République Algérienne démocratique et populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université DE Médéa

Département du Génie la matière

Faculté des sciences de Technologie

projet de fin d'études

Pour l'obtention d'un Diplôme de Master En Génie Mécanique

Option: science des matériaux

thème

Etude métallurgique du FGL20
Problème de dureté du moyeu de roue

Présenté par :

- *MENND Hemza*
- *DOUMI Hamza*

Proposé par :

Encadreur : Mr. ELMOHRI.A

Promotion 2017

Remerciements

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

Nous expriment notre profonde gratitude à notre encadreur ***Mr : EL MOHRI Abdenour*** Maitre de Conférence A à l'université Yahia Farés de Médéa. Qui n'a épargné aucun effort pour nous encadrons dans lesmeilleures conditions.

Nos sincères gratitudes à Mr : ***HBIRECHE Mohamed*** pour leurs précieuses aident et ses qualités scientifiques et humaines. Sonsoutien et son suivi durant ce travail.

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

Monsieur*Mohamed ABDELLAH* ; chef de service technologie fonderie

Monsieur *Mahmoud SEGHIR AISSA*, ingénieur de contrôle de qualité

Madame ***BECHOUCHA***, chef de S laboratoire.

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

Nos remerciements vont également à tous nos amis et à tous nos collègues pour leur aide et encouragement.

DOUMI. H et MENNAD.H

Dédicaces

Allah nous toujours recommandé de mieux connaître le mérite et la valeur qu'on doit envers nos parents.

Je dédie ce modeste travail en hommage à tous ceux qui étaient pour moi un aide,

Un soutien ,un appui

Et un confort :ma mère, mon père, mes frères et sœurs, ma congoint et surtous mes deux filles Wassila et Widad, ainsi que touts ma famille.

Mes dédicaces s'adressent également avec une profonde gratitude à mes professeurs

Mes dédicaces s'adressent aussi mes amis .

Aussi, mes dédicaces s'adressent à tous les étudiants de la M2 SDM de l'université de Médéa

Finalement, aucune gratitude n'est assez présentatif pour signifier les efforts fournis par afin mes parents afin de faire de moi ce que je suis aujourd'hui

Mennad Hamza

Sommaire

Liste des figures I
Liste des tableaux II
Introduction générale 1

Chapitre I : Elaboration des fontes

I-1 Généralités sur les fontes……... 2
I-2 Elaboration des fontes ……... 2
I-2-1 Introduction ……..... 2
I-2-2 Fontes de la première fusion …….. 3
A) Matières premières ……. 4
B) Le Haut-fourneau …….. 6
C) Flux des matières dans une usine métallurgique …… 7
D) Les fontes du Haut Fourneau…… 9
E) Les éléments introduits dans les fontes …… 10
F) Formation du laitier…… 11
I-2-3 Fontes de la deuxième fusion…… 11
A) Les appareils de refusions…… 11
B) Les étapes de l'élaboration…… 12
I-3 Différents types de fontes……. 12
I-4 Fonte grise à graphite lamellaire…… 13
I-5 Première fusion FGL20 ……... 14
I-6 Deuxième fusion FGL20 ……. 14
I-7 Moulage des fontes ……..... 15
I-7-1 Introduction ……..... 15
I-7-2 Le moulage ……..... 16
I-7-3 Châssis……..... 16
I-7-4 Le serrage ……..... 17
I-7-5 Moule supérieur……..... 17
I-7-6 Moule inférieur ……..... 17
I-7-7 Système d'alimentation……... 17
I-7-8 Masselotte……..... 17
I-7-9 Démoulage……..... 17
I-7-10 Pose de noyau……..... 18
I-7-11 Coulée ……..... 19
I-7-12 Refroidissement ……..... 20
I-7-13 Décochage ……..... 20
I-7-14 Nettoyage des pièces coulées…… 20
I-7-15 Dessablage……..... 21
I-7-16 Triage……..... 21
I-7-17 L'ébarbage……..... 21
I-8 Procédés de moulage……..... 22
I-8-1 Introduction ……..... 22
I-8-2 Le moulage……..... 22
I-8-3 Les différentes techniques ……..... 23

Chapitre II : Elaboration des fontes FGL 20 (POVAL)

II-1	Schéma des opérations d'élaboration de la fonte FGL 20……..	24
II-2	Les étapes d'élaboration de la fonte……..	25
II-3	Préparation du lit de fusion ……..	26
II-4	Exemple de lit de fusion pour la fonte FGL20 ……	27
II-5	Fusion des charges……	27
II-6	Généralités sur le four induction moyen fréquence…….	28
	A) Le creuset…….....	29
	B) L'inducteur …….....	30
	C) Les écrans magnétiques /ou culasses ……..	30
	D) La carcasse …….....	30
	E) Le couvercle…….....	30
	F) Équipements annexes …….....	30
	G) Installation de puissance électrique……..	31
II-7	Préparation de lit fusion poval ……..	31
	A) la fonte élaborée …….....	32
	B) Le lit de fusion…….....	32
	C) calculs de lit de fusion……...	33
II-8	Moulage pour la fonte FGL 20 (POVAL) …….	35
II-8-1	Le sable de moulage…….....	35
II-8-2	Moulage …….....	36
II-8-3	Serrage …….....	36
II-8-4	Démoulage …….....	37
II-8-5	Moule inférieur…….....	37
II-8-6	Moule supérieur…….....	38
II-8-7	Système d'alimentation…….....	38
II-8-8	Les évents …….....	39
II-8-9	Remoulage …….....	39
II-8-10	Fermeture de moule…….....	40
II-8-11	Coulée de métal…….....	41
II-9	Refroidissement …….....	41
II-10	Décochage …….....	41
II-11	Dessablage…….....	42
II-12	Aptitude au débourrage…….....	42
II-13	L'ébarbage…….....	43

Chapitre III : Techniques de contrôle qualité

III-1	Contrôle de la pièce moyeu de roue……..	44
III-1-1	Contrôle de structure …….....	44
	A) Essai de dureté BRINELL ……..	44
	B) Essai de traction …….....	45
III-1-2	Contrôle d'analyse chimique des pièces de moyeu de roue…….	45
III-2	Contrôle de maté aire sable…….....	47
III-3	Norme suivent pour fabrication des moyeu de roue….....	48
III-3-1	Norme chimique et mécanique de la pièce FGL20 ….....	48
III-3-2	Norme de sable prépare pour FGL20….....	48

Chapitre IV : Etude et interprétation

IV-0 Dessin de moyeu de roue……. 50
IV-1 procédé de traitement thermique de pièce FGL20 à OVAL …..... 51
IV-2 Résultats après Traitement Thermique de moyeu de roue…..... 52
IV-3 Contrôle de système d'alimentation…..... 53
IV-4 calcule le système d'alimentation…..... 53
IV-5 Calcul des systèmes de coulée pour des pièces coulées on fonte jusqu'à 1000kg de masse …..... 56
A) Ancien châssis …..... 57
B) Cas estimé (Nouveau moule) …….. 59
IV-6 Temps de refroidissement..... 62
A) Ancien châssis..... 62
B) Nouveau châssis 63
Conclusion générale..... 65

Liste des figures

Chapitre I

Figure I-1 :les différentes préparations de la charge avant d'être introduite ……. 7
Figure I-2 :le Haut fourneau …… 8
Figures I-3 et I-4 : la microstructure des fontes grises lamellaires …… 14
Figures I-5 : Opérations d'élaboration de la fonte de moulage …….. 15
Figure I-6 : le châssis ……..……. 16
Figure I-7 : pose de noyau (Remoulage)…… 19
Figure I-8 :poche de coulée……. …… 19
Figure I-9 :les différents types de moulage……. …… 23

Chapitre II

Figure II-1 : Schéma des opérations d'élaboration de la fonte 24
Figure II-2 : Photographie deparc à ferrailles…… 25
Figure II-3 : Photographie del'aiment de remplissage……... 25
Figure II-4 a : Photographie de four de fusion à induction C 12T…… 26
Figure II-5 : four éléctrique à induction……. 29
Figure II-6 : photos d'un moule remplir……. 36
Figure II-7 : préparation de moulage mécanique(secousse et pression)…….. 36
Figure II-8 : Le serrage…… 37
Figure II-9 :l'opération de démoulage par les modéles…….. 37
Figure II-10 : moule inférieur……. 38
Figure II-11 : Moule supérieur……. 38
Figure II-12 : les évent et Canal de descente…….. 39
Figure II-13 : remoulage…….. 40
Figure II-14 : Fermeture de moule ……. 40
Figure II-15 : le four et l'opération de coulée…… 41
Figure II-16 : opération de débourrage…… 42

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I-1 :la composition chimique des différents minerais…… 5

Tableau I-2 : les différents types de fontes obtenues dans le H-F avec leur composition chimique.…….. 9

Tableau I-3 : Les principaux éléments constituant le laitier sont donnés sur le tableau ci-dessous …… 11

Chapitre II

Tableau II-1 : Composition chimique de la fonte élaborée…… 32

TableauII-2 : Les pourcentages des constituants de lit de fusion de la fonte élaborée…..... 33

Tableau II-3 : Compositions chimiques des constituants du lit de fusion……. 33

Tableau II-4 : les pourcentages totaux de Cet Si de lit de fusion…….. 34

Tableau II-5 : le bilan total des additifs de lit de fusion……. 35

Chapitre III

Tableau III-1 : les résultats de l'essai de dureté pour les quatre pièces 45

Tableau III-2 :métallographique pour trois pièces…… 46

Tableau III-3 : analyse chimique de la premièrepièce…….. 46

Tableau III-4 : analyse chimique de la deuxièmepièce…….. 46

Tableau III-5 : analyse chimique de la troisièmepièce…… 46

Tableau III-6 : analyse de sable…….. 47

Tableau III-7 : Propriétés physico-chimique de la FGL 20…… 48

Tableau III-8 : Norme de sable de moulage fonte……. 49

Chapitre IV

Tableau IV-1 :le coefficient, en fonction de l'épaisseur des parois de la pièce …… 54

Tableau IV-2 : Echelonnement des systèmes …… 55

Tableau IV-3 : 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……. 56

Tableau IV-4 : le coefficient S qui dépond de l'épaisseur des parois de la pièce … 57

Tableau IV-5 : le coefficient$\mathbf{S_1}$ qui dépond de l'épaisseur des parois de la pièce … 57

Introduction générale :

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

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

Notre étude est consacrée dans un premier temps d'élaborer une fonte à graphite lamellaire type FGL 20 suivie par une opération de moulage de notre pièce - moyeu de roue - Dans un second temps, les pièces obtenus subit à un traitement thermique type revenue d'adoucissement à température 950°c pendant 3 heures. Elles sont également vont servir à des caractérisations mécaniques et étudié leurs réponses en traction et voir ses aptitudes de duretés.

Finalement, ces derniers tests réalisés donnent une aperçue générale sur un phénomène qui devient l'un de défaut de matière au niveau de POVAL, c'est la dureté des parois externes de notre pièce, l'étude et l'analyse de cette problématique est le thématique de notre étude à fin de trouver une solution adéquate tout en respectant le rapport qualité / prix.

Le présent manuscrit est composé principalement de quatre 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, ses classes, le moulage, les fontes grises lamellaires, est récapitulée dans le premier chapitre.

Le deuxième chapitre est consacré à l'élaboration typique des fontes au niveau de POVAL

Le troisième chapitre est réservé au techniques de contrôle de qualité de la pièce, la structure et la matière de sable selon les normes de fabrication, des constituants, des caractéristiques mécaniques,…

La présentation des résultats expérimentaux et calculés obtenus au cours de notre travail ainsi que la discussion et interprétation sont répertoriées dans le quatrième chapitre.

I-1- Généralités sur les fontes :

La fonte est un matériau obtenu par la cuisson de différentes éléments (cock, minerais, calcaire) dans des proportions exigées pour extraire le maximum de fer contenu dans les minerais. Un haut-fourneau est un four à combustion interne, destiné à la fabrication de la fonte à partir du minerai de fer. Cette fonte est par la suite affinée par chauffage (décarburation) ce qui permet de produire de la fonte et ses dérivés ferreux. Les fontes sont toutes des alliages destinés à la fonderie. Elles se distinguent des autres alliages par leur excellente coulabilité (ce terme regroupe l'inertie thermique et la fluidité de l'alliage en fusion, il est mesuré de façon normalisée par une éprouvette en colimaçon de section triangulaire) La fonte a une température de fusion allant de 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. Elle peut être un précurseur dans la fabrication de l'acier à partir de minerai de fer. C'est l'alliage qui sort du haut fourneau et qui sera affiné en acier (par décarburation). On l'appelle alors fonte brute, pour la distinguer de la fonte de fonderie, généralement issue d'une fusion au cubilot, de composition déterminée, et destinée à la production de pièces moulées 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, 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.

I-2- Elaboration des fontes :

I-2-1 introduction :

On traite le minerai dans une sorte de four cylindro-conique on brique réfractaire, et en couche métallique à l’extérieure, le four lui-même appelé (Haut-fourneau). La fonte s'obtient

dans les hauts fourneaux à partir de minerai de fer et du coke (carbone). L'élévation de température conduit à la fusion de la charge et à la transformation chimique, ce qui permet

d'obtenir de la fonte liquide et des résidus: laitier et gaz.
Le produit obtenue n'est pas du fer pur mais un alliage de fer et du carbone de 2,3 à 4,5% appelé fonte .Selon la façon de traitement on obtient soit de fonte blanche, soit de fonte grise. La fonte produite par le (Haut-fourneau) appelé fonte de 1ère fusion elle a 3 Utilisateurs.

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

Avantages des fontes

- Elles permettent la réalisation des pièces moulées complexes car elles possèdent une excellente coulabilité (Aptitudes au moulage).

- Elles ont une excellente usinabilité, le graphite jouant le rôle de lubrifiant (mise à part les fontes blanches où le graphite n'est pas présent).

- Elles sont très résistantes en compression.

Inconvénients des fontes

- Les fontes grises lamellaires sont peu résistantes aux chocs, pour les autres fontes le problème de résilience est résolu par la forme non lamellaire du graphite.

- Les fontes FGS ne sont pas utilisées autant que les fontes FGL parce que son coût de fabrication est bien plus élevé.

- Les fontes blanches sont très peu utilisées sauf pour la réalisation de pièces spécifiques (Rouleaux de broyeur). Elles sont dures mais très fragiles ceci est dû à la présence de cémentite.

I-2-2-Fontes de la première fusion :

L'agrégat principal 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 fusion. Elle est obtenue à l'état liquide à une

température près de 1400°C et avec une teneur en carbone de 3,5 à 4,5% et de teneur variable en Si, Mn, P, 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-Carbone). Le produit secondaire obtenu lors de l'élaboration de la fonte est le laitier (scorie) dont les principaux composants sont CaO, Si02, AI2O3 et MgO

A) Matières premières :

Comme il a été mentionné que 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 chimique on distingue plusieurs types de minerais de fer : a) - la magnétite (Fe_30_4), sa couleur varie du gris foncé au noir. b) - l'hématite rouge (Fe_20_3), sa couleur varie du rouge foncé au gris foncé. c) - l'hématite brune ($Fe_20_3.H_20$), sa couleur varie du noir au jaune. d) - fer spathique ou sidérose ($FeC0_3$), sa couleur varie du jaune pale au gris. Le tableau ci-dessous nous donne un aperçu sur la composition chimique des différents minerais.

Tableau I-1 la composition chimique des différents minerais

	Composition chimique								
Type	Fe	Mn	P	$Si0_2$	AI_2Oi	CaO	MgO	co_2	humide
Magnétite Fe_30_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_203	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 bame $Fe0_3xH_20$	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 $FeC0_3$	30-40	1-7	0.02	7-10	0.1-3	0.5-3	0.5-3.5	20-30	0.5-2

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

- **Le minerai de manganèse :**

Les minerais de fer sont souvent très pauvres en manganèse, qui est fun des éléments améliorant les propriétés de fonte. 11 est essentiellement utilisé pour l'élaboration des fontes riches en manganèse tels que les ferromanganèses et fonte spiegel. Le plus souvent on utilise les oxydes tels que Mn02 et Mn203 dont la teneur en manganèse peut atteindre 50.

- **Les fondants :**

Les fondants sont utilisés dans la charge du haut fourneau pour réduire la température de fusion de la gangue, pour la scarification de la soudure du coke et enfin pour l'obtention du laitier fluide ayant une bonne capacité d'absorption du soufre et du phosphore, ces deux derniers éléments sont indésirables dans la composition de la fonte. Comme fondants on utilise le plus souvent le calcaire $Ca\ C0_3$ et très rarement la délimite $MgC0_3xCa\ C0_3$.

- **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 constitue de:

- 78 -83% carbone

- 8 - 11% sandre
- 2 - 6% H_20
- 0,8- 1,2% Soufre
- 2 - 3% éléments volatils

Le rôle du coke dans le haut fourneau est :

- Fournir la chaleur nécessaire pour la marche du processus du haut fourneau.

- Réduction du fer et des oligo-éléments de leurs liaisons dans le minerai et en même temps carburation du fer.

- Ameublir la charge dans le haut fourneau afin d'avoir une bonne perméabilité aux gaz, grâce à sa grande résistance à l'écrasement

B) Le haut-fourneau :

Le haut-fourneau est un four à forme circulaire 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).

La composition d'une charge à introduire dans le haut-fourneau pour l'élaboration d'une tonne de fonte ainsi que les produits obtenus.

- **Charge introduite**

Minerais de fer et addition	2160 kg/t de fonte
Fondant (calcaire)	470 kg/t de fonte
Coke	960 kg/t de fonte
Rend chaud (humide)	3 125 kg/t de fonte

Total = 6715 kg/t de fonte

- **Produits obtenus**

Fonte	1000 kg
Laitier	905 kg/t de fonte
Poussière de gaz	130 kg/t de fonte
Gaz de Gueulard (humide)	4680 kg/t de fonte
Total	6715 kg

C) Flux des matières dans une usine métallurgique :

La charge avant d'être introduite dans le haut-fourneau subit une préparation au préalable comme il est indiqué sur la figure suivante :

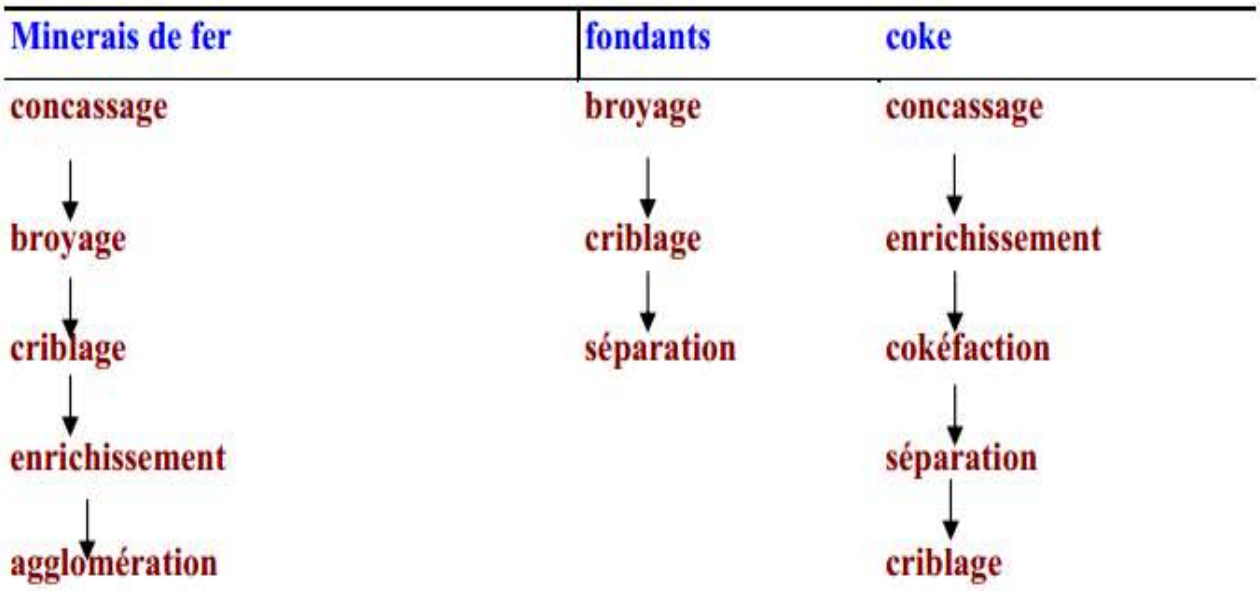


Figure I-1 :les différentes préparations de la charge avant d'être introduite

.

Matières	Coke	Minerai de fer	Calcaire
Element principal	C	Fe_2O_3	$CaCO_3$ et CaO
Elements accompagnateurs	S, SiO_2, Al_2O_3, H_2O, Fe_2O_3	SiO_2, CaO, MgO, Al_2O_3, Mn_xO_y, H_2O, FeS, Karbonate, P_2O_5	SiO_2, MgO, Al_2O_3, Fe_2O_3
Elements possible	LiO_2, P_2O_5, CaO, MgO, Alcalins et autres	As_2O_3, Cr_2O_3, V_2O_5, TiO_2, BaO, Pbs, Mos, Zns, Cus, Nis, Cus	S, TiO_2, etc..

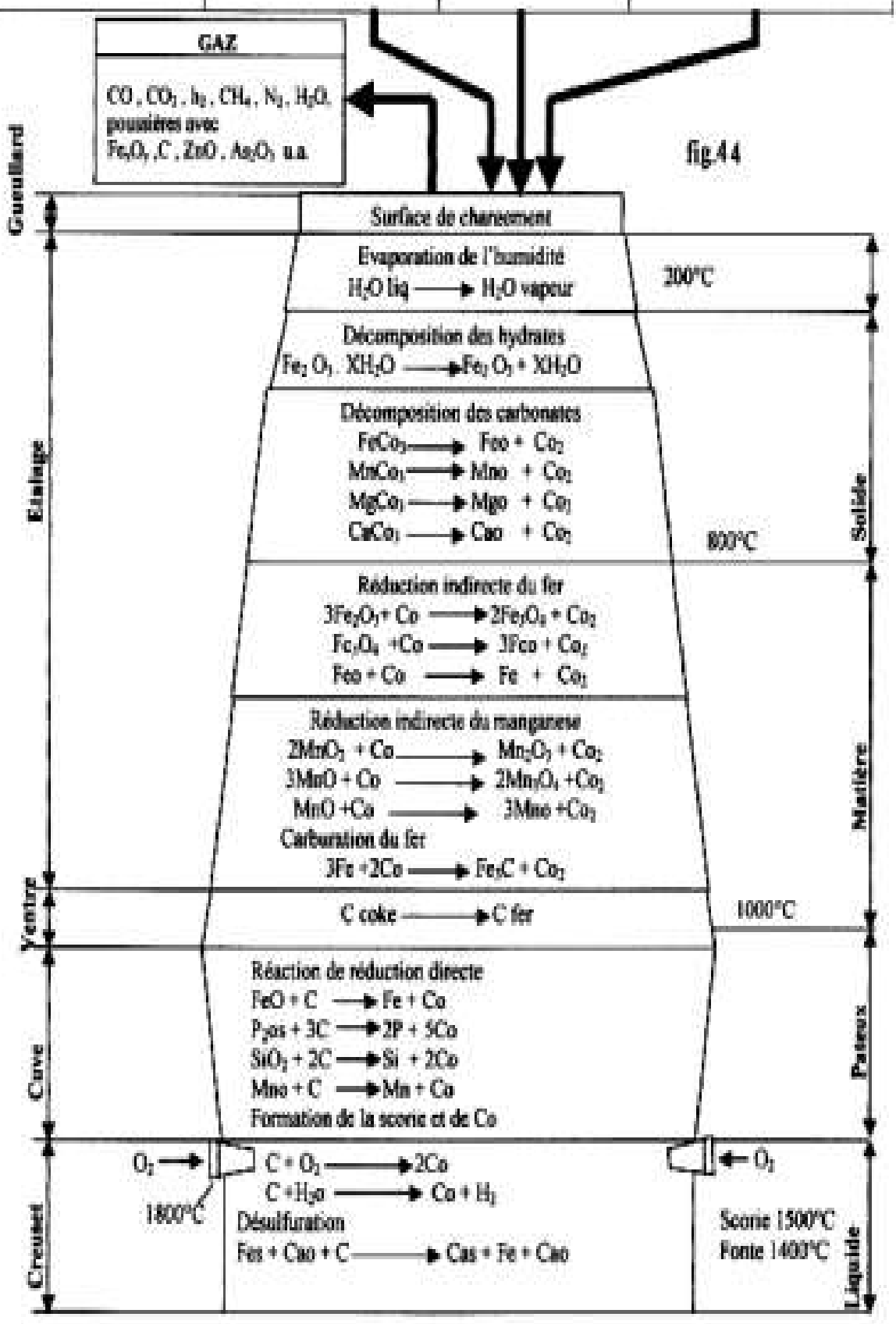


Figure I-2 :le Haut fourneau

D) Les fontes du Haut Fourneau :

Les fontes obtenues dans le H-F sont destinées pour l'affinage de l'acier dans les différents fours et convertisseurs ainsi que pour le moulage des pièces mécaniques (fonderie). Elles se distinguent l'une de l'autre par leurs compositions chimiques.

Le tableau ci-dessous nous indique les différents types de fontes obtenues dans le H-F avec leur composition chimique.

Tableau I-2 : les différents types de fontes obtenues dans le H-F avec leur composition chimique.

Type de fontes H-F	C %	Si %	Mn %	P %	S %
Fonte pauvre en Mn	≈4%	Jusqu'à 1	(<1)	0.08-0,12	Jusqu'à 0.05
Fonte riche en Mn	≈4%	Jusqu'à 1	(2 - 3)	0.08-0.12	Jusqu'à 0.05
Fonte Thomas	3.2 - 3,6	0,3 - 0,6	0.5 - 1,5	1,7-2.2	0,05-0.15
Fonte Bessmer	3.8	1.0-2.5	1 -3	0,07 - 0,1	Jusqu'à 0.04
Fonte de Fonderie	3,5 - 4.2	2-3	Jusqu'à 1.0	0.5- 1.0	Jusqu'à 0.07
Fonte Hématite	3.5 - 4,2	2 - 2.5	0,7- 1.5	0,08-0.12	Jusqu'à 0.04
Fonte-manganèse	6-8	< 1.5	30 - 80	0.2 - 0.3	0.02
Fonte-silicium	1.2- 1.6	9- 15	0.5 - 0,7	0.12-0.16	0,02 - 0.04

La fonte liquide comporte des inclusions variées. Quelques une sont souvent introduites intentionnellement. Outre leurs caractères alphagènes ou gammagènes et leurs actions sur la trempabilité, valables pour les alliages ferreux,

E) Les éléments introduits dans les fontes :

Sont caractérisés par leurs actions :

- Graphitisantes (Si, C, Al, Cu, Ni, Zr...) qui se traduisent par la création de germes servant de support de croissance pour le graphite.

- Antigraphitisantes (Cr, Mo, Mn, S, V, W, B...) Nous donnons quelques indications spécifiques des principaux éléments contenus dans les fontes.

- **Cuivre et nickel** : éléments graphitisants qui contribuent fortement au raffinement de la perlite par leur action γ-gène. En outre, le cuivre est fortement antiferritisant, alors que le nickel est sans effet. L'introduction dans la fonte des ces deux éléments entraîne une augmentation de la résistance et de la dureté.
- **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 réfractairité des fontes et leurs tenus à certaines corrosions.
- **Chrome** : élément antigraphitisant qui stabilise les carbures en retardant leur décomposition thermique ainsi que l'oxydation interne, et de ce fait améliore la tenue à chaud.
- **Manganèse** : empêche la graphitisation et renforce les liaisons atomiques entre le for et le carbone dans la cémentite.
- **Molybdène** : il est surtout utilisé pour son importante action sur le" nez perlitique " des courbes T.T.T. Il améliore considérablement la résistance au choc thermique.
- **Soufre** : est un élément nuisible qui dégrade les propriétés mécaniques de la fonte. I1 abaisse la coulabilité et contribue à la formation de soufflures dans les pièces moulées.

F) Formation du laitier :

Le deuxième produit obtenu lors de l'élaboration de la fonte est le laitier. Le laitier résulte de la combinaison des éléments de la gangue de divers minerais, des fondants et de la sandre du coke. Les principaux éléments constituant le laitier sont donnés sur le tableau ci-dessous :

Tableau I-3 : Les principaux éléments constituant le laitier sont donnés sur le tableau ci-dessous

Cao	SiO2:	$A1_2O3$	MgO	FeO	MnO	P2O5	S	$Na_2O + K_2O$
%	%	%	%	%	%	%	%	%
35-40	28-40	5 - 17	2 - 13	< 1	< 10	< 1	1 -2	< 2

:

La formation du laitier s'effectue en trois étapes :

a) Près de la partie inférieure de la cuve se forme d'abord le laitier primaire facilement fusible et en grande quantité et contenant une quantité importante de FeO

b) Avec l'augmentation de la température le FeO et MnO contenus dans ce laitier sont réduits simultanément et il y a dissolution d'autres oxydes dans ce laitier. Ce laitier est appelé laitier intermédiaire.

c) Le laitier final se forme dans le creuset à des hautes températures par dissolution de la sandre du coke, fondant et le reste de la gangue.

I-2-3 Fontes de la deuxième fusion :

Elles sont élaborées en fonderie par refusions d'un lit de fusion constitué de gueuses de première fusion, de fontes ou rejets de fonderie de deuxième fusion, de ferrailles ou aciers de récupération. Ce sont soit des fontes grises, soit des fontes à graphite sphéroïdal (G.S) soit des fontes blanches destinées aux traitements de malléabilisation. Elles servent au moulage de toutes pièces mécaniques .

A) Les appareils de refusions :

Les appareils de refusions principalement utilisés sont :

- **Le cubilot :**

Est un four vertical de fusion des métaux par la combustion de coke. Dans ce four, le métal à fondre, généralement des ferrailles, est en contact direct avec le combustible. Ce contact

à haute température entraîne une carburation importante (à des niveaux de 2 à 3 % de carbone) et réserve pour cela le cubilot à la production de fonte.

Par rapport au haut fourneau, le cubilot se distingue donc par l'absence de réactions de réduction d'oxyde de fer, ce qui en fait un four moins puissant. Il s'agit généralement d'un outil flexible utilisé dans les fonderies .

- **Le 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

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 .

B) **Les étapes de l'élaboration :**

On distingue les étapes suivantes :

1. Préparation des matières premières (ferrailles + additions),
2. Pesage précis,
3. Bénnage des ferrailles vers les fours de fusion,
4. Fusion au four à induction

4'.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 Différents types de fontes :

On peut classer les fontes moulées en deux catégories : les fontes non alliées et fontes alliées, ou fontes spéciales.

Les fontes non alliées se différencient d'après l'état du carbone. Ce dernier peut dans de nombreux cas se cémentite. La répartition et la forme du graphite ou son absence

permettent de classer les différentes fontes non alliées vers à l'état libre appelé graphite ou, pour les fontes blanches, combiné au fer sous forme :

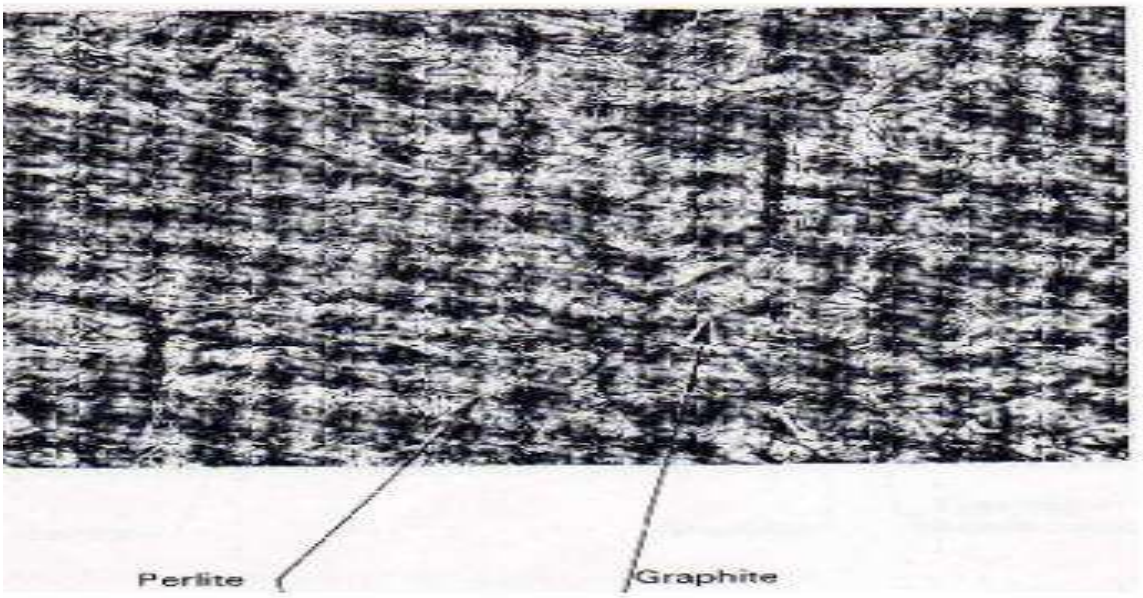
- Fonte grise à graphite lamellaire
- Fontes malléables
- Fonte à graphite sphéroïdal
- Fontes blanches
- Fontes spéciales, ou fontes alliées

1-4 Fonte grise à graphite lamellaire :

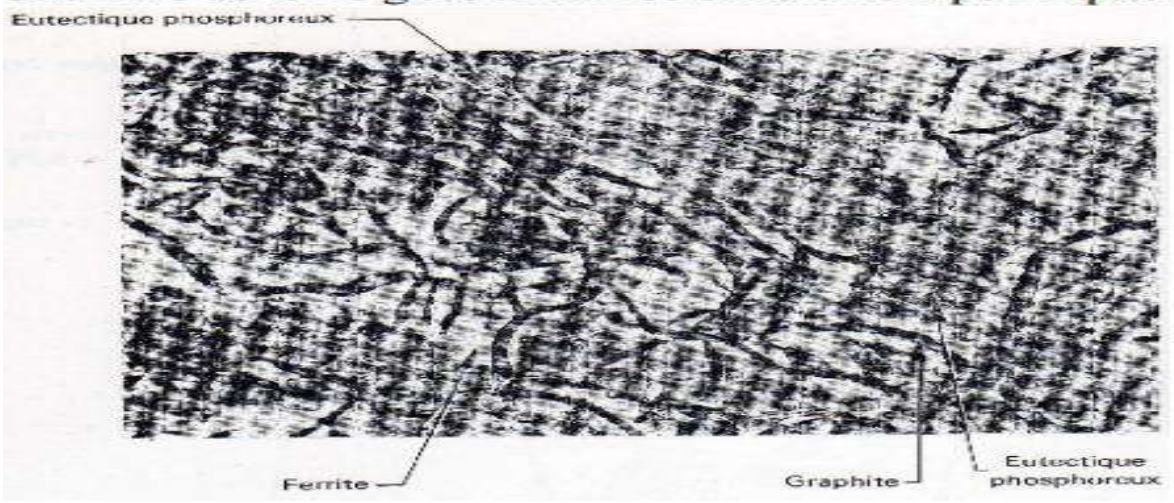
C'est le type de fonte le plus employé. La structure d'une fonte grise est constituée par une matrice métallique contenant du graphite qui apparaît au microscope sous forme de lamelles (figures).

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

- Les principales caractéristiques des fontes grises lamellaires sont :
- faible retrait à la solidification (le graphite gonfle) ;
- point de fusion bas ;
- bonne usinabilité (effet lubrifiant du graphite) ;
- bonne absorption des vibrations ;
- dureté variable entre 100 et 450 HB ;
- bonne conductivité thermique (matériau composite avec le graphite comme bon conducteur)



Structure de fonte grise à matrice entièrement perlitique. X 250



Figures I-3 et I-4 : la microstructure des fontes grises lamellaires

I-5 Première fusion FGL20 :

Elles sont élaborées à partir du minerai de fer au haut-fourneau (HF) à coke ou au bas-fourneau (BF) à arc électrique. Ce sont pour 90% des fontes blanches destinées à la transformation en acier par affinage et pour 10% des fontes grises destinées directement soit au moulage de grosses pièces (tuyaux..) soit au moulage de gueuses qui seront ultérieurement refondues, en fonderie, au cubilot
ou dans des fours électriques.

I-6 Deuxième fusion FGL20 :

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

de récupération.

-Schéma des opérations d'élaboration de la fonte :

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 :

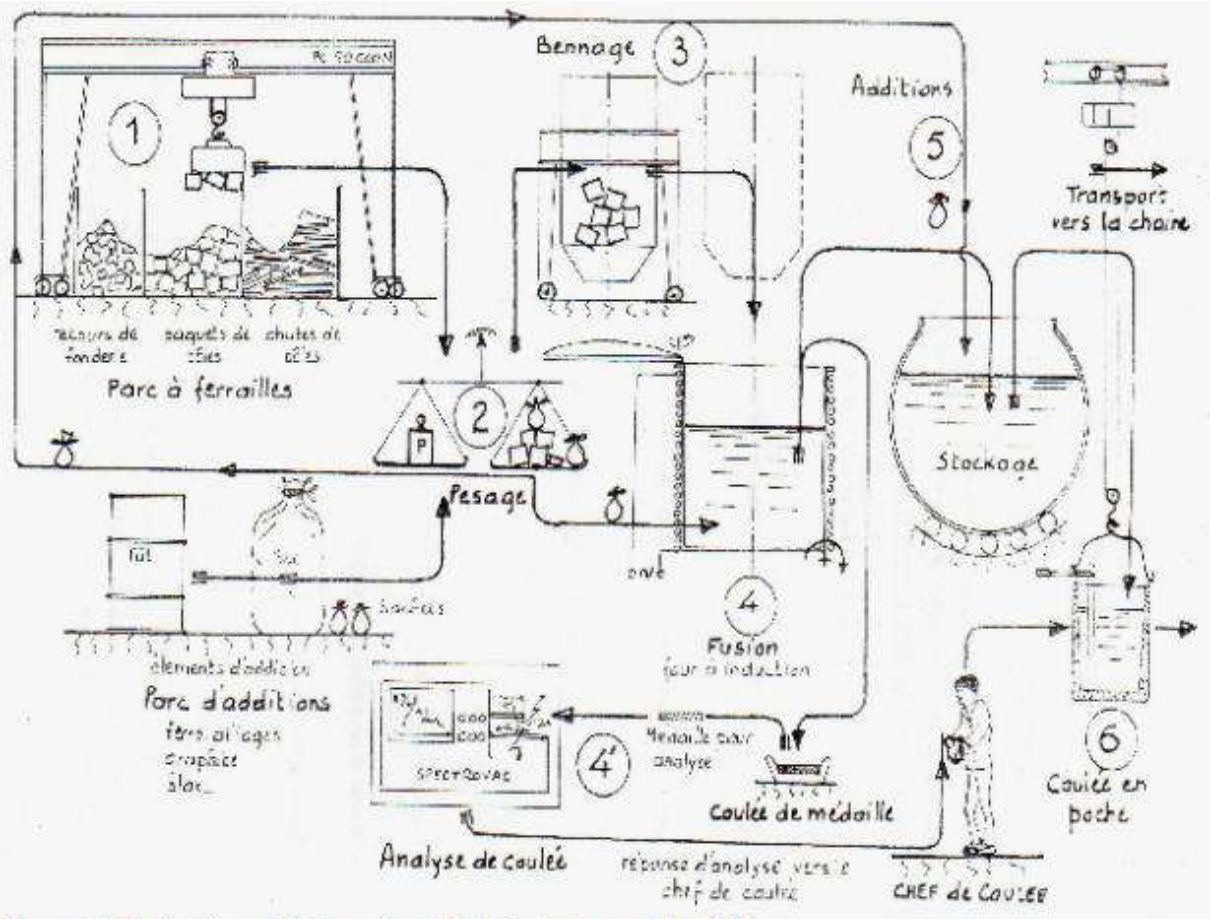


Figure 2. Opérations d'élaboration de la fonte de moulage [7]

Figures I-5 : Opérations d'élaboration de la fonte de moulage

I-7 Moulage des fontes :

I-7-1-Introduction :

Le moulage des métaux est une technique de mise en forme ancestrale. Depuis Plus de sept milles ans, l'homme coule différents métaux afin de produire outils, d'art bijoux, armes, et même des œuvres.

Les techniques de moulage ont donc une base empirique très solide qui à permit aux artisans d'atteindre le savoir faire encore utilisé de nos jours. Depuis la révolution industrielle, ces techniques ont été affinées, optimisées et industrialisées jusqu'à devenir une des méthodes de production les mieux maitrisées.

La définition la plus générale du moulage des métaux est de couler un alliage liquide dans une empreinte négative de la forme que l'on souhaite obtenir au final. Cette empreinte constitue la paroi interne du moule.

I-7-2 Le moulage :

L'expression de moulage dans le sens qui lui est attribué Par les fondeurs désigne la formation d'empreintes dans un matériau appelle sable ou terre ou dans une masse métallique. Celles-ci sont destinées à recevoir un alliage liquide lequel en se refroidissant prendra la forme exacte de l'empreinte.

Lorsque cette empreinte est en terre ou en sable elle porte le nom de ‘’moule’’; lorsqu'elle est métallique (fonte bronze» etc...) elle porte le nom de moule métallique ou plus généralement le nom de coquille.

I-7-3 Châssis :

Un châssis est un cadre rigide employé en fonderie pour contenir man œuvré et soutenir le sable constituant un moule ou une partie d'un moule.

.toujours à la disposition des fonderies, exception faite pour les fonderies de bronze et d'aluminium ainsi qu'on l'a vu précédemment.



FigureI-6 : le châssis

I-7-4 Le serrage :

Le serrage est l'opération qui a pour but de transformer le sable meuble silico-argileux en un moule gardant empreinte d'un modèle donné et résistant aux efforts engendres par la coulée

L'opération du serrage est excessivement importante et doit être conduite avec beaucoup de soins i le moule doit être suffisamment serré, pour résister aux efforts de la Coulée mais ne pas être trop serré pour devenir imperméable.

I-7-5 Moule supérieur :

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

I-7-6 Moule inferieur :

C'est ½ moule qui contient le plus souvent le system d'alimentation (les attaques) ainsi que la chenal et la partie de remoulage (les portés)

I-7-7 Système d'alimentation :

- **Entonnoir de coulée** : Destiné à recevoir et à couler le métal liquide provenant de la poche de Coulée vers le canal de descente.
- **Canal de descente** : C'est un canal vertical, destiné à conduire le métal liquide vers les autres
- Éléments du système de coulée.
- **Canal transversal** : C'est un canal horizontal ayant en plus le rôle de la conduite du métal, un autre rôle c'est la retenue des particules de la scorie et les autres impuretés non métalliques.
- **Canal d'arrivée** : Il conduit le métal liquide directement dans l'empreinte du moule
- Le plus souvent l'entonnoir de coulée, le canal de descente et le canal transversal se trouvent dans la partie supérieure du moule (châssis supérieur). Les systèmes de coulée peuvent être à 2, 3 ou 4 éléments.

I-7-8 Masselotte :

Réserve de métal liquide qui sert à combler le retrait de l'alliage lors du refroidissement.

I-7-9 Démoulage :

On désigne sous le nom de démoulage l'opération qui consiste à séparer l'un de l'autre les plaques-modèles et le sable du moule.

Cette opération est excessivement importante; car en moulage mécanique» le temps de production d'un moule est bien souvent si faible» qu'il est préférable de recommencer un moule plutôt que de le réparer.

L'opération du démoulage consiste à retirer les modèles du sable qui a servi à constituer le moule Cette opération constitue une partie importante et délicate du travail s en effet si elle est mal faite elle provoque des arrachements nombreux dans le moule, . nécessite par conséquent des réparations qui prennent un temps considérable et influent sur la qualité la beauté et l'exactitude du moulage.

Différents moyens ou procédés sont employés pour faciliter le démoulage ; parmi ceux-ci nous citerons :

-l'arrosage des bords et les isolants.
- la dépouille et le vernissage des modèles.
- la vibration et l'ébranlage.
- les peignes.
- le chauffage des modèles.
- les pièces démontables et les modèles coupés.

I-7-10 la pose de noyau :

Le remmoulage s'effectue presque toujours dans le moulage mécanique en se servant d'un repérage placé sur les châssis. Ce remmoulage se fait soit purement et simplement à la main, en se servant des goujons que comportent les châssis, soit par un dispositif mécanique qui dans certains cas,

Le remmoulage par goujons à la main ne nécessite pas de description. Il est tout à fait analogue à celui qu'on emploie dans le moulage à la main mais la nécessité d'une plus grande précision est évidente aussi bion en raison de la vitesse nécessaire dans le moulage mécanique que de la compétence réduite du personnel qui l'emploie. L'engoujonnage des châssis doit être fait dans ce cas avec une précision beaucoup plus grande que pour les châssis employés dans le moulage à la main.



Figure I-7: pose de noyau (Remoulage)

I-7-11 Coulée :

On désigne sous le nom de coulée des moules l'opération qui. Consiste à les emplir de métal liquide. En pratique lorsqu'on parle de la coulée le sens qu'on lui donne n'est pas aussi restreint' il englobe les opérations de transport du métal et de coulée proprement dite des moules. En effet après la production du métal liquide il faut procéder à son transport.

Ce dernier s'effectue de diverses façons ou bien le réel liquide est versé du four métallurgique dans des poches,- ou bien on le transporte dans le creuset même qui a servi à sa fusion.

Ce dernier cas correspond à la fusion de petites quantités de métal.



FigureI-8: poche de coulée

I-7-12 Refroidissement :

. Dans la métallurgie, est couramment utilisé ce processus et qui augmentent la dureté de l'acier par conversion de la structure interne de la matière solide dans le processus de Almartinsat, et dans cette phase acier devrait refroidi très rapidement à travers Alaaotiktwed "point de solidification", qui est la température à laquelle il devient alors le procédé de l'austénite est stable. La température minimale Alaaotiktwed "sclérose" un lot dans le cas de l'acier d'alliage contenant des éléments tels que le nickel et le manganèse, tandis que les barrières cinétiques au processus de transformation Turi restent les mêmes. Cela contribue à l'apparition des métaux de procédé de refroidissement rapide à basse température, ce qui les rend plus facilement. Dans le cas de l'acier à haute vitesse est ajoutée élément de tungstène, qui travaille pour élever les barrières cinétiques et rend le métal semble que refroidi été supérieure à la réalité rapidement. Le refroidissement de ces alliages dans l'air lentement pour atteindre les résultats souhaités d'un grand nombre de processus de trempe des métaux.

Il peut être un refroidissement à grande vitesse empêche cristaux de forme, ce qui conduit à la production de métal amorphe ou soi-disant "verre métallique".

I-7-13 Décochage :

Dans l'industrie métallurgique, le décochage est la première opération de *démoulage* qui consiste à séparer la grappe métallique (pièce moulée + système de coulée + masselottes) du sable de moulage qui l'entoure.

C’est la première opération qui suit la coulée et, éventuellement, le temps de refroidissement qui permet au métal de se solidifier (éviter la déformation de la pièce)

I-7-14 Nettoyage des pièces coulée :

La première des opérations qui suit la coulée est le décochage. Cette opération est très simple pour les pièces petites et moyennes qui sortent facilement du moule, surtout si elles sont coulées à vert ; elle devient délicate et plique pour les grosses pièces, moulées en sable d'étuve, lorsque le moule est garni de nombreuses armatures, crochets etc..
Le sable est en effet très résistant et doit être cas à la masse. Le décochage est alors pénible et les pièces une fois décochées sont dirigées vers l'ébarbage. Là.les opérations diffèrent encore selon qu'on est en présence de petites ou de grosses pièces. Les grosses pièces sont conduites directement à leur châtier d'ébarbage» entreprises de suite et conduites par le

même personnel jusqu'à complet achèvement.
Les petites et moyennes pièces arrivent en vrac et doive être triées pour que les opérations qui les concernent puisse se faire en série. Le premier travail est donc un travail de triage.

I-7-15 Dessablage :

Le dessablage désigne l'ensemble des opérations qui ont pour but d'enlever le sable adhérent à la surface des pièces, et de vider celui qui constituait les noyaux. Les opérations sont très différentes s'il s'agit du sable adhérent à l a surface ou de celui des noyaux d'intérieur. Houssions en effet que certains noyaux eû sable extra siliceux aggloméré se débourrent très facilement» mai s que, par contre, les noyaux en sable ordinaire, en sable au crottin, en terre» durcissent fortement lors de la coulée et sont difficiles a extraire. Les armatures sont ici également, une gêne très grande.

I-7-16 Triage :

Le triage de 3 pièces est un problème d'autant plus complexe que les pièces sont d'autant plus diverses et d'autant plus petites ; il s'opère généralement à la main. Les pièces sont disposées sur une table et classées dans des boites métalliques, de plus ou moins grande capacité, qui les accompagneront dans leurs diverses manutentions. Les tables de triage peuvent être de simples tables en bois ou en fonte; quelquefois ces tables sont constituées par des grilles métalliques, dont les trous sont plus petits, que la plus petite des pièces fabriquées ; sous la grille se trouvent des trémies, dans lesquelles tombe le sable resté ad Herent aux pièces et qui s'en détache au cours du triage.

I-7-17 L'ébarbage :

le sable détaché et les noyaux débourrés il faut enlever les bavures les attaches découlés, d'évents etc..

Ce travail se fait à la lime au burin, à la meule à la scie.au chalumeau etc...
L'ébarbage à la lime est lent» mais cependant particulièrement précieux pour les petites pièces moulées à la machine."En effet, si le moulage est bien fait la pièce est propre . Le meulage toujours un peu brutal, risque de déformer une pièce ; tandis que l'ébarbage à la lime la finit proprement.

L'ébarbage au burin est excessivement courant et ne pré sente aucune particularité.
Il est encore pratiqué à la main dans un certain nombre de fonderies ne possédant pas l'air comprimé et de ce fait est fort lent. L'ébarbage 'au burin monté sur marteau pneumatique

est beaucoup plus rapide» mais est plus brutal et demande plus de soins.

L'ébarbage à la scie est pratiqué pour les alliages cuivreux et les alliages légers ; il est excessivement rapide, et lorsqu'il est bien fait est très propre.

L'ébarbage à la meule s'emploie dans tous les genres de fonderie. On distingue les meules sous divers noms suivant la façon dont elles travaillent.

Les meules sont dites ordinaires lorsqu'elles sont utilisées sur champ sur leur petit coté.

Les meules ordinaires simples; il n'y a par conséquent qu'une meule montée sur le bâti. Ces meules sont utilisées ainsi lors qu'on a d'assez grosses pièces à meuler.

I-8 le moulage :

I-8-1 Introduction :

La structure d'un moule non permanent est principalement réalisée avec des matériaux de moulage, composée d'une ou de plusieurs parties et offrant après assemblage un évidement appelé empreinte. Cette empreinte correspond à la future pièce brute, tout en tenant compte du système d'attaque, du système d'alimentation et du retrait à l'état solide. Les formes intérieures des pièces sont généralement données par des noyaux (emploi parfois de noyaux extérieurs) qui sont des éléments de moule réalisés séparément avec un outillage spécial (boîtes à noyaux). Chaque moule ne permet de couler qu'une seule pièce ou un ensemble de pièces si on a prévu plusieurs empreintes par moule. Donc, après coulée de l'alliage, cette structure est désagrégée (décochage) pour extraire la pièce brute solidaire du système de remplissage et du système de masselottage, la réalisation d'une e autre pièce conduise à la fabrication d'un autre moule.

I-8-2 Procèdes de moulage :

C'est un ensemble de phase visant à mettre enforme un matériau dans phase liquide (en fusion) En l'insérant un empreint correspondant à la forme négative de pièce désirée réalise dans un Matériau réfractaire. Le matériau conservera sa forme par transition ver sa phase solide.

Le matériau : ils sont souvent la métalliques (structure cristalline) ayant propriétés de viscosité Adaptées cependant un grosse Prat de l'activité est consacrée à la mise en forme des matières Plastiques mais les procèdes un peut différents dut fait de la viscosite du matériau.

I-8-3 Les différentes techniques de moulage :

Il est plusieurs critères pour classifier les différents procédés de moulage qui sont généralement le type de moule, le type de modèle et type de coule.

Il ya deux type de moulage :

- Moulage en moule non permanent

Mise en forme des alliages métallique dan un moule souvent en sable.

a) Moulage en sable silico-argileux
b) Moulage en carapace
c) Moulage v-proces
d) Moulage cire perdue

- Moulage en moule permanent

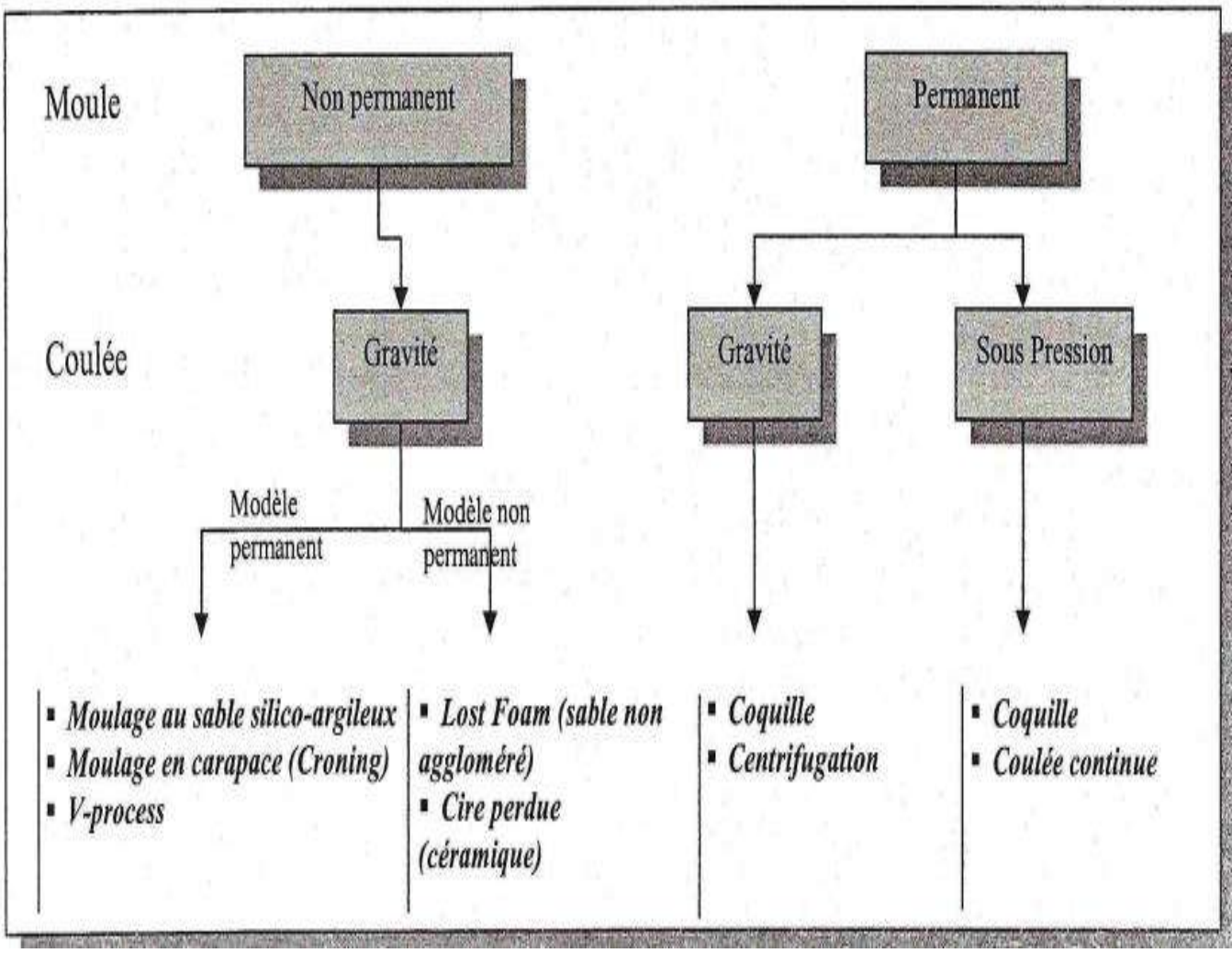


Figure 1-9 :les différents types de moulage

II-1Shéma des opérations d'élaboration de la fonte FGL 20 :

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 II-1)

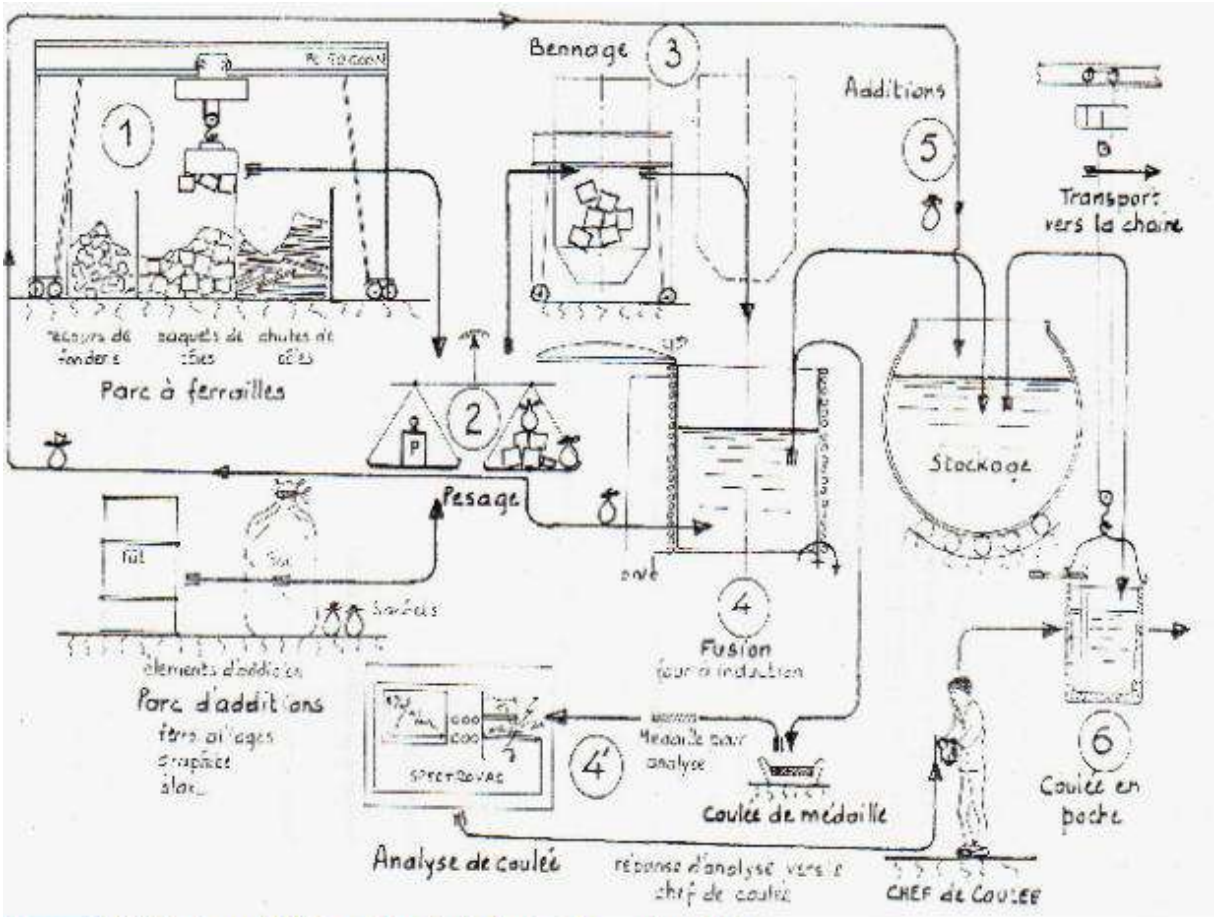


Figure 2. Opérations d'élaboration de la fonte de moulage [7]

Figure II-1 :schéma des opérations d'élaboration de la fonte

On distingue les étapes suivantes : :

1. Préparation des matières premières (ferrailles + lingot hématite+retour).
2. Pesage précis,
3. Bennage des matières enjouées 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.

II -2 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 II-2).
2- Remplissage de palettes, pesant une tonne de poids, à l'aide d'un aiment (figure II).
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 monganese par additions des quantitiées nécessaire sous forme de Graphite et du alliage Ferro-Silicuim ,ferro-monganese



Figure II-2: Photographie de parc à ferrailles



Figure II- 3: Photographie de l'aiment remplissage



FigureII-4 a: Photographie de four de fusion à indection de capacité 12T

II-3 Préparation du lit de fusion :

Les charges sont puisées dans les stocks de matières premières.

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

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

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

•Des paquets de tôles d'acier extra doux compacté.

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

l'aluminium en barre, le bismuth, le slax, le mischmétal, l'étain…

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

II-4Exemple de lit de fusion pour la fonte FGL20 :

a) Dans le four on verse environ :

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

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

Soit 1 % de ferrosilicium à 75 %

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

Soit 0.5 – 0.7 % de Fe-Si-Ba

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

II-5 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 [7].

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.

II-6 Généralités sur le four induction moyen fréquence :

Les fours électriques se sont développés en fonderie dès 1908 mais surtout depuis 1950 pour la fusion ou le maintien. Ils présentent des avantages spécifiques liés à l'utilisation de l'énergie électrique, propre, facile à mesurer et à réguler. En outre :
- les pertes au feu sont réduites et constantes,
- les risques d'oxydation et d'absorption des gaz très diminués, sauf en fours à arcs,
- l'obtention des hautes températures est plus facile, ce qui est favorable aux 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.

Un four à induction se compose principalement des éléments suivants:

A) Le creuset :

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

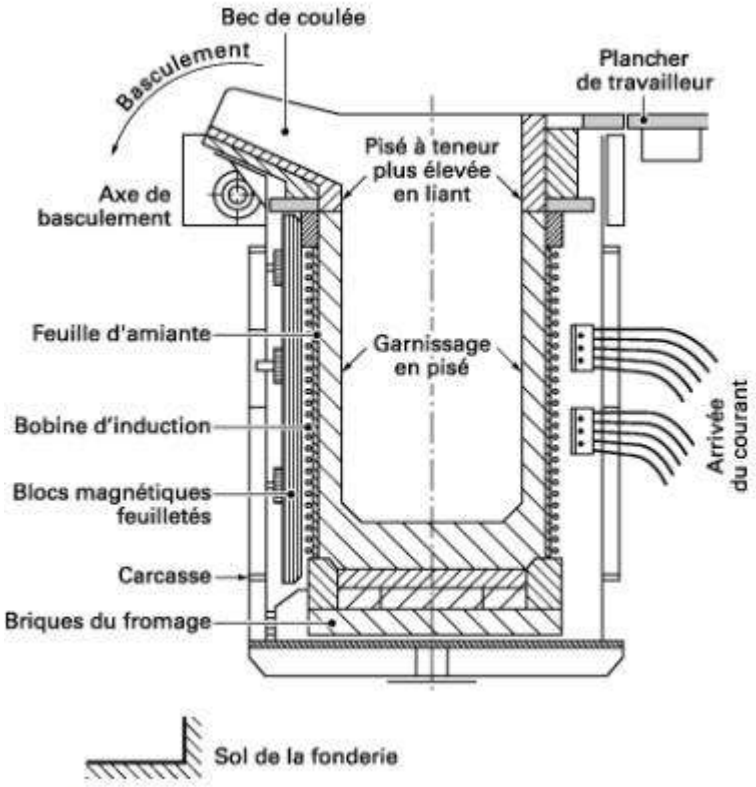


Figure 1. Four électrique à induction. Schéma type [6]

Figure II-5 : four éléctrique à induction

A) 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.

B) 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 bobinent la carcasse.

C) La carcasse

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

D) 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.

E) Equipements annexes

- Captage des fumées

Dans le cas des fours électriques à induction, les émissions de fumées polluantes sont beau coup 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.

- 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.

- 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.

F) 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

II-7 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.

A) la fonte élaborée :

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

Tableau II- 1: Composition chimique de la fonte élaborée

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

B) Le lit de fusion :

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

- Ferraille d'acier : acier récupéré
- Retour externe : fonte de récupération externe.
- Retours interne : fonte de récupérations interne (pièces rebuts, système de coulée et d'alimentation
- Hématite : lingot en fonte neuve.

Tableau II-2 : Les pourcentages des constituants de lit de fusion de la fonte élaborée

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

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

Tableau II-3: Compositions chimiques des constituants du lit de fusion

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

C) calculs de lit de fusion :

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

Tableau II-4: les pourcentages totaux de C et Si de lit de fusion

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

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

% C = 3.5 – 2.97

D'où

% C= 0.53 %

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

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

% Si = 2.4 – 1.88

D'où

% Si= 0.52 %

Le silicium sera ajouter sous forme de ferro-silicium à 75 % (contient 75% de Si) ;

100 %fer –silicium ⟶ 0.75 % de Si

0.52 % fer –silicium ⟶ X % de Si

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

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

- Le bilan est mentionné dans le tableau suivant :

Tableau II-5: le bilan total des additifs de lit de fusion

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

II-8 Moulage pour la fonte FGL 20 (POVAL) :

II-8-1 Le sable de moulage :

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

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



Figure II-6 : photos d'un moule remplir

II-8-2 Moulage :

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



Figure II-7 : L'opération de moulage mécanique (secousse et pression)

II-8-3 Serrage :

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



FigureII-8:le serrage

II-8-4 Démoulage :

C'est l'opération qu'on enlève le moule à partir d'une plaque modèle chassais



Figure II-9:L'opération de démoulage par les modelés

II-8-5 Moule inferieur :

C'est ½ moule qui contient le plus souvent le system d'alimentation (les attaques) ainsi que la chenal et la partie de remoulage (les portées)



Figure II-10 : Moule inferieur

II-8-6 Moule supérieur :

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



Figure II-11: Moule supérieur

II-8-7 System d'alimentation :

- **Entonnoir de coulée** :

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

- **Canal de descente** :

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

- **Canal transversal(chenal)** :

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

- **Canal d'arrivée(les attaques)** :

Il conduit le métal liquide directement dans l'empreinte du moule .

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

II-8-8 Les évents :

Sont de petits canaux en communication avec la pièce qui facilitent le dégagement des gaz qui remplissent le vide des moules.



Figure II-12:les évent et Canal de descente

II-8-9 Remoulage

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

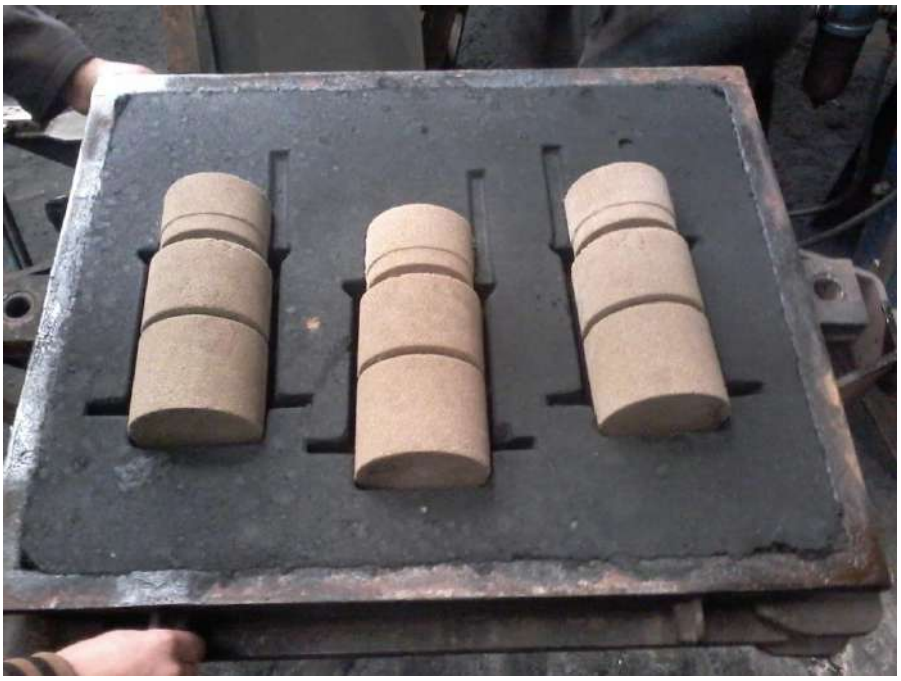


Figure II-13:remoulage

II-8-10 Fermeture de moule :

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



Figure II-14: Fermeture de moule

II-8-11 Coulée du métal :

Après la fusion de métal dans le four à T=1200 C^0 en surchauffe le métal jusqu' à 1400C^0 pour évité le refroidissement après sa coulé en poche, Après le remplissage complète de la poche de coulé en jette une quantité de slaxe pour agglomérer la crasse a fin d'éliuminer facilement.



Figure II-15: le four et l'opération de coulée

II-9Refroidissement:

Dans la science des matériaux, la trempe de métal est un refroidissement rapide du processus de travail à la pièce afin d'obtenir certaines des propriétés de la matière. Elles empêchent les processus qui se déroulent à des températures basses, telles que les transformations de phase, et en fournissant ainsi un espace de temps limité, ce qui permet d'accélérer l'achèvement de la réaction et permet une thermodynamique favorable. Par exemple, le procédé limite le degré de cristallisation, et ce, à son tour, augmente la durabilité des alliages et plastiques (produite par polymérisation processus "Alcauthrh").

Il peut être un refroidissement à grande vitesse empêche cristaux de forme, ce qui conduit à la production de métal amorphe ou soi-disant "verre métallique".

II-10 Décochage:

On commence le décochage de la pièce, seulement lorsque la température est assez basse c'est- à -dire lorsque la pièce est totalement solidifiée.

Le système de coulée et éventuellement la masselotte sont séparés de la pièce a l'aide d'un marteau sans détérioration

II-11 Le dessablage :

L'opération de dessablage est nécessaire, afin de débarrasser la pièce du sable qui adhère a ses surfaces. Au contact du sable froid, le métal se refroidit rapidement et sa surface extérieure est enrobée de grains de sable, on procède le plus souvent par décalaminage par sable (choc au sable silicieux bien sec) ou grenaillage par acier projeté au moyen d'un jet d'air comprimé. . , ,

Le sable provenant du décochage et du dessablage est tamisé, régénère ensuite réutilisé.

II-12 Aptitude au débourrage :

L'aptitude au débourrage est caractérisée par la désagrégation, plus ou moins facile, des noyaux après la coulée des pièces. La tenue à chaud des agglomérant doit être suffisante pour garantir la solidification correcte des pièces. Puis, sous l'action des calories libérées, l'agglomérant est détruit, plus ou moins profondément, à partir de l'interface métal moule.

Une destruction profonde assurera un débourrage aisé, tandis que, si elle est superficielle, la résistance mécanique initiale des noyaux sera peu altérée et ils seront difficiles à extraire de la pièce.



Figure II-16:opération de débourrage

II-13 L'ébarbage :

Enlèvement des parties supplémentaires de métal : bavures, jets de coulée, etc.… à l'aide de burin manuel, pneumatique, de meule à découper, etc.…

III-1 -Contrôle de la pièce moyeu de roue :

III-1-1 Contrôle de structure :

A) Essai de dureté BRINELL :

L'essai de dureté Brinell est celui que l'on effectuée le plus couramment dans le cas de la fonte , car l'empreinte produit est suffisamment pour établir une moyenne entre les divers constituants des structures hétérogènes tels que le graphite et la perlite qui présentent des duretés très différentes avec un petit pénétrateur tel que celui utilise pour l'essai de Rockwell il convient d' effectuer un certain nombre de lectures et d'en faire la moyenne.

La conversion des valeurs obtenues et d'un type d'essai de dureté à l'autre est utile mais elle n'affait pas une précision sure car la plupart des tables de conversion ont été établies pour les aciers.

- **Principe de l'essai :**

L'essai Brinell utilise comme poinçon une bille en acier trempé ou en carbure de tungstène de 10 mm de diamètre (D). La pression est maintenue pendant 15 à 30 s selon le métal. On applique une charge (F) de 500 ou 3000 kgf. On mesure le diamètre (d) de l'empreinte en millimètres.

$$HB = \frac{2F}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})}$$

On doit l'essai Brinell à l'ingénieur métallurgiste suédois Johan Brinell (1849 - 1925). Il s'applique aux métaux "peu durs". La norme Brinell de dureté a été éditée dès 1924.

- **Essai de dureté à réaliser au niveau de POVAL :**

Contrôle par Essai de dureté HB pour quatre pièces de moyeu de roue :

Tableau III – 1 : les résultats de l'essai de dureté pour les quatre pièces

Pièce	HB	Norme	Observation
1	321	Dureté-180-220BH	Dureté non conforme à la norme défaut de variation
2	269		
3	269		
4	160		

B) Essai de traction :

En réalité il y a trois type de courbes de traction, qui correspondent à trois comportement possibles des matériaux, Pour notre échantillon le comportement en traction est fragile caractérise par une courbe de traction se limitant à une droite. Où la fonte grise ne présentant pas de domaine plastique, la rupture se produit alors que les déformations sont élastiques.

- **Résistance à la traction :**

  On a : Rm (MPa) = F (N)/S (mm^2)

  F : la force appliquée est affiché sur la machine de traction.

  Cette valeur est déchiffrée comme suivant :

  Chaque valeur de 1 correspondante à 10 graduations et entre chaque graduation et autre on a u chiffre de 100. Dans notre cas on a enregistrées une valeur de 6.4 qui est équivalente à 6400Kgf.

  $S = \pi r2 = 314\ mm^2$

  Avec un diamètre de l'éprouvette = 20 mm

  Donc Rm = 6.4 Kgf/ 314 mm^2

  Rm = 20.4 da N/mm^2

III-1-2 Contrôle d'analyse chimique des pièces moyeu roue :

Date 03/11/2016 moyeu de roue (CMA)

Tableau III-2 :Métallographique pour trois pièces.

La 1er pièce	**La 2ème pièce**	**La 3ème pièce**
Cote externe : Graphite fin plages de cémentite plages de perlite.	Cote externe : Graphite cémentite dans le matrice + perlite	Cote externe : Graphite fin Cémentite dans la matrice
Cote interne : Structure :graphite en rosettes+mousse de graphite carbure, la dimension de la mêles de 40à125mm. Matrice perlitique Peu d'eutectique phosphorique	Cote interne : Structure : matrice perlitique avec graphite en dimension la mailles de graphite est de 40 à 125 mm, peu d' eutectique de phosphore	Cote interne : Graphite en rosette La mailes de 25 à 40 mm Peu d'eutectique de phosphore

Tableau III-3 : analyse chimique de la première pièce

Elément	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**
Pourcentage %	3.46	2. 29	0.49	0.15	0.99

Tableau III-4 : analyse chimique de la deuxième pièce

Elément	C	Si	Mn	P	S
Pourcentage %	3.44	2. 31	0.48	0.14	0.99

Tableau III-5 : analyse chimique de la troisième pièce :

Elément	**C**	**Si**	**Mn**	**P**	**S**
Pourcentage %	3.47	2. 25	0.50	0.15	0.99

III – 2 Contrôle de matière de sable :

Les résultats d'analyse de sable prélève à laboratoire de fonderie(POVAL)

Tableau III-6 : analyse de sable **:**

Date	**Arrivée départ**	**Essai objet**	**Comp Kgf/ mm^2**	**Cis Kgf/ mm^2**	**plast**	**pem**	**%H2O**	**%C**	**BENT**
10/11/2016	**12 :22 13 :50**	**Premier essai 156 g -04-**	**1.17**	**0.25**	**0.21**	**90**	**5.42**	**2.99**	**8**
15/11/2016	**11 :12 12 :08**	**Premier essai 135g -04-**	**1.20**	**0.24**	**0.20**	**100**	**5.56**	**2.82**	**7.30**
03/01/2016	**17 :30 19 :25**	**Premier essai 15516g -04-**	**1.35**	**0.4**	**0.25**	**93**	**5.25**	**3.22**	**9.80**
03/01/2016	**15 :50 17 :08**	**Premier Essai 151g -04-**	**1.45**	**0.36**	**0.25**	**123**	**5.60**	**3.15**	**10.50**

III -3 Norme suivent pour fabrication des moyeu de roue :

III-3-1 Norme chimique et mécanique de la pièce FGL20 :

- **Certificat de conformité et de garantie** :

Norme : NF A32-102

Tableau III-7 : Propriétés physico-chimique de la FGL 20

Analyse chimique	Analyse métallographique	Analyse physique	Nuance
%C : 3.2-3.6 %Si : 1.8-2.3 %Mn : <0.45 %P :<0.2 %S :<0.02	Ferrito-perlitique	Dureté :180-220 HB Résistance à la traction=20daN /cm^2	FGL 20

III-3-2 Norme de sable prépare pour FGL20 :

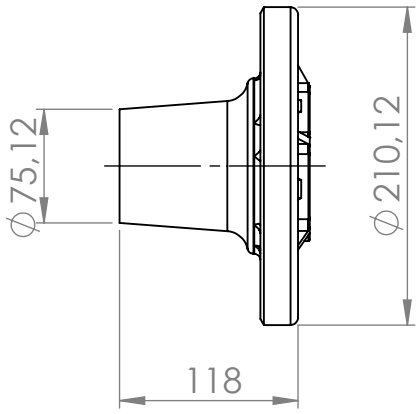
- **Composition chimique :**

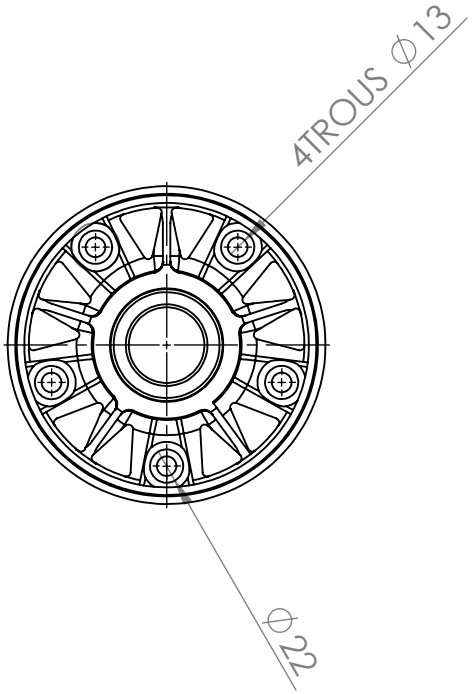
Le sable neuf quartzeux doit correspondre aux exigences suivantes :

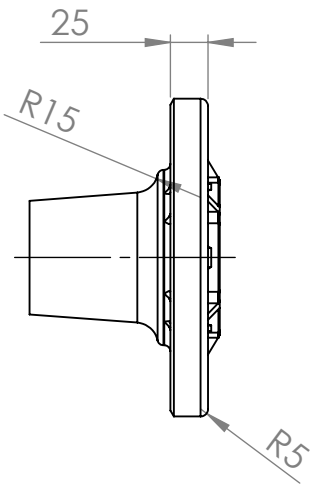
$\%SiO_2$	mini98%
%CaO+ %MgO	0.5-1% au maxi
$\%K_2O+\%Na_2O$	0.1-0.5% au maxi
$\%Fe_2O_3+\%Al_2O_3$	0.5% au maxi

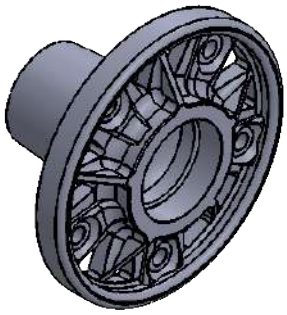
Tableau III-8 :Norme internationale pour sable de moulage fonte.

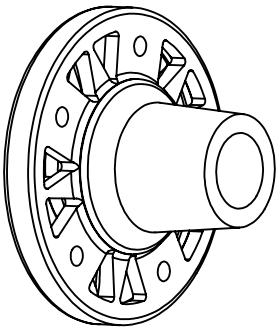
Caractéristiques	Normes
Humidité en %	*3.5 ---- 4.0*
Bentonite en %	*9 ---- 14*
Carbone en %	*3.5 - 4.5*
SiO_2 en %	*>= 97*
Fe_2O_3/Al_2O_3 en %	*<= 1*
CaO/MgO en %	*<= 2*
Résistance à la compression (kgf/mm^2).	*0.9 ---- 1.2*
Résistance au cisaillement (KgF/mm^2).	*0.19 ---- 0.26*
Perméabilité (Unité).	*100 ---- 180*
Degré de régularité.	*>= 65*
Diamètre moyen (mm).	*0.17 ---- 0.25*
Perte au feu (%).	*<= 1*
Sable pur (%).	*>= 96*
Matière en suspension (%).	*<= 2*











SAUF INDICATION CONTRAIRE: LES COTES SONT EN MILLIMETRES ETAT DE SURFACE: TOLERANCES: LINEAIRES: ANGULAIRES:	FINITION:		CASSER LES ANGLES VIFS	NE PAS CHANGER L'ECHELLE	REVISION		
	NOM	SIGNATURE	DATE			TITRE:	
AUTEUR							
VERIF.							
APPR.							
FAB.							
QUAL.				MATERIAU:		No. DE PLAN	A4
						moyeux	
				MASSE:		ECHELLE:1:5	FEUILLE 1 SUR 1

IV-1 procédé de traitement thermique de pièce FGL20 à POVAL :

- **Le recuit d'adoucissement complet** : (le traitement effectuée à notre étude)

Le recuit d'adoucissement complet est un traitement thermique qui adoucit une fonte ou un acier par un refroidissement lent à la traversée de l'intervalle de transformation austénite-ferrite. Le phénomène qui provoque l'adoucissement d'une fonte est particulier : la teneur en carbone de la matrice peut être réduite à réduite à une valeur très faible voisine de zéro par un refroidissement lent, de sort que, seuls de la silicium contenu dans la fonte qui provoque la précipitation du carbone sous forme de graphite.

- **Objectif :**

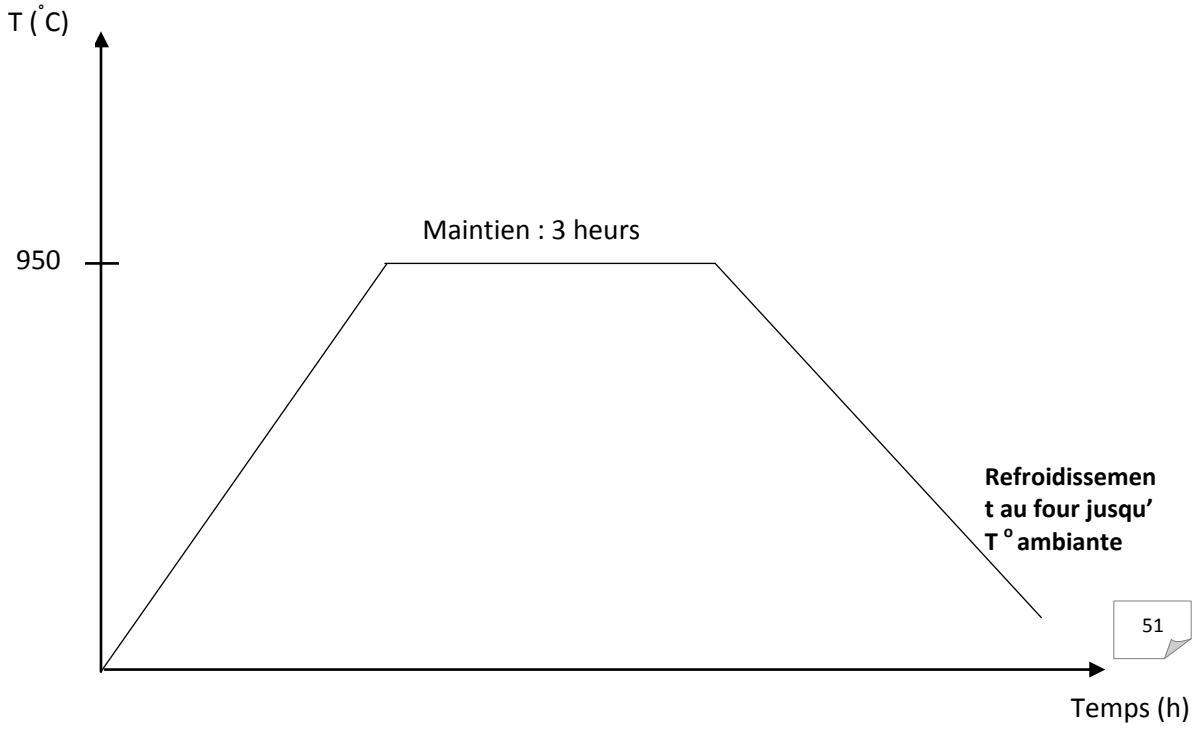
Elimination des carbures massifs dans les fontes truitées ou trempées et transformation De perlite afin d'obtenir une usinabilité maximale.

- température : 900à 950C^0

- vitesse de refroidissement : refroidissement au four jusqu'à 315 C^0 .Refroidissement à l'air de 315 C^0 jusqu'à la température ambiante.

- Apres les essais effectués au laboratoire et suivant la courbe de traitement thermique (maintien des pièces à la t° de 950C° pendant 3 h puis refroidissement au four jusqu'à Température ambiante)

. **La courbe de traitement thermique**



Nous avons constater que la dureté a diminuer et les pièces sont usinables .Pour les pièces traitées à 950 °C pendant 3h et posées sur le grande diamètre vers le bas on constaté que le fond de la pièce et petit diamètre sont usinables alors que grand diamètre est difficile usiner.

IV-2 Résultats après traitement thermique de moyeu de roue :

Date : 08/11/2016 moyeu de roue (CMA) quater pièce.

Métallographique :

NB : manque des photos parce que le microscope est en panne.

-Cote externe :

Structure :matrice ferritique+graphite.

1) Graphite fin au cœur
2) Pende de graphite dans la paroi
3) Matrice :ferritique avec peu de cémentite nom transforme.

-Cote interne :

1) Graphite en rosette
2) Dimension des mailles est de 25à40mm
3) Matrice non homogène perlite ferrito- perlitique.

-Contrôle de la dureté avant et après traitement thermique $HB5/_{750}$:

1) Avant le T- thermique :

EXTERENE	ENTERNE
263	217
269	211
PAROIE 226-222	

2) Apres le T-thermique :

EXTERENE	ENTERNE
217	202
224	198
224	200

IV-3 Contrôle de système d'alimentation :

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 ;

IV-4 Calculer de système d'alimentation :

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

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

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.1).

Tableau IV-1 :le coefficient, en fonction de l'épaisseur des parois de la pièce

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 :

$\boldsymbol{Gpc = Gp + Gs}$, 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 :

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

La charge motrice du métal, en (cm).

<u>Déterminer Hm par la formule suivant :</u>

$\boldsymbol{Hm = Hdc - \frac{hs^2}{2xhpc}}$, (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) ;

<u>La coulée en chute :</u>

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

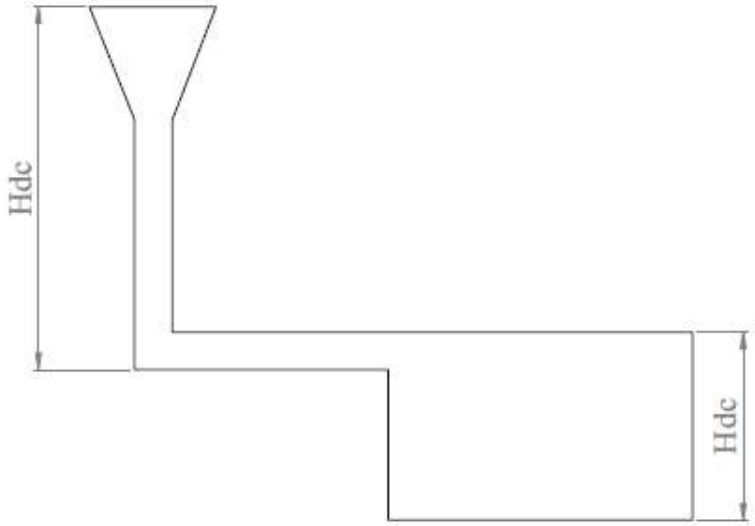
<u>La coulée en source :</u>

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

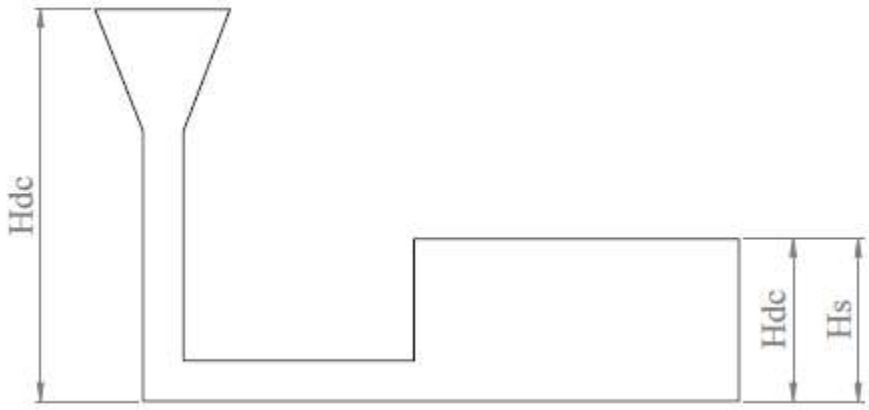
Tableau IV-2 : Echelonnement des systèmes

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	$1 ; \sqrt{H_i} ; \sqrt{H_i}$	

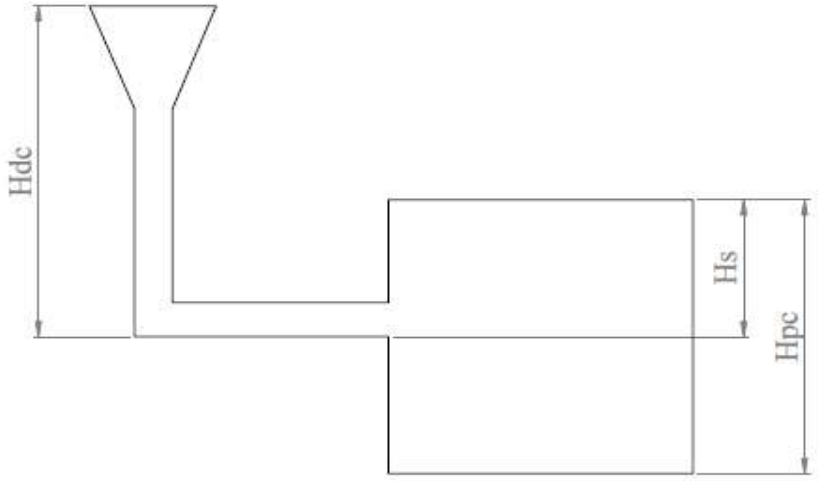
EN CHUTE :



EN SOURCE :



LATERALE :



IV-5 Calcul des systèmes de coulée pour des pièces coulées on fonte jusqu'à 1000kg de masse :

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

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

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 3) :

Tableau IV-3 : 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

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 :

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

S : le coefficient qui dépond de l'épaisseur des parois de la pièce (tableau 4).

Tableau IV-4 : le coefficient S qui dépond de l'épaisseur des parois de la pièce …

E	**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 :

$\boldsymbol{\tau = S_1\sqrt[3]{\delta.Gpc}}$, (Sec)…….(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 5).

Tableau IV-5 : le coefficient**S_1** qui dépond de l'épaisseur des parois de la pièce

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

A) Calcules de système d'alimentation de Ancien châssis :

Il faut calculer les dimensions du système de coulée pour la pièce coulée en fonte «moyeu de roue» de 6kg de masse nette .On produit 2 pièces dans un moule. Les dimensions des châssis (630x500x200mm).

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}=6+0.1x2=6.2kg.

a) Déterminons la section des attaques pour une seule pièce d'après la méthode d'OZANNE (formule), parce que G_{pc}=6.2

b) kg. D'abord, la valeur de l'Hm (fomule) :

$\boldsymbol{Hdc = hch.sup + hr}$=20+0=20cm

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

h_r : la hauteur de la rehausse ;

h_{pc}=12.7cm ; h_s=$\frac{1}{2}$x12.7=6.35cm

$$\mathbf{Hm = 200 - \frac{127^2}{140x2} = 14.23cm}$$

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 10mm s=2.2 ; dans ce cas :

$$\boldsymbol{\tau = 2,2x\sqrt{6.6} = 5,6sec}$$

Ainsi :

$$\boldsymbol{Sa = 4.3\frac{\sqrt{6.6}}{\sqrt{14.23}} = 2.92cm^2}$$

c) La section totale des attaques dans le moule $\sum Sa$ (formule 9) :

$$\boldsymbol{\sum Sa = 2.92x2 = 5.84cm^2}$$

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

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

$$\boldsymbol{\sum Sch = 5.84x1,1 = 6.42cm^2}$$

$$\boldsymbol{\sum Sdc = 6.42x1,15 = 7.38cm^2}$$

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 :

$$\boldsymbol{Sa1 = \frac{Sa}{na} = \frac{2.92}{2} = 1.46cm^2}$$

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 :

$$\boldsymbol{ha = \frac{Sa1}{Ba} = \frac{1.46}{2} = 1cm = 10mm.}$$

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 :

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

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

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

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

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

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

$$\boldsymbol{ddc = \sqrt{\frac{6xSdc}{\pi}} = \sqrt{\frac{6x14.31}{3,14}} = 5,22cm}$$

B) Cas estimé :

A partir de la cout élevé ou bien(non rentable) de traitement thermique on obliges d'éliminer cette proposition et bas sur le changement des démentions de châssis(moule).

Nouveau moule:

Pour garde la chaleur dans le moule le plus longtemps possible, ce qui consiste à la diminutions de la vitesse de refroidissement de la pièce moyeu de roue, ce qui aboutit automatiquement à la diminutions de la dureté ,on à transféré le moulage de la pièce de la machine de moulage secousse et pression sont la démentions de châssis est(630x500x200)à la grande machine de moulage haut pression sont la dimensions de châssis est (1000x1000x400).

Il faut calculer les dimensions du système de coulée pour la pièce coulée en fonte «moyeu de roue» de 6kg de masse nette .On produit 6 pièces dans un moule. Les dimensions des châssis (1000x1000x400mm).

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}=6+0.1x6=6.6kg.

e) Déterminons la section des attaques pour une seule pièce d'après la méthode d'OZANNE (formule), parce que G_{pc}=6.6kg. D'abord, la valeur de l'Hm (formule) :

$\boldsymbol{Hdc = hch.sup + hr}$=40+0=40cm

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

h_r : la hauteur de la rehausse ;

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

$$\mathbf{Hm = 400 - \frac{127^2}{140x2} = 34.23cm}$$

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 10mm s=2.2 ; dans ce cas :

$$\boldsymbol{\tau = 2,2x\sqrt{6.6} = 5,6sec}$$

Ainsi :

$$\boldsymbol{Sa = 4.3\frac{\sqrt{6.6}}{\sqrt{34.24}} = 1.88cm^2}$$

f) La section totale des attaques dans le moule $\sum Sa$ (formule 9) :

$$\boldsymbol{\sum Sa = 1.88x6 = 11.32cm^2}$$

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

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

$$\boldsymbol{\sum Sch = 11.32x1,1 = 12.45cm^2}$$

$$\boldsymbol{\sum Sdc = 12.45x1,15 = 14.31cm^2}$$

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

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

La section d'une attaque :

$$\boldsymbol{Sa1 = \frac{Sa}{na} = \frac{1.88}{6} = 0.31cm^2}$$

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 :

$$\boldsymbol{ha = \frac{Sa1}{Ba} = \frac{0.31}{6} = 1cm = 10mm.}$$

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 :

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

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

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

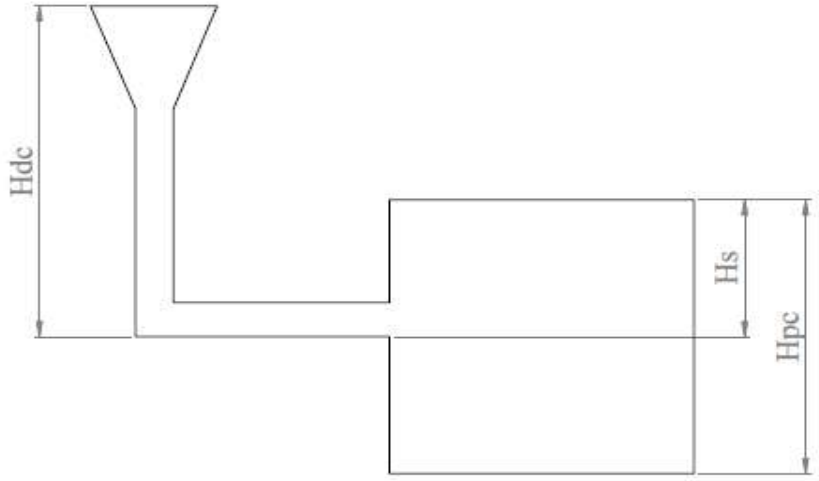
$$\boldsymbol{Bch = \sqrt{\frac{11,9}{1,2}} = 3,1cm = 31mm.}$$

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

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

$$\boldsymbol{ddc = \sqrt{\frac{6xSdc}{\pi}} = \sqrt{\frac{6x14.31}{3,14}} = 5,22cm}$$

LATERALE :



IV-6 Calculer le temps de refroidissement :

A) Pour l'ancien châssis :

Ts= (V/A)^2 ; tel que :

Ts : le temps de refroidissement.

V : volume de bloc.

A : l'aire de bloc

V= volume de pièce + volume de système d'alimentation.

D=m pièce/ V Pièce

Donc V pièce = m/D

D : la densité.

m : la masse de pièce.

V : volume de pièce.

AN :

D =7.80 Kg/m^3 m=6Kg V= ?

Donc : V=m/D = 6/7.80=833.33mm^3

Volume de système d'alimentation :

V= (22.5)^2*3.14*200+(10*7)*250+(7*4)*10=3.3*10^5 mm^3

Volume de bloc = volume de pièce + volume de système d'alimentation

A= ((103.5-37.5)^2*3.14)-((16)^2*3.14)-((4*4.5)/2)= 13677.84-806.90=12870.94 mm^3

Donc Ts=(2*3.3*10^5+833.33)^2/(12870.94*2)^2=45min

B) Pour nouveau châssis :

Ts= $(V/A)^2$; tel que :

Ts : le temps de refroidissement.

V : volume de bloc.

A : l'aire de bloc

V= volume de pièce + volume de système d'alimentation.

D=m pièce/ V Pièce

Donc Vpièce = M/D

D : la densité.

m : la masse de pièce.

V : volume de pièce.

AN :

D =7.80 Kg/mm m=6Kg V= ?

Donc : $V=m/D = 6/7.2=833.33mm^3$

Volume de système d'alimentation :

$V=(22.5)^2*3.14*400+(20*30)*600+(10*20)*30=1.01*10^6\ mm^3$

Volume de bloc = volume de pièce + volume de système d'alimentation

$=3.67*10^5+0.67=4.34*10^5$

$A=((103.5-37.5)^2*3.14)-((16)^2*3.14)-((4*4.5)/2)= 13677.84-806.90=12870.94\ mm^3$

Donc $Ts=6(833.33+1.01*106)^2 /6(12870.94)^2$=1h et 45

On conclu que la vitesse de refroidissement de nouveau moule long para port à la vitesse de refroidissement de ancien moule.

Conclusion :

Ce travail porte sur le problème de dureté sur moyeu de roue qui fabriqué par le moulage de la fonte FGL20.

Le déroulement de ce travail consiste principalement dans un premiers temps à suivre les étapes d'élaboration de la fonte puis le moulage des pièces au niveau de POVAL, Dans un second temps la caractérisation mécanique pour déterminer la résistance à la traction et la dureté ont été effectuées. Aussi le contrôle de sable et des analyses chimiques et métallographiques sont réalises finalement l'étude des certificats de conformités et de garanties a été achevée afin de comparer tous les paramètres obtenue comme résultats avec les exigences des normes.

A fin d'arriver de résoudre la problématique de cette étude, on a exécuté un recuit d'adoucissement complet de la fonte FGL 20 comme traitement thermique (maintien des pièces à la température de 950°C pendant 3 h puis refroidissement au four jusqu'à Température ambiante).

Nous avons constater que la dureté a diminuer mais on a une difficulté d'usinage pour les grand diamètres, partie extérieur de la pièce.

pour cela et à partir le cout élève de traitement thermique on a obligés d'éliminer cette proposition et basé sur le changement des dimensions de châssis.

Cette changement nous exiges de recalculer tous les paramètres de système de coulé.