour le moulage des pièces mécaniques. Elles se distinguent l'une de l'autre par leur compositions chimiques[10].

1 La fonte élaborée :

Propriétés physico-chimiques:

- Resistance a la traction;20 dn/cm².
- Dureté brinell : 180-220HB.
- Analyse métallographique : ferrito-perlitique.
- Matériau : fonte grise a graphite lamellaire (FGL 20).
- La composition chimique de notre fonte est donnée par le tableau suivant:

Tableau I-**2**: Composition chimique de la fonte élaborée[10].

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

Tableau I- **3**: Lit de fusion de la fonte élaborée[10].

Charge métallique	Fonts nave.	Retour externs	Retour interne	Acier récupéré
Pourcentage	20	50	10	20

Tableau I-**4:**Compositions chimiques des constituants du lit de fusion[10].

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

TableauI-**5**: le bilan total des additifs de lit de fusion[10].

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

CHAPITREII:
TECHNOLOGIE DE MOULAGE

II-**Technologie de Moulage**

II-**1 Les matières de moulage de fonderie**

Les matières de moulage de fonderie constituent en sable, argile, noir minéral, agglomérant[11].

II-**1-1Sables de fonderie :**

Sable :

Le sable est une matière naturel constitué de Silice, Zircon, Olivine, Chromite, Magnésite,…….

Ce sont des sables siliceux qui sont employés le plus souvent en fonderie[11].

Types de sable :

a- Sable à base de silice :

La base des sables siliceux est la silice SiO_2 (quartz).

b- Sable à base de Zircon : composé de 67% ZrO_2 et 33% SiO_2. Sa température de fusion est très grande on l'utilise pour les grandes pièces en acier.

c- Sable à base de d'olivine : 23% MgO ; 42% FeO et 35% SiO_2Sa température de fusion est de 1200 – 1900°C cela dépend des impuretés et du rapport entre MgO et FeO.

L'olivine est utilisée aussi comme matière réfractaire de fonderie.

d- Sable à base de chromite : FeO – Cr_2O_3 35- 60% Cr_2O_3 T_f : 1800°C, matière très réfractaire utilisée pour la fabrication des pièces en acier[11].

II-**1-1-3 Sable neuf quartzeux (sable siliceux)**

a) Composition chimique et minéralogique :

Dans le sable siliceux, le constituant de base est le quartzα.

- % 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 ;

Ces impuretés abaissent la refractairité du sable.

- Grosseur moyenne des grains 0,2 - 0,3 mm ;
- Degré d'uniformité des grains 65 – 85% ;
- matière en suspension (MS %) 0,5 - 2% au max ;
- perte au feu 0,5% au maxi.

Le sable neuf quartzeux doit correspondre aux exigences suivantes :

Suivant le tableau ci-dessous la silice SiO_2peut être suivant les conditions de température et de pression, cristallisée sous forme de quartz α, β, detridymite**,** ou de cristobalite[11].

Tableau II-**1:** Cristallographie de SiO_2suivant les conditions de température [11].

Température	Cristallographie de SiO_2	Dilatation
Ambiante	quartz **α**	
573°C	quartz β	1,5%
867°C	Tridymite	
1470°C	Cristobalite	3 – 5%
1730°C	Silice amorphe	

Il est intéressant d'étudier les transformations de phases, 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 βà partir de 573°C (anomalie bien connue de la dilatation de la silice). Cette transformation est réversible. Dilatation de 1,5%**.**

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

A partir de 1470°C, le tridymitese transforme en cristobalite qui est une forme stable. Dilatation de 3 à 5%[11].

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

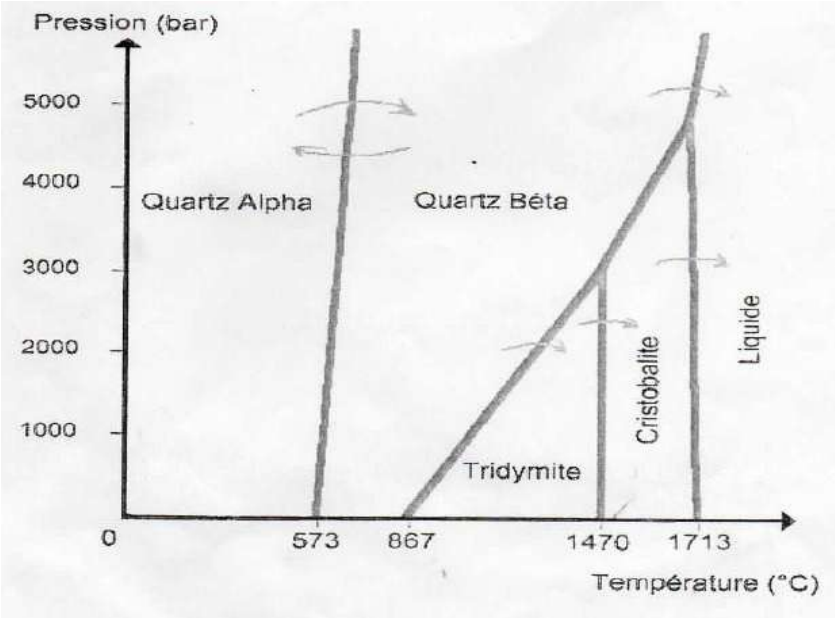


Figure II-**1**:diagramme Cristallographie de SiO_2 suivant les conditions de température et de pression[11].

Détermination de la Granulométrie et forme des grains :

a) Contrôle réception des sables :

Il ne faut pas oublier que le contrôle réception des sables sera différent selon que le sable est utilisé uniquement en moulage ou également en noyautage.

Etant donné que la plupart du temps il est utilisé pour les deux, les contrôles seront donc orientés vers un sable de noyautage car les caractéristiques demandées sont beaucoup plus sévères.

Nous examinons donc les contrôles par ordre d'importance[11].

Examen visuel :

A la réception du sable, la première chose à faire est de vérifier si le sable est humide. Ceci peut se produire lors du transport du sable.

La présence d'eau n'est pas gênante si le sable est uniquement utilisé pour le sable de moulage à vert. On peut également vérifier visuellement la présence d'impuretés.

En dernier point, la température doit être vérifiée. Un sable trop chaud peut avoir des conséquences sur la prise des résines de noyautage s'il est rapidement.

b) Granulométrie :

La méthode généralement employée en fonderie est la méthode AFS (AméricanFoundrymen'sSociéty). Cette méthode consiste à faire passer 100g de sable séché préalablement la vé afin d'éliminer les grains dont le diamètre est inférieur à 0,020mm ou<20µm, par vibration dans une série de 11 tamis superposés d'ouverture de mailles définies dont les dimensions des ouvertures de mailles sont décroissantes.

Après le tamisage, on obtient le résidu du sable dans chaque tamis et dans la cuve. On pèse ces résidus et puis on détermine les caractéristiques granulométriques du sable[11].

Tableau II-**2** : Cas d'exemple : Analyse granulométrique du sable de chlef (traité)

Tamis en ordre	Ouverture de maille en mm	Refus de criblage en %	Coefficient multiplicateur	Produit
1	1,4	-	3	-
2	1	-	6	-
3	0,710	-	9	-
4	0,5	0,750	20	15
5	0,355	10,300	30	309
6	0,250	49,100	40	1964
7	0,2	26,100	53	1383,3
8	0,180	7,500	65	487,5
9	0,125	4,900	105	514,5
10	0,09	0,700	165	115,5
11	0,063	0,500	210	105
12	Fond	0,150	300	45
Total		100		4938,8

1 Détermination de la fraction basique

La fraction basique du sable est la somme maximale des résidus dans trois tamis voisins.

10 ,300 (a)

49,100

26,100 (b)

FB = 85,5%

2) Détermination de la catégorie :

Le sable est de la catégorie b, le résidu du sable dans le tamis inferieur extrême de la fraction basique est plus grand par rapport au résidu du sable dans le tamis supérieur extrême.

- **Détermination du 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 la fraction basique, les sables sont divisés en 08 groupes universels représentés dans le tableauII-3.

Tableau II-**3**:Les groupes du sable

Numéro des tamis de la fraction basique	Indication du groupe	Dénomination du groupe du sable
0,710 – 0,5 – 0,355	0,5	Gros
0,5 – 0,355 – 0,250	0,355	Très grand
0,355 – 0,250 – 0,2	0,250	Grand
0,250 – 0,2 – 0,180	0,2	Moyen
0,2 – 0,180 – 0,125	0,180	Fin
0,180– 0,125 – 0,09	0,125	Très fin
0,125– 0,09 – 0,063	0,09	Mince
0,09 – 0,063 – fond	0,063	poussiéreux

Donc d'après le tableau, il s'agit du sable de groupe grand**.**

- **Détermination de la structure granulaire :**

Si la quantité du sable se trouvant dans les 03 tamis voisins est supérieure à 70%, on dit que le sable à une structure granulaire concentrée, si cette quantité est entre 60 à 70%, on dit que la structure est étalée. Si cette quantité est inférieure à 60%, on dit que le sable à une structure très étalée et dispersée.

- **Détermination de l'indice de finesse (AFS) :**

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

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

$$\mathbf{AFS = \Sigma\, a_i \times r_i / \Sigma\, r_i}$$

r_i : le résidu du sable dans chaque tamis (voir tableau N°1).

a_i : le coefficient multiplicateur pour chaque tamis (voir tableau N°1).

Donc **AFS = 4938,8 / 100 = 49AFS**

II-1-2 L'argile : la Bentonite

II-1-2-1- la Bentonite :

Il s'agit d'une argile dont le constituant principal est la Montmorillonite**.**

La Montmorillonite **:** constituant principal **:** silicate d'alumine hydratée ou de Magnésie hydratée**.**

La formule chimique des argiles ordinaires : $Al_2O_3.2SiO_2.nH_2O$.

L'alumine hydratée combinée à la silice donne de l'argile de couleur blanche, douce au toucher, très réfractaires. Suffisamment mouillée, elle forme une pate liante facile à façonner[11].

L'eau contenue dans l'argile se présente sous deux formes :

a- Eau de constitution : qui donne la vie à l'argile et ne disparait qu'a plus de 300°C. Au-delà de cette température, elle perd toutes ses qualités utiles de moulage, devient morte, le sable

est ditbrulé**.** Il conviendra de ne pas dépasser la température critique au cours de l'étuvage des moules.

Au cours de la coulée, l'argile qui est au contact du métal se déshydrate et perd son pouvoir liant. C'est cette partie inutile qu'il faut éliminer par dépoussiérage et remplacer par une addition de bentonite.

b- Eau d'addition ou d'imbibition : qui conditionnel humidité**.** Une plus au moins grande humidité donnera une plus au moins grande plasticité au sable.

En augmentant l'humidité, l'argile se dilue, et le sable devient boue et perd ses qualités.

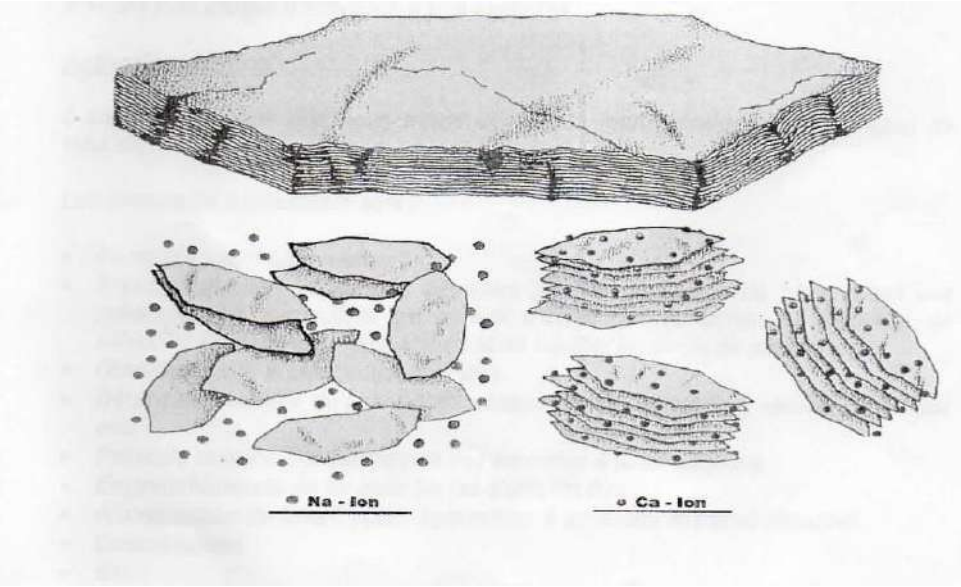
Les sables de moulage seront donc préparés avec le minimum d'humidité compatible avec une plasticité convenable.

A l'humidification les bentonites se gonflent, à l'étuvage les bentonites **se** contractent**.** C'est pourquoi les bentonites sont utilisées que pour les moules à vert. On n'utilise jamais la bentonite pour les moules étuvés[11].

II-1-2-2-Structure de la Bentonite en feuillets :

Le feuillet élémentaire est composé de deux couches tétraédriques de SiO_2 au milieu desquelles existe une couche octaédrique constituée de Al_2O_3. Et la présence d'eau de constitution entre chaque feuillet élémentaire.

Cette structure en feuillets confère à la Montmorillonite un pouvoir d'adsorption d'eau et de gonflement très importants[11].



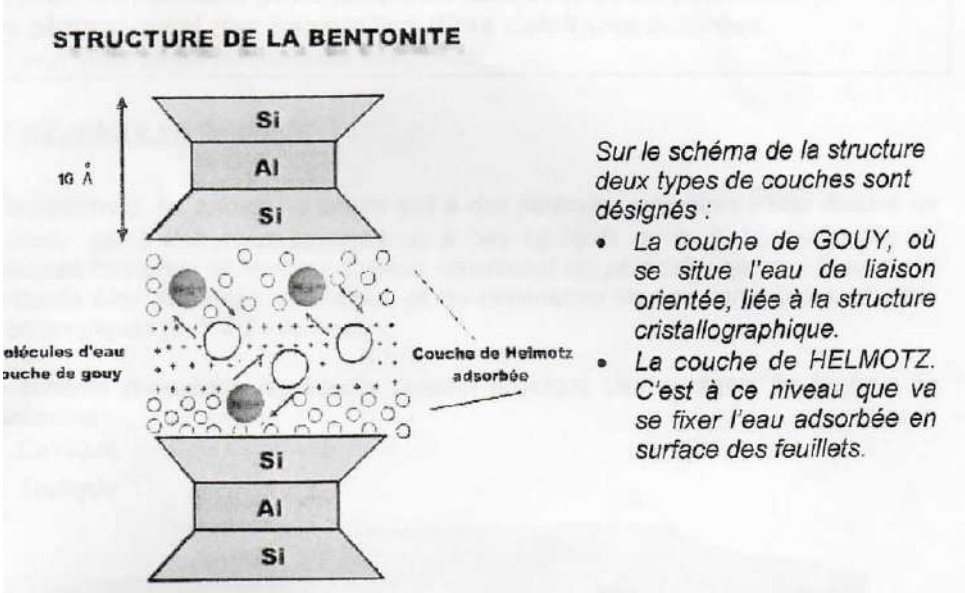


Figure II-**2** ; structure de la bentonite

II-**1-3Noir Minéral**

II-**1-3-1- Définition :**

Le noir minéral est typiquement un charbon pulvérisé, utilisé comme inhibiteur d'oxydation du métal en fonderie de fonte sous forme d'addition au sable à vert ou d'enduit.

Comment agit le noir ? :

Un moule en sable constitue de sable siliceux, d'argile et d'eau est une masse poreuse humide.

- la finesse du noir contribue à l'étalement granulométrique du sable et donc s'oppose mécaniquement à la pénétration du métal entre les grains du sable compacté.

- a la coulée, l'atmosphère du moule est très chargée en vapeur d'eau et pourrait oxyder le métal. Les oxydes formés peuvent des défauts, mais aussi réagir avec la silice accentuant l'altération de l'état de surface de la pièce.

Le noir ajouté, se combinant à l'oxygène, permet un dégagement gazeux sous forme de CO-CO_2, créant un milieu réducteur dans le moule[11].

- le dégagement des matières volatiles crée une protection à l'interface MOULE/ METAL.

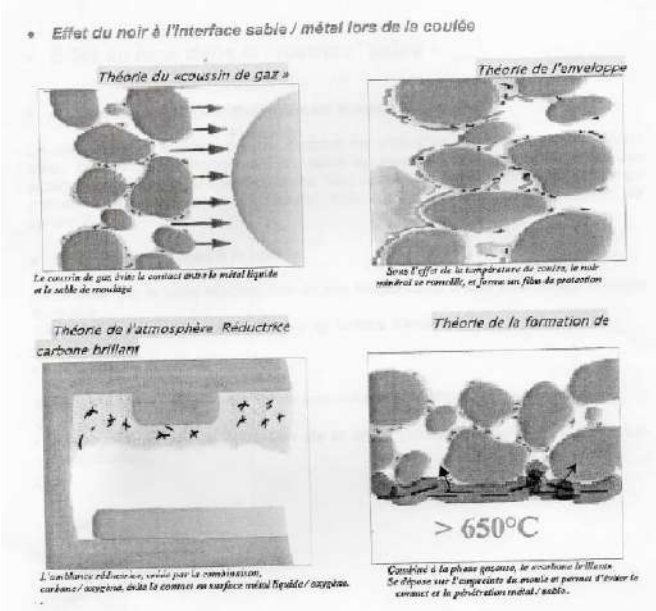


Figure II-**3**;effet du noir a l'interface sable /métal l'ours de la coulée

II-**1-3-2 Analyse typique de Noir mineral:**

TableauII-**4:** Analyse typique de Noir mineral [11].

produit	Etat physique	Carbone brillant %	Matières Volatiles %	Cokes Résiduels %	Cendres %	Soufre %	Azote %	Eau %	
Noir minéral	**Pulvérulent**	**10**	**36**	**64**	**5,5**	**1**	**0,8**	**2**	

MV = 100 – cokes résiduels.

Cokes = résidu de calcination non oxydante à 900°C.

Cendres = résidu de calcination oxydante.

CB = résidu de calcination dans un appareillage particulier[11].

II-**1-4- Caractéristiques du sable de moulage (sable à vert) :**

- Humidité : 2,9 à 3,5%.
- Compressibilité : 34 à 38%.
- Perméabilité : 155 à 185.
- Résistance à la compression : 1,7 à 2 Kgf/cm^2.
- Résistance au cisaillement : 0,35 à 0,55 Kgf/cm^2.

- Plasticité : 0,2 à 0,27.
- Perte au feu : 5 à 7%.
- Bentonite active au bleu de méthylène : 6 à 8%.
- Bentonite (argile) : 9 à 11%.
- Carbone : 5 à 6%.
- Matière en suspension (MS) : 12,5 à 13,5%.
- Indice de finesse : 52 à 60.

La teneur en argile active (Bentonite active) est équivalent à capable de se gonfler, représente la teneur efficace en liant[11].

Dans l'expression matières en suspension sont comprises aussi la poussière quartzeuse, l'argile surcuits, les cendres de la poussière de charbon……

TableauII**-5:** Relation entre indice de finesse et dimensions moyennes des grains en mm

Métal coulé	Type de pièce	Caractéristiques du sable	
		AFS	Dimension moyenne des grains en mm
Acier	Grosse et moyennes pièces Petites pièces	< 50 50 à 70	0,255 min 0,255 à 0,180
Fonte grise	Grosses pièces moyennes pièces Petites pièces	40 à 70 70 à 100 100 à 200	0,360 à 0,180 0,180 à 0,125 0,125 à 0.060
Alliage cuivreux	Grosses pièces moyennes pièces Petites pièces	100 à 140 140 à 200 140 à 200	0,125 à 0,085 0,085 à 0,060 0,085 à 0,060
Alliages légers	Grosses pièces moyennes pièces Petites pièces	140 à 200 140 à 200	0,085 à 0,060 0,085 à 0,060

II-2 Système de coulée et d'alimentation

II-2-1Définition :l'ensemble des canaux taillés dans le moule permettant de conduire l'alliage liquide à l'empreinte[11].

II-2-2 Le moulage en sable :

Le moulage en sable consiste à réaliser une empreinte dans un matériau plastique - du sable - à partir d'un modèle aux formes de la pièce. Deux châssis métalliques, parfaitement repérés entre eux, servent a maintenir le sable utilisé pour prendre l'empreinte du modèle.

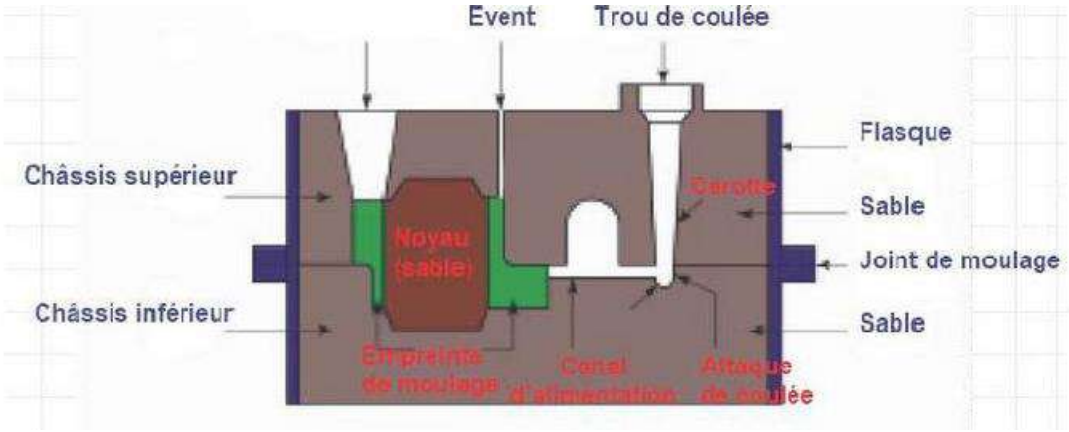


Figure II-**4:** Schéma descriptif d'un moule en sable

II-2-3 Rôles du système de remplissage :

- Assurer le remplissage et la répartition correcte de l'alliage dans l'empreinte (malvenue, variation de débit liée à l'opérateur…)

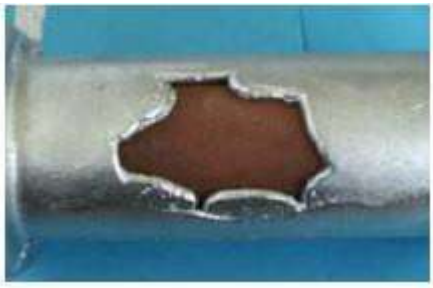
- Gérer « la thermique» du moule (surchauffe locale…)

- Assurer l'évacuation des gaz (entraînement d'air, emprisonnement de gaz…)

- Eviter la détérioration du moule et des noyaux (gale, érosion…)[11].

Conséquences d'une mauvaise conception et ou dimensionnement :

-Mal venu



- Tenue des moules (érosion, gale, abreuvage)



Gale **:** défaut de tenue du moule lié au rayonnement du métal en fusion

- Inclusions non métalliques (sable, gz…) et Inclusions métalliques.

- Criques (retrait à l'état solide)

II-2-5 Optimisation du système de remplissage :

1- Minimiser la mise au mille

- **Mise au mille**

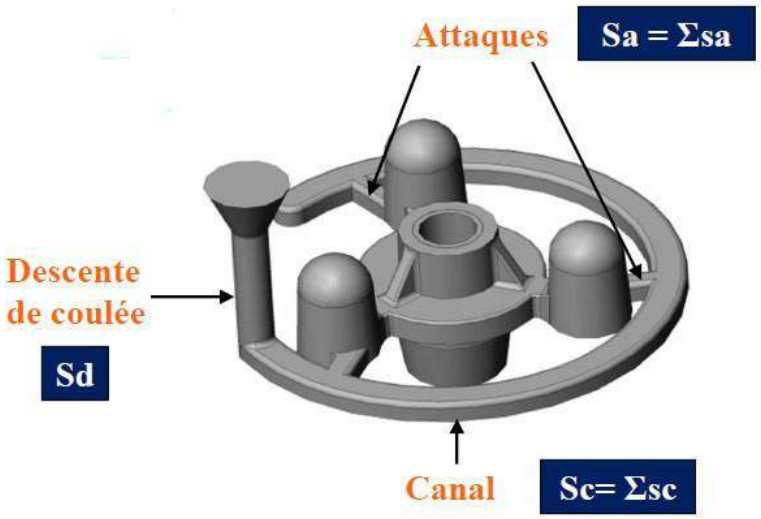
C'est le rapport entre la masse finale de la pièce moulée M_1 et parachevée et la masse de la pièce avant parachèvement (masse de métal coulé) M_2

$m = \frac{M_1}{M_2}$. Lorsque l'on rajoute des éléments supplémentaires de type masselottes, évents, ... il faut les prendre en compte pour la mise au mille et c'est pourquoi leur dimensionnement n'est pas laissé au hasard, car c'est de la perte de matière,

- Diriger la solidification
- Limiter et/ou faciliter les opérations de finition[11].

2 Rapport d'échelonnement : Fixer l'échelonnement du système

L'objectif du système d'échelonnement est d'assurer une vitesse d'entrée raisonnable de L'alliage dans l'empreinte tout en évitant des décollements de veines fluides qui pourraient éroder le moule.



- Alliage peu oxydable à l'état liquide :

→ Moulage série de petites pièces, nombre attaque faible, économique

$$1 ; 1 ; 1$$

→Série unitaire, nombre d'attaque important

$$1 ; 2 ; 1$$

→Alliage oxydable à l'état liquide :

$$1 ; \sqrt{Hi} ; \sqrt{Hi}$$

(Avec Hi en dm et $\sqrt{Hi} > 1$)

Alliage	Profil des sections du canal	Echelonnement (H_i en dm) $\frac{S_d}{S_d}$	$\frac{S_C}{S_d}$	$\frac{S_A}{S_d}$	Remarques
oxydable	dégressif	1 1 1	0,95 1 $\sqrt{H_i}$	>1,1 1 $\sqrt{H_i}$	Hi < 500 mm et Tr < 15 s $H_i \leq 100$ mm $H_i > 100$ mm
Faiblement oxydable	dégressif	1 1 1	0,95 1 $\sqrt{H_i/2}$	>1,1 1 $\sqrt{H_i/2}$	Hi < 500 mm et Tr < 15 s $H_i \leq 200$ mm $H_i > 200$ mm
Non oxydable	uniforme	1 1	1 2	1 1	Nombre d'attaques ≤ 3 Nombre d'attaques > 4
	dégressif	1 1 1	0,95 1 $\sqrt{H_i}$	>1,1 1 $\sqrt{H_i}$	- $H_i \leq 100$ mm $H_i > 100$ mm

2-Détermination du temps de remplissage :

1-Règle 1 : Eviter les défauts de tenue du moule (gale, abreuvage, érosion…)

Les temps d'apparition respectifs de ces défauts sont déterminés expérimentalement (Voir Planche).

$$t_{remplissage} < t_{défaut}$$

2- Règle 2 : Assurer le remplissage total de l'empreinte par une bonne venue de la matière

$$t_{remplissage} < t_{solidification}$$

Détermination de t_l (temps de refroidissement jusqu'au liquidus**,** ou temps de début de Solidification).

- coulée en source :

$$t_{remplissage} < t_{liquidus}$$

- Coulee en chute :

$$t_{remplissage} < 2 \text{ à } 3. t_{liquidus}$$

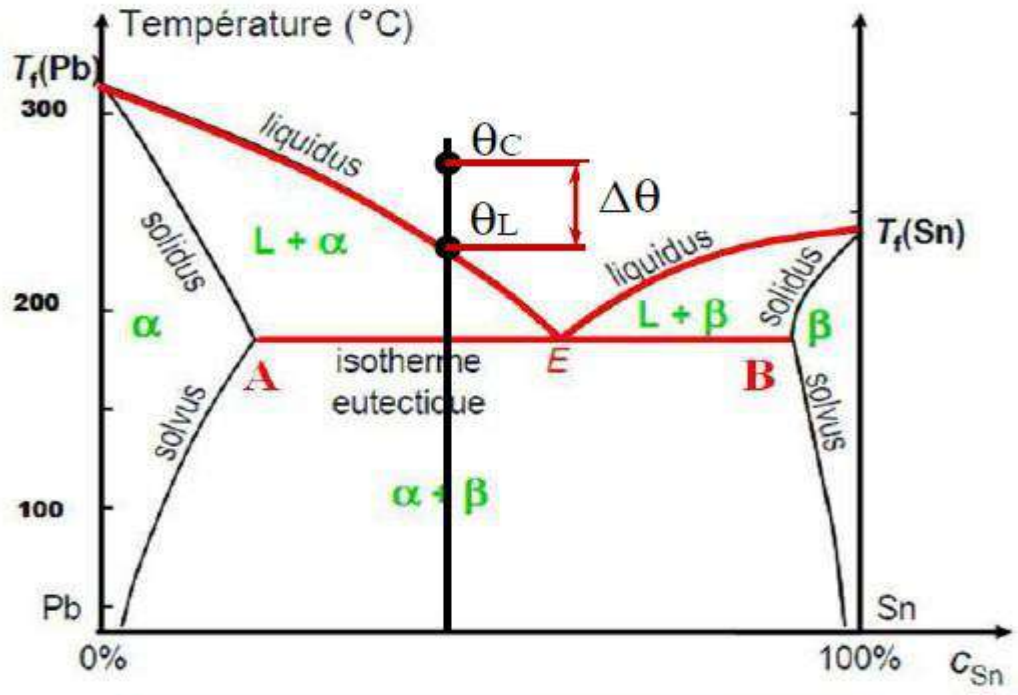
3- Temps d'apparition des défauts :

Moulage à vert				Moules étuvés
Sable fin I AFS > 100 (*)	Sables moyens ou grossiers			
(queue de rat) 3 à 5 s	(queue de rat) 5 à 12 s	(abreuvage) 8 à 10 s	(érosion) 15 à 20 s	(gales) 15 à 30 s

Sables agglomérés chimiquement (autodurcissants) Défauts d'érosion thermomécanique et d'abreuvage							
Résines furaniques (*)		Résines alkydes (*)				Autres sables agglomérés	Ciment étuvé
Sable siliceux I = 55 AFS		Sable siliceux I = 55 AFS		Sable de zircon I = 105 AFS			Sable siliceux
(érosion) 45 à 90 s	(abreuvage) 10 à 15 s	(érosion) < 8 s	(abreuvage) 15 à 30 s	(érosion) 10 à 20 s	(abreuvage) 75 à 90 s	(érosion) 20 à 60 s	≥ 120 s

* dans le cas des alliages d'aluminium uniquement

4- Température de surchauffe :



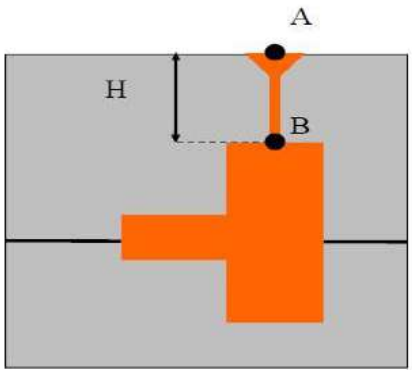
Surchauffe = $T_{coulée}$ - $T_{liquidus}$

5- Calcul des sections du système :

5- 1 Coulee en Chute :

➡ **Coulée en chute**

$$Q = Section \,.\, Vitesse = \frac{Volume\ chute}{temps\ remplissage}$$



$$S_D = \frac{V_{chute}}{t_r} \cdot \frac{1}{Vitesse}$$

$$Vitesse = \frac{\sqrt{2.g.H}}{B} = Cte$$

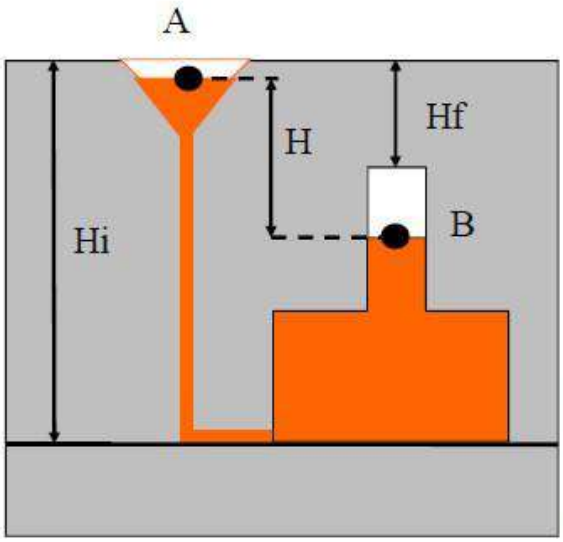
$$S_d = \frac{V_{chute}}{t_r} \times \frac{B}{\sqrt{2gH}}$$

2- Coulée en Source :

Coulée en source

$$Q = Section \,.\, Vitesse = \frac{Volume\ chute}{temps\ remplissage}$$

$$S_D = \frac{V_{chute}}{t_r} \cdot \frac{1}{Vitesse}$$



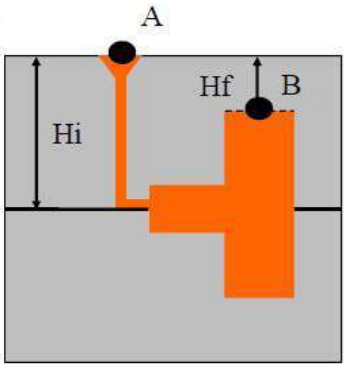
$$Vitesse = \frac{\sqrt{2.g.H}}{B} \neq Cte$$

$$avec\ \sqrt{H} = \frac{\sqrt{Hi} + \sqrt{Hf}}{2}$$

$$S_d = \frac{V_{source}}{t_r} \times \frac{B}{\sqrt{2g}} \times \frac{2}{\sqrt{Hi} + \sqrt{Hf}}$$

5- 3 Coulee Mixte :

Coulée mixte



- Coulée **source**

$$S_{d\,source} = \frac{V_{source}}{t_{r\ source}} \times \frac{B}{\sqrt{2g}} \times \frac{2}{\sqrt{Hi} + \sqrt{Hf}}$$

- Coulée **chute**

$$S_{d\,chute} = \frac{V_{chute}}{t_{r\ chute}} \times \frac{B}{\sqrt{2gH}}$$

- Résolution du système

$$S_{d\ chute} = S_{d\ source}$$

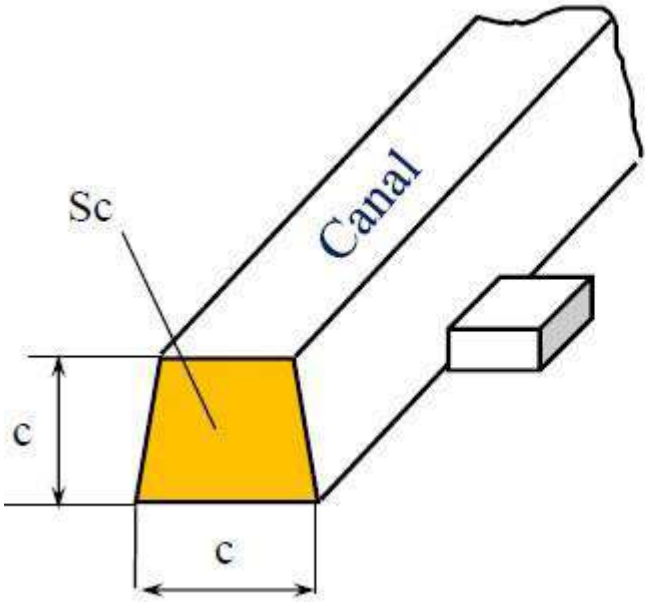
$$t_r = t_{r\ chute} + t_{r\ source}$$

4 équations
4 inconnues

Déterminer le coefficient de débit B (Planche X à XXIII) :

Ce-dernier permet de prendre en compte les pertes de charges propres au trace du système de remplissage. Il varie généralement de 1 à 3 (4 pour les longueurs supérieures à 10 mètres) [11].

Dimensions du ou des canaux :



$$Sc = \Sigma sc$$

$$sc = 0{,}9 \cdot c^2$$

Dimensions du ou des attaques

Attaques: prenons les attaques de la section transversale trapézoïdale.

La section d'une attaque : Sa1= sa /na

CHAPITRE III:
DEFAUTS DE MOULAGE ET PROBLEME DE DEFAUTS DE NON VENUE

III-Défauts de moulage

III-1Introduction:

Un défaut de moulage est une irrégularité indésirable dans une pièce obtenue par moulage, et caractéristique du procédé d'obtention et du métal coulé. Certains défauts peuvent être réparés mais ils peuvent aussi mener au rebut de la pièce[12].

On peut distinguer cinq catégories de défauts, en se fondant sur leurs mécanismes de formation, à savoir :

- les défauts formés pendant le retrait et qui sont liés à la solidification,
- les défauts dus aux gaz,
- les défauts liés au matériau avec lequel est réalisé le moule,
- les défauts formés pendant le remplissage du moule.
- les défauts d'élaboration.

L'apparition d'un défaut peut toutefois résulter de la combinaison de plusieurs phénomènes. Un correctif apporté au procédé peut éviter la formation d'un défaut et peut aussi créer un défaut d'un autre type.

III-2.Défauts de moulage

III-2-1 Défauts formés pendant leretrait de solidification:

1-Les retassures: Cavités ouvertes ou fermées à contours rugueux, localisées dans les dernières portions de métal solidifié. Elles sont dues aux contractions de volume subies par le métal liquide au cours de la solidification[12].

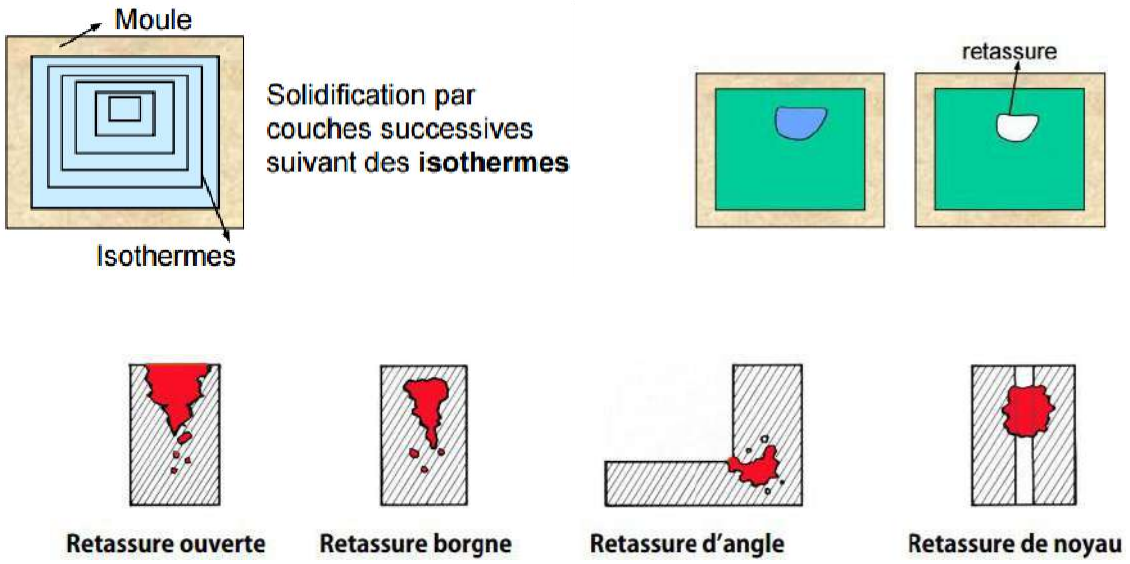
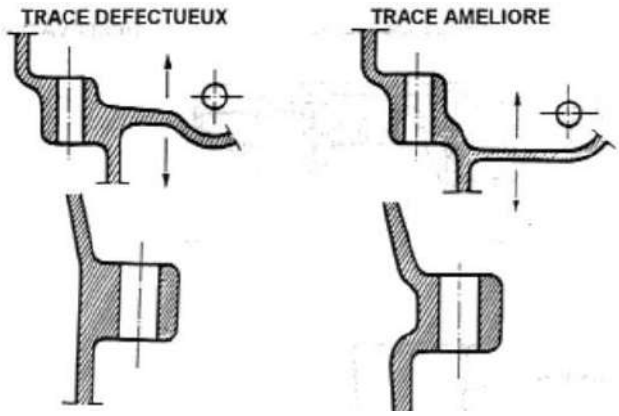
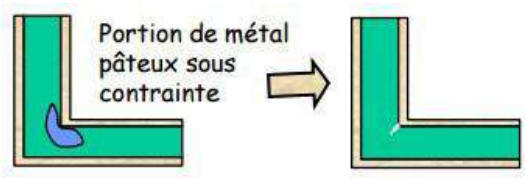


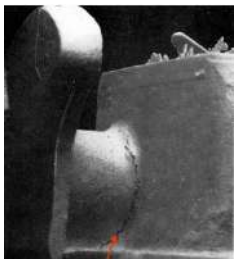
Figure III-1: La forme et l'emplacement de la retassure dépendent des conditions de refroidissement

Ce défaut de retrait apparait lorsque le métal liquide ne parvient plus à compenser les contractions dues à la solidification du métal: on lutte contre sa formation par un dimensionnement et un positionnement correct de la masselotte, qui va alimenter la pièce en métal liquide au cours du retrait. Si la masselotte est correctement conçue, elle sera la dernière zone solidifiée et il est normal qu'elle soit constellée de défauts dus au retrait.



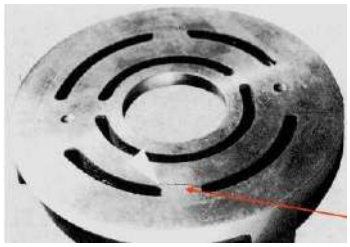
2-Les criques: Il s'agit d'une déchirure à chaud qui se produit au cours de la solidification en présence de contraintes mécaniques. Elle se développe généralement dans les parties chaudes.





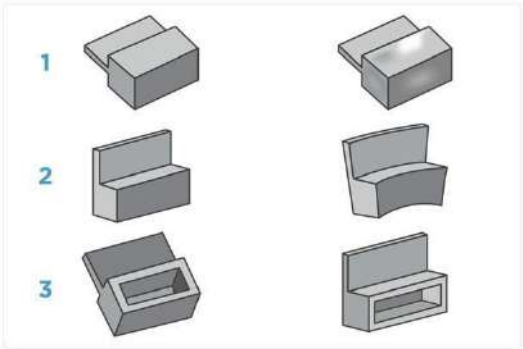


3-Les tapures: Il s'agit d'une déchirure qui se produit au cours du refroidissement du solide, en présence de contraintes mécaniques. Elle se développe généralement dans les parties encore chaudes et est due à une contraction thermique.



Les criques et les tapures sont dues à un tracé défectueux (différences d'épaisseur importantes, moulage trop ramifié) ou à l'état du moule (rigidité, déformation, rugosité, etc.).

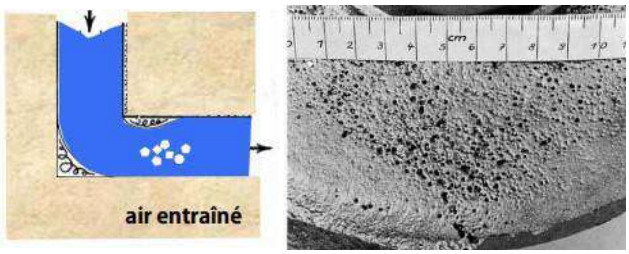
4-Le gauchissement: Une pièce conçue avec des parois trop minces pour le matériau cible risque fortement de se gondoler. Ce phénomène est désigné par le terme de « gauchissement » et peut être évité aisément en suivant les mêmes règles que pour la retassure, c'est-à-dire en respectant les indications générales d'épaisseur de paroi.



III-2-2 Défaut du aux gaz:

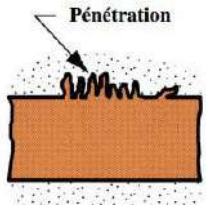
1-Les soufflures: Cavités à parois lisses crées et occupées par les gaz provenant de l'air entraîné pendant le remplissage et non évacué (mauvaise perméabilité du moule), de la réaction métal liquide/moule/poteyage, formées lors des réactions d'élaboration ou provenant du moule (humidité,...). Les soufflures apparaissent comme une piqure ou un cratère. Elles peuvent également rester piégées au sein du métal, affaiblissant alors dangereusement la pièce moulée. Pour limiter l'absorption de gaz par le métal en fusion, on peut traiter le métal avant la coulée, en le maintenant sous vide ou sous une atmosphère de gaz peu solubles comme l'argon. On limite aussi la solubilité des gaz en travaillant avec des surchauffes, en réduisant les turbulences au moment de la versée du métal dans le moule, en travaillant la forme des canaux d'alimentation et la vitesse de remplissage et en stockant le moule dans un endroit sec pour éviter les reprises en hydrogène[12].

Les méthodes de détection des soufflures utilisées actuellement sont la radiographie, le contrôle par ultrasons et la magnétoscopie.



III-2-3 Défaut du au matériau avec lequel est réalisé le moule:

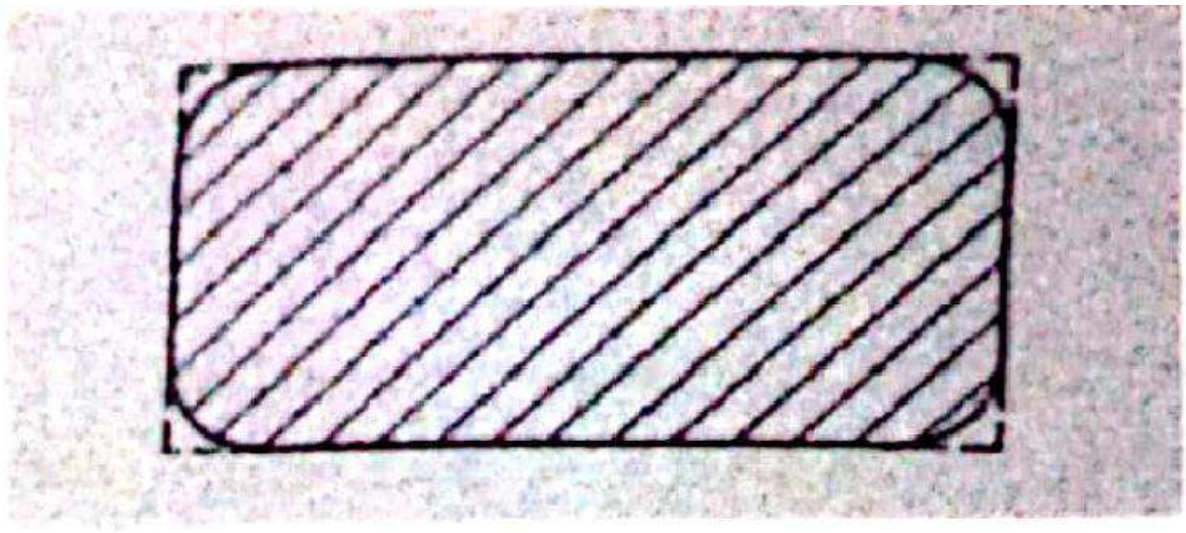
1-Pénétration: quand le métal coulé est très fluide, il peut pénétrer dans les porosités du sable. La surface de la pièce est un mélange de métal et de sable[12].



III-2-4 Défaut formé pendant le remplissage du moule:

1-Défaut de remplissage: La pièce se solidifie avant de remplir complètement l'empreinte ou présente un manque de matière dans les parties supérieures du moulage. Ceci peut être due à une température de coulée basse, une fluidité et coulabilité insuffisantes ou un tracé incorrect de la pièce (sections trop faibles)[12].

III-3-Etude de Défaut de Malvenu :



FigureIII-**2** : dessine repesent le non venu.

La pièce et complète a l'exception des angles saillants qui sont plus ou moins arrondis .s'agissent de fonte, la surface est généralement brillante et se laisse bien décaper[13].

III-**3-1Causes possibles :**

- Manque de fluidité et de coulabilité du métal liquide dû à une température de coulée trop basse eu égard à la composition.
- Remplissage trop lent de l'empreinte par suite d'une trop faible section des jets et des attaques.
- Dégagements d'air insuffisant (perméabilité, évents, tirages d'air).
- En coulée en coquille : température trop basse de la coquille[13].

III-3-2 Explication des raisons:

III-3-2-1Manque la fluidifiés;

La fluidité de coulée affectée par un grand nombre de variables. Les propriétés du métal qui affectent la fluidité sont la viscosité, tension superficielle, le caractère du film d'oxyde de surface, la teneur en inclusion, la manière dans lequel l'alliage particulier se solidifie, surchauffe, composition, poids spécifique, fusion Point. Toutes ces catégories de variables en variables liées aux métaux et liées aux moisissures variables[14].

- **Effet des variables liées au métal:**

1) Viscosité; La viscosité est affectée par la température, la présence d'impuretés, d'inclusions et composition de la fonte. Plus la viscosité est élevée, plus la fluidité du liquide sera faible métal.

⇒ Composition de la fonte; il ya des éléments d'addition dans la fonte qui augmentent la fluidité du métal et ils sont; Silicium et le Phosphore

2) tension superficielle; Il agit à l'interface moule-métal affecte les propriétés de mouillage de la surface du moule de le métal liquide. Si le métal ne mouille pas le moule, la force de frottement sera plus son écoulement à travers les canaux du moule et donc la fluidité du métal seront diminués.

3) surchauffe; La surchauffe signifie que le métal liquide est chauffé au-dessus de la température des liquides. Si surchauffe augmentée, la viscosité sera réduite et la fluidité augmentée. Surchauffe plus élevée durée de vie accrue du fluide, de sorte que le métal peut s'écouler pendant une durée plus longue.

4) Mécanisme de solidification; Le métal pur et l'alliage à courte plage de congélation se solidifient par formation de peau sans influence sur le métal liquide. Large plage de solidification se solidifie de manière pâteuse et cela gêne l'écoulement du liquide.

5) Film d'oxyde et formation d'inclusion non métallique; La formation d'oxyde affecte la tension superficielle et diminue la capacité de fusion du moule du métal liquide et donc la fluidité sera réduite.

6) Poids spécifique; Si le poids spécifique du métal liquide est supérieur, la pression métallostatique est également supérieure. Ce augmente la vitesse du métal liquide avec lequel pénètre dans le moule et la fluidité du métal augmentera.

7) Point de fusion; Température de fusion élevée du métal, un échange de chaleur plus intensif aura lieu entre le métal et le moule, l'extrait de chaleur par unité augmentera. Cela réduira le temps pour que le métal reste liquide et s'écoule, par conséquent la fluidité du métal diminuera[14].

III-3-2-2 Temps de remplissage optimal:

Un moulage se remplit trop lentement entraîne des discontinuités telles que des coupures à froid et des dysfonctionnements. Trop vite le remplissage conduit à des inclusions solides et gazeuses. Le remplissage le plus lent (limite supérieure de remplissage temps) est régie pour éviter la congélation prématurée en sections minces avant le remplissage complet.

Le remplissage le plus rapide (limite inférieure du temps de remplissage) est régi par l'apparition de la surface turbulence. Le temps de remplissage parfait se situe entre un remplissage rapide et un remplissage lent. C'est une fonction de métal coulé, poids, épaisseur minimale de la section et température de coulée.

Le temps de remplissage est déterminé par la méthode expérimentale[15].

Une équation généralisée pour le temps de dépôt pour la coulée inférieure à 450 kg peut être calculée en utilisant l'équation ci-dessous:

$t = k\,(1 \cdot 41 + (14 \cdot 59))\,w$ (6)

Où K = Fluidité du fer en pouces / 40

T = épaisseur moyenne de la section, mm

W = Masse de la pièce moulée, kg

III-3-2-3 Le system d'alimentation:

L'objectif principal du processus de moulage au sable est un remplissage correct et complet du moule dans le moule. Le système d'alimentation est une partie importante du processus de fabrication de moulage. Une conception incorrecte du système d'alimentation entraîne divers défauts dans la pièce moulée. Les défauts comprennent un remplissage incomplet, des inclusions et des piégeages gazeux.

Un remplissage incomplet se produit sous deux formes telles qu'un défaut de non venu ou une fermeture à froid. Une fermeture à froid se produit lorsque deux fluides s'écoulant dans des directions opposées se rencontrent et ne parviennent pas à fusionner complètement. Le non venu se produit lorsque le métal fondu ne remplit pas correctement la cavité du moule.

section des Attac ou canal fable il diminue la vitesse de remplissage, ce qui augmente la vitesse de solidification, est manque des évents qui a facilité l'échappement des gaz formes au moment ou le métal chaud enter en contact avec la surface de l'empreinte[16].

- **Effet des variables liées à la moisissure:**

1) Propriétés physiques thermiques du moule; Le métal liquide est versé dans le moule, le moule extraira la chaleur du liquide. Si la conductivité du matériau du moule est élevée, le taux d'extraction de chaleur sera plus élevé.

Cela se traduira par moins de temps pour le liquide à un état mobile. Par conséquent, une moindre fluidité dans le moule métallique que dans le moule de sable.

2) température du moule; Lorsque le métal liquide est versé dans le moule à une température plus basse, l'effet de refroidissement être plus, lorsque le métal liquide est versé dans le moule à une température plus élevée, le liquide le métal reste longtemps dans un état mobile. Par conséquent, la fluidité est élevée dans le moule chaud par rapport à la moisissure froide.

3) Perméabilité aux gaz; Le moulage en sable a plus de fluidité que le moulage permanent.

4) Pression métallostatique; Il est défini comme la pression accrue du métal entrant dans un moule. Cela augmentera le fluidité du moule.

5) Caractéristique de surface du moule;

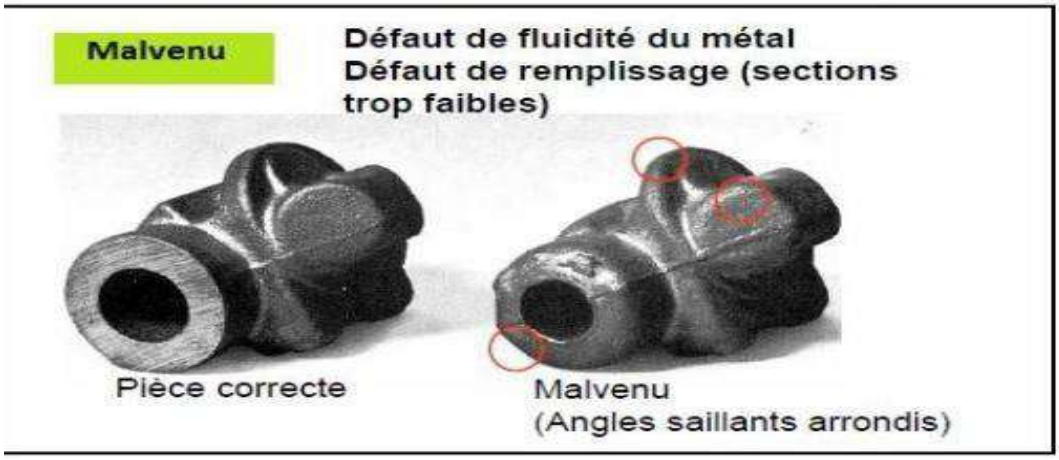
Une rugosité du moule empêche une force de frottement accrue. Surface lisse ou à grain fin la coulée dans le moule améliore la fluidité du métal liquide[17].

III-3-3 Remèdes :

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

- Vérifier le système d'attaque et augmenter les sections s'il y a lieu.
- En coulée en coquille : élever la température de la coquille.

-Améliorer la perméabilité et les dispositifs de dégagement des gaz[13].



FigureIII-**3**: défaut de remplissage (malvenu).



FigureIII-**4:** défaut de non venu dans les pales de turbine (problème de coulabilité)



FigureIII-**5:** couvercle de palier en fonte alliée graphite lamellaire. Par suite d une température de coulée trop basse les angles ne son pas venus. La surface est brillante.

CHAPITER IV:
ÉTUDE DE CAS DE PROBLEME DE NON VENU EN SOCIETE POVAL

Contrôle de qualité des pièces en rebut:

Les pièces les plus importantes où le problème du male venu est survenu par les travailleurs du bureau de contrôle qualité de poval, avec son temps et sa quantité, donnée les résultats Sur le tableau suivant:

1) Les compagnes des pièces Trappes :N°2018023:

Tableau IV-1:Les compagnes des pièces Trappes[10].

N°Compagne	Date	Quantité	Poids (kg)	Rebut de novenue	% De rebut
1	04/01/18	10	37.4	10	100
2	10/01/18	76	37.4	40	66
3	05/02/18	80	37.4	30	50
4	13/03/18	45	37.4	15	67
5	18/04/18	66	37.4	20	23
6	20/06/18	88	37.4	13	15
7	31/07/18	53	37.4	06	23
8	23/09/18	90	37.4	12	12
9	29/10/18	71	37.4	11	9

❖ Les compagnes pour l'analyse chimique FGL20 :

Tableau IV-2:Analyse chimique de FGL20 [18].

N°Compagne	Date	Four	% C	% Si	% P	% Mn	SD
1	04/01/18	6T	3.60	2.01	0.15	0.44	1
2	09/01/18	12T	3.24	2.00	0.17	0.40	0.90
3	04/01/18	12T	3.35	2.14	0.10	0.43	0.93
4	13/03/18	12T	3.19	2.05	0.18	0.43	0.89
5	18/04/18	12T	3.37	2.19	0.15	0.41	0.96
6	19/06/18	12T	3.55	1.73	0.19	0.45	0.97
7	30/07/18	12T	3.33	2.23	0.17	0.42	0.96
8	23/09/18	12T	3.51	2.02	0.16	0.44	0.98
9	29/10/18	6T	3.50	2.07	0.18	0.44	0.99

⇒ Dans la premier compagne il ya un problème dans de le moule (section des Attac fable est manque des évents qui a facilité l'échappement des gaz formes au moment ou le métal chaud enter en contact avec la surface de l'empreinte (en incluant l'air présent dans le moule)



FigureIV-1: model de la trappe qui donnait le défaut de mal venue [10]



FigureIV-2 : model de trappe Après modification de système d'alimentation [10]

❖ Les compagnes des pièces Tampon+Cadre 850:

Tableau IV-3: Les compagnes des pièces Tampon+Cadre 850 [10]

N°Compagne	Date	Quantité	Poids (kg)	Rebut de no venue	% De rebut
1	05/01/17	43	100	15	35
2	08/02/17	66	100	10	15
3	06/03/17	78	100	22	28
4	25/04/17	53	100	08	15
5	14/05/17	41	100	06	15
6	19/07/17	35	100	04	11
7	30/09/17	80	100	13	16
8	03/10/17	95	100	17	18

❖ Les compagnes pour l'analyse chimique FGL20 :

Tableau IV-4: Analyse chimique de FGL20 [18]

N°Compagne	Date	Four	% C	% Si	% P	% Mn	SD
1	05/01/17	12T	3.38	1.81	0.17	0.39	0.92
2	07/02/17	12T	3.44	2.05	0.14	0.37	0.97
3	06/03/17	12T	3.44	1.95	0.15	0.42	0.94
4	24/04/17	12T	3.42	2.23	0.18	0.44	0.97
5	14/05/17	12T	3.44	2.22	0.16	0.40	0.97
6	18/07/17	12T	3.41	2.19	0.19	0.45	0.98
7	28/09/17	12T	3.39	2.43	0.16	0.39	0.98
8	03/10/17	12T	3.52	2.00	0.11	0.46	0.97

Dans cette cas nous avons un problème de composition chimique.

Le dégrée de saturation, doit être égale à un (eutectique) pour une meilleure coulabilité.



Figure IV-3:défaut de non venu dans La compagne de la pièce Cadre 850 [10].

On note à partir d'une comparaison du tableau des défauts des pièces avec le tableau d'analyse chimique de FGL20 que la fréquence des défauts est liée au degré de saturation, ce dernier chaque endroit est inférieur ou supérieur à 1 le nombre de défauts était élevé

Nous concluons d'une comparaison des tableaux que la liquidité est affectée par les éléments quantitatifs présents dans le métal fondu, en particulier le carbone, le silicium et le phosphore.

CONCLUSION GENERALE

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

Après des investigations menées au niveau de la fonderie en collaboration avec les service de contrôle de la qualité, et à la lumière des dossiers et des rapports soumis par ce dernier, les enquêtes ont confirmé que la fluidité et le système d'alimentation être la principale cause de défauts de non venu.

Selon des analyses chimiques et les moules fabriqués et des résultats sur les Obtenues par des compagnes de FGL 20 nous a permis de tirer les résultats suivants :

1- Le manque de fluidité est dû à la carence de l'élément silicium ou phosphore ou carbone.

2- Un dysfonctionnement du système d'alimentation en raison de l'absence des évents.

Afin de se débarrasser des différents défauts de la fonderie, nous suggérons l'utilisation de programmes de simulation du processus de coulée pour fabriquer un système d'alimentation et pour simuler le processus de coulée en fonction de la conception qui détecter avec précision les différents types de défauts qui se produisent dans les moules en termes de densité, spécificité, conductivité thermique, valeurs de température et vitesse d'écoulement du liquide dans le moule.

Il existe différents logiciels de simulation utilisés aux fins mentionnées avant ProCast (USA), AFSolid (SolidCast) (USA), Magma (Allemagne), Simtec (WinCast), CastCAE (Finlande), Simulor (Pamcast) (France), LVM Flow (Nova Flow) (Russie).

Bibliographie

[1] -Métallurgie. F.Bouju. Y.Renoux.

[2] Elaboration des materiaux feraux D BENSAADA S

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

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

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

[6] 05.06 / 62340306. Printed in Denmark by Richard Larsen Grafisk – 42.

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

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

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

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

[11] cour enseignant (cour technologie de moulage) M-HABIRACHE.

[12] www.wikipedia.org

[13] Livre recherche de la qualité des pièces de fonderie édition française rédigée par GuyHENON

[14] S. Saxena and P. K. Sharma, "Casting Fluidity of Metals and Alloys," International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology, vol. 6 , no. 2, pp. 1-14, 2017.

[15] N. M, K. Sivakumar, G. Senthilkumar and M. Sengottuvelan, "Study of Sand Casting Gating System," International Journal of Recent Engineering Research and Development, vol. 2, no. 11, pp. 1-8, 2017.

[16] N. D., I. Milic ´evic and Z. C ´ojbas ˇic, "Optimization of the gating system for sand casting using genetic algorithm," American Foundry Society, pp. 1-11, 2016.

[17] The side risers play an important role in the new gating system. It reduces shrinkage defects which were found near to the ingates and middle part of the casting.

[18] Bureau d'analyse chimique et physique d'unité de fonderie POVAL à Berrouaghia.