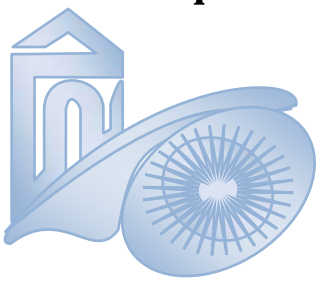
République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique



Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie de la matière

MÉMOIRE DE MASTER

Option : Science des Matériaux

THÈME

Les principaux défauts de fonderie de fonte grise lamellaire (Causes et Remèdes)

Proposé et dirigé par :

- **Dr : MOHRI Abd el Nour**

présentés par :

- **KEBAL Maamar**
- **HAMZI Abd el Kader**

Promotion 2013-2014

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions « ***ALLAH »*** **,** notre créateur et maitre de l'univers de toutes ses bontés, d'avoir envoyer à nous le prophète « **MOHAMED »** qui est notre premier éducateur puis de nous avoir donné tout, du courage pour finir ce travail de recherche.

Nous tenons à remercier chaleureusement et particulièrement notre Promoteur **MOHRI**, qui nous a guidés avec grande patience tout au long de l'élaboration de ce travail et pour ses aides précieuses qui ont judicieusement éclairé notre chemin vers l'aboutissement et la réussite de la concrétisation de notre mémoire.

Nous tenons à remercier particulièrement, à travers ces quelques lignes, toute nous gratitude et nous profond respect à **Mr ZIRARI** et **Mr BACHEN** pour son suivi et aide

Nous vives remerciement aux membres du jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nous remerciements fidèles et reconnaissants rejoignent à tous ceux qui de prêt ou de loin, en répondant volontiers à nos questions, voir nos tracasseries nous ont aidés à l'élaboration de ce document.

Nous vives remerciement à nos chers parents qui rêvaient de nous voire le pied à l'étrier sans oublier nos collègues qui par leur suggestions et leur attitude à la fois pleine d'humour et de sérieux ont énormément facilite notre travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi

Mon père.

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de Mon cœur, ma vie et mon bonheur, ***maman*** *que j'adore.*

Pour mes chers frères : ***Billel Mohamed, Hamza..***

Pour mes chérs sœur : ***Dalila***

Pour mes très chers familles : ***KEBAL. DOUI.***

Pour mes très chers amis :

Dahman. hamzi . Khadra . Mohamed. Koula.Brahimi. Kemal.

Youcef .

Et pour toute les étudient du ***SDM*** *et* ***ENERGETIQUE***

2013-2014

MAAMAR

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde dans son vaste paradis, à toi ***Mon père****.*

A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de Mon cœur, ma vie et mon bonheur, ***maman*** *que j'adore.*

Pour mes chers frères

et

Pour mes chérs sœur

*Pour mes très chers familles :***hamzi.**

Pour mes très chers amis :

Dahman . hamzi . Khadra . Mohamed. Koula . Brahimi.

Et pour toute les étudient du ***SDM*** *et* ***ENERGETIQUE***

2013-2014

Abd el kader

Résumé :

L’objet du présent du travail est d'apporter une contribution à l`élévation constante du niveau de la qualité en fonderie de fonte grise à graphite lamellaire. A cet effet, il doit facilites la suppression des défauts et pour cela, les faire mieux connaitre, en recherches les cause possible et propose les remèdes ou les mesures propres à leur élimination. Pour chaque défaut caractérisé on donne (une liste de causes possibles et une liste de remèdes).

Mots clés : fonte grise lamellaire, défaut de fonderie.

ملخص:

موضوع هذا العمل هو المساهمة في ارتفاع `ثابت جودة مستوى الحديد الرمادي مسبك رقائقي الجرافيت. تحقيقا لهذه الغاية، يجب أن المنشات إزالة العيوب ولهذا، لمعرفة أفضل في الأسباب المحتملة البحوث والعلاجات المقترحة أو تدابير للقضاء عليها.و لكل عيب تتميز معينة (قائمة الأسباب المحتملة وقائمة العلاجات).

الكلمات الرئيسية : الحديد الزهر الرمادي، وعيوب الصب

Summary:

the subject of this work is to contribute to the `constant elevation level quality gray iron foundry lamellar graphite. To this end, it must facilites removing defects and that, to know better in the research possible causes and proposed remedies or measures for their elimination. For each defect characterized given (a list of possible causes and a list of remedies).

Keywords: gray cast iron. casting défets.

Liste de figure

Chapitre I

Fontes Grise Lamellaires

Figure I-1 : diagramme d'équilibre.....3

Figure I-2 : Refroidissement rapidement.....4

Figure I-3 : Refroidissement lent.....4

Figure I-4 : Mécanisme de cristallisation du graphite Lamellaire dans le liquide eutectique.....5

Figure I-5: Courbes K= Constante limitant les zones structurales dans les fontes ordinaires pour des éprouvettes cylindriques de 30 (mm) de diamètre coulée dans du sable.....7

Figure I.-6 : Diagramme [de la microstructure en fonction de la vitesse de refroidissement.....8

Figure I-6' **:** Structures types de pièces où la vitesse de refroidissement varie considérablement depuis la surface (coulée par exemple contre refroidisseur) jusqu'au centre.....9

Figure I-7 : Classification du graphite lamellaire en fonction de sa taille et sa distribution selon la norme ASTM-A-247.....11

Figure I-5 : Répartition du graphite : effet d'entaille.....12

Chapitre II

Elaboration de Fonte (FGL)

Figure II-1 : four à induction.....15

Figure II-2: Abaque permettant de calculer la résistance à la traction d'un élément de pièce moulée, connaissant sa dureté, ainsi que la résistance et la dureté d'une pièce ou éprouvette de la même fonte, servant de référence.....19

Chapitre III

Moulage de Fonte (FGL)

Figure III -1: Moulage en moule non permanent.....22

Figure III-4: Schéma de la fabrication de pièces de fonderie.....25

Liste de figure

Chapitre IV

Défaut de fonderie fonte grise lamellaire

Figure V-1 : bavure.....26

Figure V-2: Gales.....27

Figure IV-3 : Gales d'angle.....28

Figure IV-4 : Gerce d'angle.....29

Figure IV-6 : Soulèvement de moule.....29

Figure IV-7 : Moule fondu.....31

Figure VI-8 : Chute de sable.....32

Figure IV-9 : Retassure.....35

Figure V-10: Reprise.....36

Figure V-11 : Déformation.....37

Figure V-12 : Variation.....38

Figure V-13: Bulle.....39

Figure V-14 : non venue.....40

Figure IV-15 : Manque.....41

Figure IV-16 : point dure.....42

Figure IV-17 : inclusion de sable.....43

Figure IV-18 : La dureté.....43

Figure V-19 : Défaut moule.....44

Chapitre V

Défaut d'un Compagne en Fonte Grise Lamellaire (POVAL)

Figure V-1 : Quantité rebut.....47

Figure V-2 : Les défauts d'une compagne.....47

Figure V-3 : les types des roues de pompe.....48

Figure V-4 : méthode de coulée échantillons.....52

Figure V-5: Abaque permettant de calculer la résistance à la traction d'un élément de pièce moulée, connaissant sa dureté, ainsi que la résistance et la dureté d'une pièce ou éprouvette de la même fonte, servant de référence.....55

Liste de figure

Figure V-6 : Microscope utilisé pour l'étude métallographique.....56
Figure V-7 : la coulée.....57
Figure V-8 : le modelage 60
Figure V-9 : noyaux de la roue.....61
Figure V-10 : les châssis.....62
Figure V-11 : La mise en place des modèles de bois.....63
Figure V-12 : nettoyage.....66
Figure V-13 : la mise en place des crochets ainsi que des d'évents et de coulée.....67
Figure V-14 : jet de coulée.....68
Figure V-15 : L'enlèvement des modèles de bois de la partie supérieure du moule de sable.....69
Figure V-16 : La pose des corps ou prunes dans les espaces prévus à cet effet.....69
Figure V-17 : la partie supérieure du moule.....70
Figure V-8 : bavure.....72
Figure V-9: Gales.....73
Figure V-10: Reprise.....74
Figure V-11 : Déformation.....74
Figure V-12: Variation.....75
Figure V-13: Bulle.....76
Figure V-14 : non venue.....76
Figure V-15 : Def moule.....77

Liste des tableaux

Chapitre II

Elaboration de Fonte (FGL)

Tableau II- 1 : L'analyse chimique de cette fonte.....18

Chapitre III

Moulage de Fonte (FGL)

Tableau III-2 : humidité.....23

Tableau III-3 : essais de perméabilité, compression et cisaillement.....24

Chapitre V

Défaut d'un Compagne en Fonte Grise Lamellaire (POVAL)

Tableau V-1 : Contrôle de qualité de la compagne.....46

Tableau V-2: les pièces par défaut.....46

Tableau V-3 : lit de fusion FGL.....50

Tableau V-4 : analyse chimique et mécanique.....56

Tableau V-5 : Humidité.....59

Tableau V-6 : essais de perméabilité, compression et cisaillement.....60

Tableau V-8 : classification des défauts et des causes.....83

Abréviation

FGL	:	fonte grise à graphite lamellaire
Fe	:	Fer
C	:	Carbone
Si	:	Silicium
P	:	Phosphore
S	:	Soufre
Ti	:	Titan
Cu	:	Cuvier
Ni	:	Nickel
Cr	:	Chrome
Mo	:	Molybdène
Pb	:	Plumb
Co	:	Oxydes
Céq	:	Carbone équivalant
Ct	:	Carbone total
Sc	:	L'indice de saturation
K	:	Coefficient de graphitisation
HB	:	La dureté du BAINELL
Rm	:	Résistance maximal
Rr	:	Résistance de la rupture
Re	:	Limite élastique
P	:	La charge
F	:	la force
S	:	La surface
D	:	Diamètre de bille
d	:	Diamètre d'empreinte
Tc	:	Température de fusion de carbone

Abréviation

Tf	:	Température de fusion de fonte
Ts	:	Température de solidification
H	:	Humidité
V	:	Perméabilité

Sommaire

Introduction générale ……..……1

- Etude Bibliographique

Chapitre I
Fontes Grise Lamellaires

I.1 INTRODUCTION.....3

I.3 MECANISME DE FORMATION DES LAMELLES.....5

I .3.1 FACTEURS DETERMINATION A STRUCTURE.....5

I.3.1.1 INFLUENCE DE COMPOSITION D'ELABORATION.....5

I.3.1.2 INFLUENCE DE COMPOSITION CHIMIQUE.....6

I .3.1.3 INFLUENCE DES CONDITIONS DE REFROIDISSEMENT.....8

I.4 PROPRIETES STRUCTEURALES DE LA FONTE.....9

I.4.1 LA MATRICE.....9

I.4.2. MORPHOLOGIE DU GRAPHITE.....10

I.5 PROPRIETES MECANIQUE DES FONTES.....11

I.5.1 RESISTANCE MECANIQUE DEF FONTE 12

I.5.2 DURETE LES FONTE.....12

I.2 APPLICATION DE FONTE (FGL).....13

Chapitre II
Elaboration de Fonte (FGL)

II.1 APPAREILS DE FUSION.....14

II.1.2 LE FOUR A INDUCTION.....14

1. Le creuset.....15
2. L'inducteur.....14
3. Les écrans magnétiques /ou culasses.....15
4. La carcasse.....16
5. Le couvercle.....16

Sommaire

6. Equipements annexes.....16
7. Installation de puissance électrique.....17
II.2 PREPARATION DE LIT DE FUSION.....17
II.3 ANALYSE CHIMIQUE DE LA FONTE.....18
II.4 METHODES EXPEIMENTALES.....18
II.4.1 ESSAIS MECANIQUE.....18
II.4.1.1 ESSAI DE TRACTION.....19
II.4.1.2 ESSIA DE DURETE.....20
II.4.1.2 ESSAI BRINELL.....20
II.4.2 MICROGRAPHIE.....20

Chapitre III

Moulage de Fonte (FGL)

III. MOULAGE DE FONTE (FGL).....21
III.1 AUTRES PROPRETES ET PRINCIPALESUTILISATION DES FONTE.....21
III.2 MOULAGE EN MOULE NON PERMANATE.....21
III.2.1 MOULAGE EN SABLE A VERT.....22
III.2.1.1 LE MOULAGE A VERT A LA MAIN.....23
III.2.1.1.1 MATERIAU DE MOULAGE.....23
III2.1.1.2 ANALYSE DE SABLE.....23
1) Humidité.....23
2) Essais de perméabilité, compression et cisaillement.....24
III.3 MODLAGE.....24
III.4 NOYAUTAGE.....24

Chapitre IV

Défaut de Fonte Grise Lamellaire

IV. Introduction.....26
IV.1 BAVURE.....26

Sommaire

IV.2 GALES.....27
IV.3 GALES D'ANGLES.....28
IV.4 GERCE D'ANGLE.....28
IV.5 SOULEVEMENT DE MOULE.....29
IV.6 DEFONCEMENT.....30
IV.7 MOULE FONDU.....30
IV.8 FORÇAGE.....31
IV.9 CHUTE DE SABLE.....32
IV.10 SOUFFLURE D'ANGLE, EFFET LEONARD.....33
IV.11 PIQEURES SUPERFICELLES.....33
IV.13 SOUFFLURES AU VOSINAGE DE PIECES INSEREES.....34
IV.14 RETASSURE.....35
IV.15 REPRISE.....36
IV.16 DEFORMATION.....37
IV.17 VARIATION.....38
IV.18 BULLE.....38
IV.19 NON VENU.....39
IV.20 MANQUE.....40
IV.21 POINTS DURS.....41
IV.22 INCLUSION DE SABLE.....42
IV.23 DURETE.....43
IV.24 DEF MOULE.....44

❖ **Etude Expérimentale**

Chapitre V

Défaut d'un Compagne en Fonte Grise Lamellaire (POVAL)

V. SUIVIE D'UNE COMAGNE (POVAL).....46
V.1 CONTROLE DE QUALITE DE LA COMPAGNE.....46
V.1.1 LES PIECES PAR DEFAUT.....46

Sommaire

V.2 LA ROUE DE POMPE.....48
V.2.1 ELABORATION DE LA ROUE DE POMPE.....48
V.2.1.1 LES APPAREILS DE FUSION.....48
V.2.1.2 SCHEMA DES OPERATIONS D'ELABORATION.....48
V.2.1.3 PREPARATION DU LIT DE FUSION.....49
V.2.1.3.1 PARC A FERRAILLES.....49
V.2.1.3.2 PARC DES MATI7RES D'ADDITION.....49
V.2.1.4 FUSION DES CHARGES.....49
V.2.1.6 ADDITIONS DE FIN DE FUSION.....51
V.2.1.5 COULEE DES ECHANTILLONS.....52
V.2.1.5.1 ANALYSE D'ECHANTILLON.....53
V.2.1.5.1.2 ESSAIS MECANIQUE.....53
V.2.1.5.1.3 ESSAI DE TRACTION.....53
V.2.1.5.1.3.1 ESSIA DE DURETE.....54
V.2.1.5.1.4 ESSAI BRINELL.....54
V.2.1.5.1.5 MICROGRAPHIE.....55
V.2.1.5.2 LE RESULTAT D'ANALYSE.....56
V.2.1.7 LA COULEES.....56
V.2.2 MOULAGE ET NOYAUTAGE.....58
V.2.2.1 AUTRES PROPRETES ET PRINCIPALESUTILISATION DES FONTES
MOULAGE EN MOULE NON PERMANATE.....58
V.2.2.2 MOULAGE EN SABLE A VERT.....58
V.2.2.2.1 LE MOULAGE A VERT A LA MAIN.....58
V.2.2.2.2 MATERIAU DE MOULAGE.....59
V.2.2.2.3 ANALYSE DE SABLE.....59
1- HUMIDITE.....59
2- ESSAIS DE PERMIABILITE, COMPRESSION ET CISAILLEMENT.....59
V.2.2.2.4 LE MODELAGE.....60

Sommaire

V.2.2.3 NOYAUTAGE DE LA ROUE.....61

V.2.2.3.2 SABLE A NOYAUX.....62

V.2.4 DEFAUT DANS LA COMPAGNE.....72

V.2.4.1 BAVURE.....72

V.2.4.2 GALES.....73

V.2.4.3 REPRISE.....73

V.2.4.4 DEFORMATION.....74

V.2.4.5 VARIATION.....75

V.2.4.6 BULLE.....75

V.2.4.7 NON VENUE.....76

V.2.4.8 DEF MOULE.....77

V.2.5 DETECTIONS DES CAUSES.....77

V.2.6 REMEDES POSSIBLE.....80

V.2.7 CLASSIFICATION.....82

Conclusion générale.....84

INTRODUCTION GENERALE

Les fontes ordinaires contiennent environ de 3 à 4 % de carbone, un pourcentage de si< 3%, un pourcentage de Mn<1 ,2% et un pourcentage ne dépassant pas 1,2% de P.

Dans une fonte, le carbone prend de forme la cémentite ou de graphite, ou se trouve simultanément sous ces deux formes.

Ainsi lorsque les conditions de refroidissement et de composition sont favorables à la graphitisation, on obtient une fonte grise, sinon en cas contraire on peut obtenir une fonte truitée (mélange de fonte blanche et de fonte grise) et de CE même une fonte blanche (fonte dure et non usinable).

Les transformations des fontes blanches sont décrites exclusivement par le diagramme métastable (Fe-C).

L`objet de présent du travail est d`apportes une contribution à l`élévation constante du niveau de la qualité en fonderie de fonte grise à graphite lamellaire.

A cet effet, il doit facilites la suppression des défauts et pour cela, les faire mieux connaitre, en recherches les cause possible et proposes les mesures propres à leur élimination. Pour chaque défaut caractérisé on donne :

A. une liste de causes possibles.
B. une liste de remèdes.

A. Causes possibles

IL serait téméraire d'indiquer une cause pour chaque défaut. A part quelques défauts qui sont les résultats d'une malfaçon évidente, les imperfections résultent plutôt d'un concours de circonstances que d'une cause unique bien déterminée. C'est ce qui explique les «épidémies» de défauts que tout fondeur a rencontrées une ou plusieurs fois au cours de sa carrière.

On a néanmoins indiqué les causes qui, dans l'état actuel de la technique, semblent les plus probables. On y a incorporé, lorsque cela a été possible le mécanisme par lequel ces causes peuvent agir sur l'apparition du défaut. A en juger par l'abondance des publications en la matière, ces causes ont été très étudiées et leur connaissance a fait d'indéniables progrès.

B. Remèdes

La détermination des remèdes résulte de la connaissance des causes. Elle doit tenir

compte des contre-indications éventuelles, du coût de mise en œuvre, de la valeur des pièces à sauver et évidemment de l'efficacité. Mais en cette matière rien ne remplace l'expérience du fondeur basée sur des observations systématiques soigneusement consignées. Le présent ouvrage peut seulement faciliter sa tâche.

D'ailleurs, la mise en application des remèdes indiqués suppose une certaine connaissance des techniques de fonderie; on ne pouvait en effet, dans le cadre de cet ouvrage, entrer dans le détail de la mise en œuvre de ces remèdes. On se reportera si besoin était à l'abondante bibliographie qui est donnée à la fin de travail.

I. FONTES GRISE LAMELLAIRES

I.1 INTRODUCTION

Les fontes sont des alliages dont la teneur en carbone est supérieure à 2% en masse.

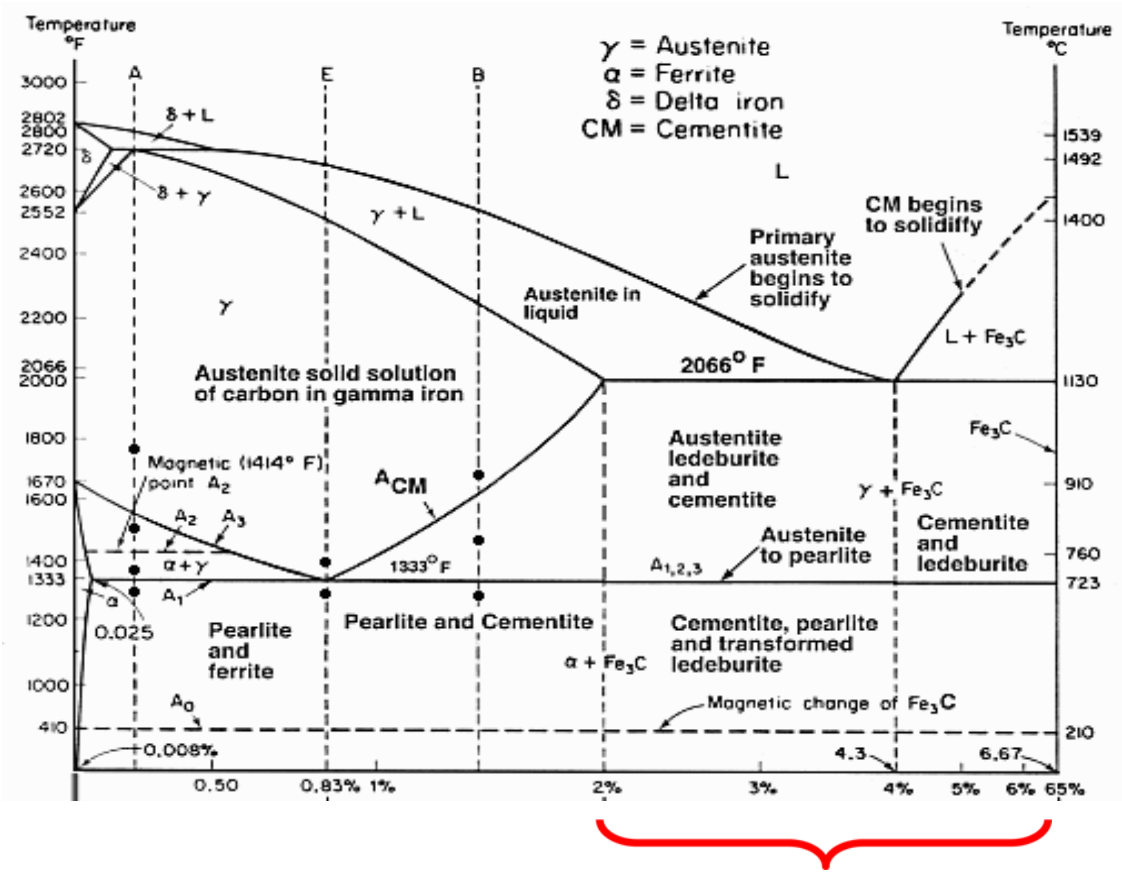
Les fontes subissent toujours la transformation eutectique (vers 1140°C).

Fontes blanches :

Carbone se retrouve toujours sous forme de cémentite.

Fontes grises :

Carbone se retrouve sous forme de graphite libre (carbone pur) et de cémentite.



Fontes

(2% < %m C < 6,67%)

Figure I-1 : diagramme d'équilibre.

- La dénomination de fontes concerne un grand nombre d'alliages de fer dont les microstructures et les propriétés physiques sont très diverses.
- La teneur en carbone est supérieure à 2%.

- Réglée par v de refroidissement et par la présence d'éléments d'addition « graphitisants » (Si), ou « antigraphitisants » (Mn).
- Au passage du palier eutectoïde (0,8 % C, 723°C), toute l'austénite g tend à se décomposer pour les deux cas en perlite.
- Refroidissement rapidement

La totalité du carbone peut se combiner au fer pour former : la cémentite et les fontes blanches.



Figure I-2 : Refroidissement rapidement.

- Refroidissement lent

La cémentite (composé métastable) se décompose en graphite et ferrite avec une teneur en carbone élevée et des éléments d'addition graphitisants, toutes les conditions sont réunies pour la formation de fontes grises.



Figure I-3 : Refroidissement lent.

I.2 MECANISME DE FORMATION DES LAMELLES

Selon *:(A. DESY et J. VIDTS)*

- Le graphite lamellaire prend naissance et se développe au sein du liquide eutectique.
- La croissance des cristaux de graphite eutectique peut être décrite comme suit :
- Le germe de graphite prend naissance dans le liquide et se développe librement jusqu'à la formation d'une petite plaquette.

Au cours de sa croissance il enlève le carbone du liquide (cristal d'austénite) se développe très rapidement vers la plaquette et la recouvre partiellement puis totalement.

Le graphite étant en contact avec le liquide par ses extrémités, continue à croitre par diffusion du carbone à travers l'enveloppe d'austénite et par apport de ses extrémités.

Ainsi on atteint le stade de l'enveloppement total du cristal de graphite.

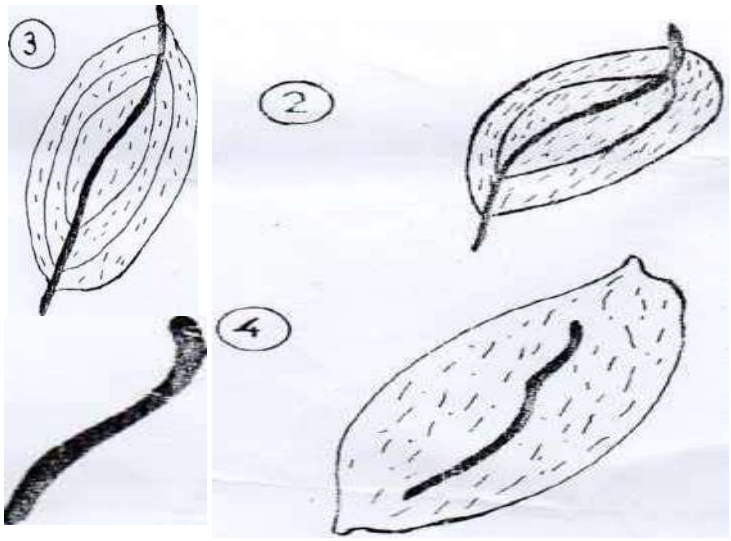


Figure I-4 : Mécanisme de cristallisation du graphite Lamellaire dans le liquide eutectique. [3]

I .3 FACTEURS DETERMINANTS LA STRUCTURE

Les propriétés des fontes grises sont déterminées avant tout leurs structures, Laquelle dépendent d'une série de facteurs de fabrication.[4]

I.3.1 INFLUENCE DE COMPOSITION D'ELABORATION

- La température à laquelle est porté le métal au dessus du li caractérisé la surchauffe.

D'après ***E-PIWOWARSKY*** [5] l'élévation de la température de surfusion affine le graphite. L'inoculation qui se fait en ajoutant au métal lie ni de un or, intigraphitisant à base de silicium par exemple modifie de façon sensible graphite. [6-II]

Cette inoculation peut se faire dans la poche de coulée, dans le chenal de coulée et même dans le cubilot lui même.

I.3.2 INFLUENCE DE COMPOSITION CHIMIQUE

Les éléments les plus souvent récents dans lm fonte sont : C, Mn, Si, P et S. Les deux éléments, carbone silicium, exercent une influence directrice essentielle sur la passage du système métastable au système stable: [7]

Si a on augmente la teneur du silicium dans la fonte, ce dernier étant un élément graphitissant alfa gène, la température début de solidification diminue et la température de fin de solidification augmente.[4]

Le phosphore bien qu'il est graphitisant, il provoque la formation d'un eutectique ternaire (Fe-Fe_3 C-Fe_3 P) dit steadite, La steadite a un Point de fusion basse (953°C), elle augmente la dureté de la fonte. [2]

Le manganèse est un élément antigraphitisant, il forme des carbures Plus stables que la cémentite (Fe_3 C), sous forme de carbure mixte (Fe_3 C – Mn_3 C), il affine quelque peu la perlite, sa teneur dans la fonte ordinaire ne dépasse pas 1%. [6-II]

Le soufre cause un allongement radial si sa teneur est inferieur Ou égale à 0,1%. Par contre Si la teneur en soufre dépasse 0.1%, il provoque Une diminution de la longueur des lamelles de graphite [6-II], et forme même des sulfures (comme Mn S), qui gênent la graphitisation, Il augmente ainsi la dureté de la fonte qui devient fragile.

Les impuretés résiduelles ont des rôles diversifiées sort aines ont un rôle favorable dans la mesure ou elles aident à la graphitisation (comme -Ti).D'autre ont une influence nettement défavorable et peuvent amener certains défauts de fonderie (Aluminium).

Enfin pour tenir compte de l'effet des éléments de composition de la fonte grise sur la position du point eutectique, on utilise la notion du carbone équivalent et l'indice de saturation, le carbone équivalent tend compte seulement du pourcentage du C, Si et P (NFA IOI). [8]

$$\%\boldsymbol{Céq} = \%\boldsymbol{Ct} + 1/3\,(\%\boldsymbol{Si} + \%\boldsymbol{P})$$

Mais l'indice de saturation nous permet de savoir si une fonte a comportement hypo eutectique ou hyper eutectique. [6-I]

$$\boldsymbol{Sc = C\acute{e}q}/4.25 - 0.3\boldsymbol{Si}$$

- Si **Sc** < 1 la Fonte eut hypo-eutectique
- Si **Sc** >1 la fonte est hyper-eutectique

L'étude de II. LAPLANCHE 1946 apporte des indications abonnant la tendance à la graphitisation en fonction de la teneur en carbone et de la teneur en silicium, cette tendance est repérée par un facteur "K" qui s'écrit : [4]

$$\boldsymbol{K} = 4/3\,\boldsymbol{Si}\,(1 - 5/3\boldsymbol{C} + \boldsymbol{Si})$$

Dans la Figure (II-2), pour chaque courbe de K = Constante, ce dernier délimite un domaine correspondant à un type de structure.

(I) : Fontes blanches

(II) : Fontes truitée

(III) : Fontes à matrice ferrito-perlitique.

(IV) : Fontes à matrice ferritique.

(V) : Fontes à matrice complètement perlitique

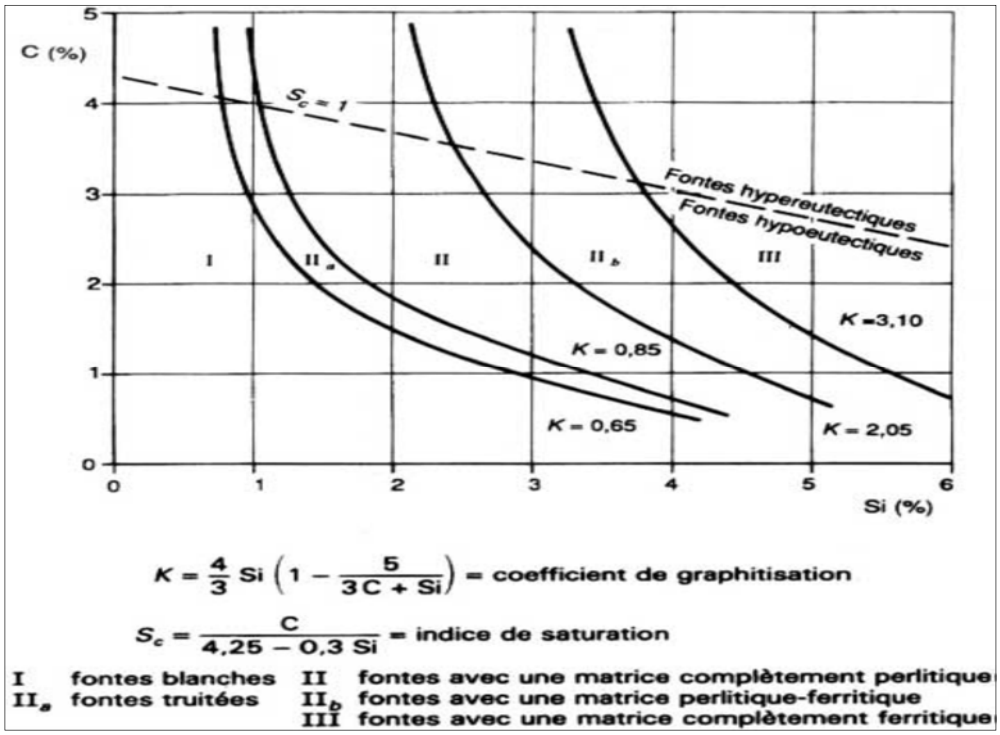


***Figure I-5* :** Courbes K= Constante limitant les zones structurales dans les fontes ordinaires pour des éprouvettes cylindriques de 30 (mm) de diamètre coulée dans du sable.

.

I .3.3 INFLUENCE DES CONDITIONS DE REFROIDISSEMENT

Elles sont fixées par divers facteurs talque :

- La différence de température entre le métal et le moule, l'épaisseur et la nature des parois du moule (métallique ou en sable, degré d'humidité du sable **...).**
- La sensibilité des fontes à la vitesse de refroidissement qui entraine une variation de structure ***(Figure I-6)*** et de la microstructure en fonction de la vitesse de refroidissement et une caractéristique originale des fontes grises.

Pour régler la tendance à la graphitisation et obtenir la structure la résistance, désirée suivant la vitesse de refroidissement dans le moule, on peut choisir convenablement la teneur en silicium.[4]

Rappelons aussi que la vitesse de refroidissement dans le moule est liée à la massivité des pièces ou plus précisément, au module de refroidissement Volume / Surface.

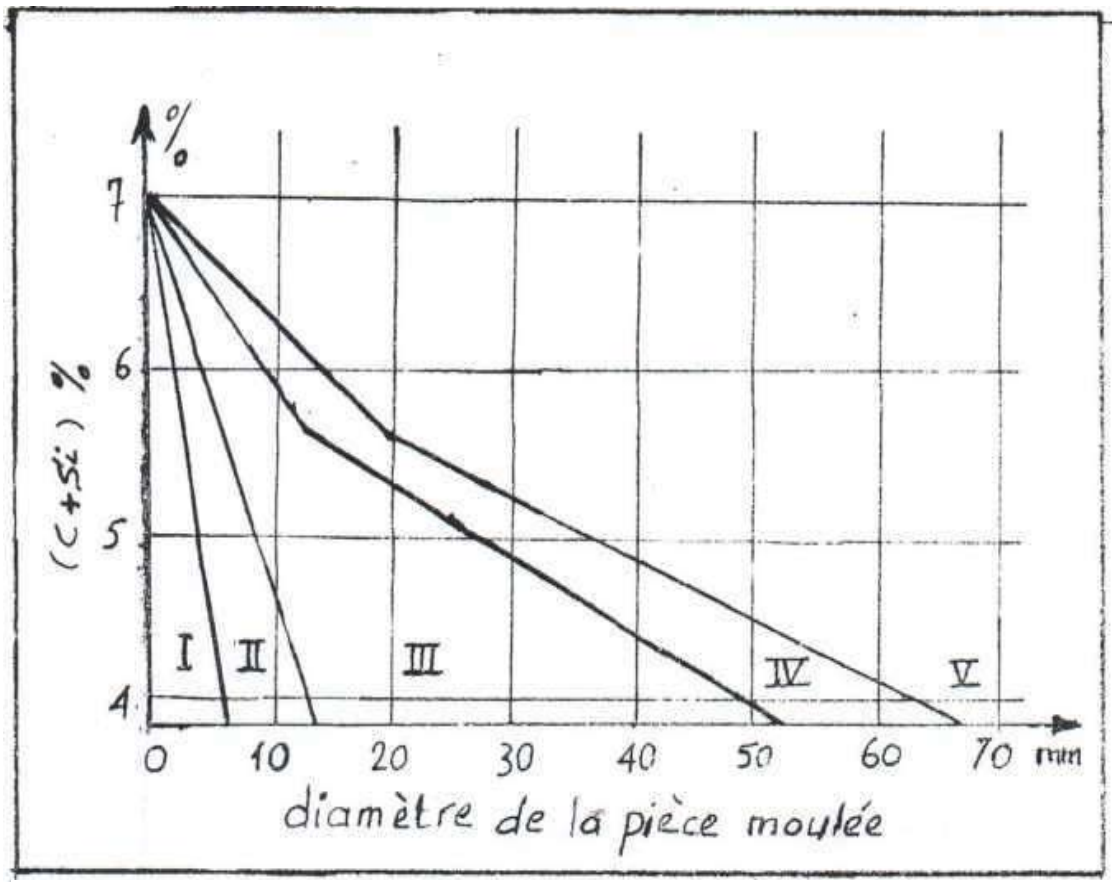


***Figure I.-6* :** Diagramme [de la microstructure en fonction de la vitesse de refroidissement. [6-II]

I. Fonte blanche.
II. Fonte truitée.
III. Fonte grise à matrice perlitioue
IV. Fonte grise à motrice ferrito- perlitique.
V. Fonte grise à .matrice ferritique

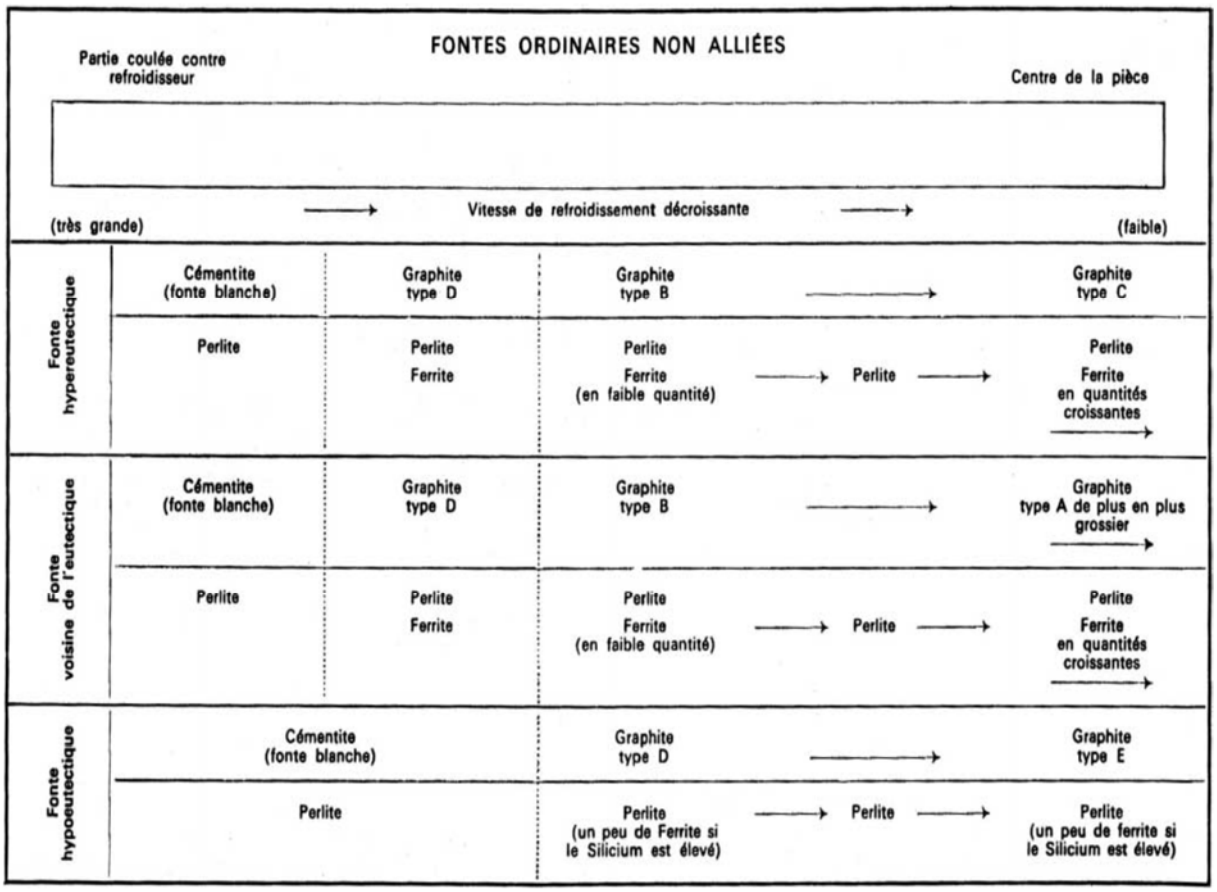


***Figure I-6'* :** Structures types de pièces où la vitesse de refroidissement varie considérablement depuis la surface (coulée par exemple contre refroidisseur) jusqu'au centre. [1.3]

I.4 PROPRIETES STRUCTEURALES DE LA FONTE

La fonte à l'état brut de coulée est constituée d'une matrice et des phases dures. [6-I]

I.4.1 LA MATRICE

La matrice est soit perlitique ou ferritique et même peut-être ferrito perlitique, la matrice perlitique est obtenue avec une vitesse de refroidissement rapide,' ainsi lorsque cette dernière est assez importante les lamelles de perlite sont très minces, la résistance au cisaillement de la perlite s'accroit et la perlite devient plus dure plus résistante.

La matrice ferritique est obtenue avec une vitesse do refroidissement lente, cette structure est favorisée par la présence d'éléments alpha gènes talque le silicium et le titane.

Les phases dures la phase la plus dure est la cémentite (800 à1100 HB), cette phase communique sa fragilité aux fontes blanches, en absence de cémentite du point de vue dureté la steadite est la phase la plus dure (400 à 900HB**),** La steadite est un constituant souvent réparti en réseau autour des cellules eutectiques, la steadite a presque le même effet sur les propriétés de la fonte que celui de la cémentite.

On peut trouver aussi une phase constituée de globules alternés de cémentite et de perlite ultra fine (lédéburite) cette dernière est rencontrée dans les fontes blanches eutectiques, sa dureté est un peu élevée (600 HB) Le constituant qui conditionne en grande partie les propriétés mécaniques des fontes grises c'est le graphite (par sa forme et sa répartition dans la fonte).

I.4.2. MORPHOLOGIE DU GRAPHITE

Suivant le pouvoir de germination du bain et le titre en carbone de la fonte, on distingue six formes de graphite [8] repérées par des chiffres (l à VI) la forme I correspond au graphite lamellaire, cette forme est classée en 5 types : A, B, C, D, E assortis d'une indication sur la dimension des lamelles (AFNOR —FDA 32 –IOI).

- Type A: Graphite en lamelle réparties uniformément : En pseudo- lamelles ou lamelles très courtes, (longueur comprise entre 1 et 100 de mm et quelques 1/10 de mm) compactes, à bords arrondis, se présentant, en coupe, à l'examen au microscope comme schématisé. Cette forme particulière du graphite en pseudo lamelles (les quelles sont disséminées dans la masse de la fonte) apparaît dans certaines fontes alliées (fontes ou titane, en particulier) [12]
- Type B: Graphite en rosettes : En rosettes, lesquelles sont formées par plusieurs lamelles qui s'interpénètrent, et dont l'allure rappelle celle d'une hélice à plusieurs pales. Il apparaît au microscope sous la forme schématisée. Ce type de graphite se rencontre dans les parties minces des moulages (et plus généralement dans les portions de pièces solidifiées rapidement) et également dans les pièces coulées avec une fonte dont la température est relativement basse, et la teneur en carbone (C_T) élevée [12].
- Type C : Graphite en lamelles grossières et en lames : En lamelles de dimensions nettement différentes (également dit: en lamelles superposées). Au microscope ce type de graphite se présente, comme schématisé : lamelles sensiblement identiques, de fortes dimensions (0,3mm < L < 0,5mm) orientées en tous sens, entre lesquelles sont disséminées

un grand nombre de lamelles de petites dimensions (0,01 mm < L < 0,08. Ce type de graphite apparaît surtout dans les fontes à haute teneur en carbone (Ct élevé).

❖ Type D : Graphite inter dendritique sans orientation préférentielle (ou de surfusion) : Inter dendritique. Les lamelles de graphite sont très petites dont la répartition fait apparaître généralement les cristaux de solidification primaire (dendrites). Cette répartition voisine souvent avec la forme I, répartition A (type A). Elle s'observe dans les fontes à haute teneur en silicium refroidies rapidement et également dans les fontes fortement désulfurées, coulée sous vide, etc. Ce graphite voisine souvent avec des zones de fontes blanches [9].

❖ Type E : Graphite inter dendritique orienté (nodules) : Il est réparti dans la fonte sous forme d'amas ou nodules (inscrits dans des cercles de 0,005 à 0,2mm de diamètre) aux contours plus ou moins déchiquetés, distants entre eux de quelques dixièmes de millimètres, apparaissant à l'examen au microscope comme schématisé.

Les types A, B, C, D, E se rencontrent dans les fontes grises lamellaires hypo eutectiques, par contre le type C, se trouve dans les fontes grises lamellaires hyper eutectique.

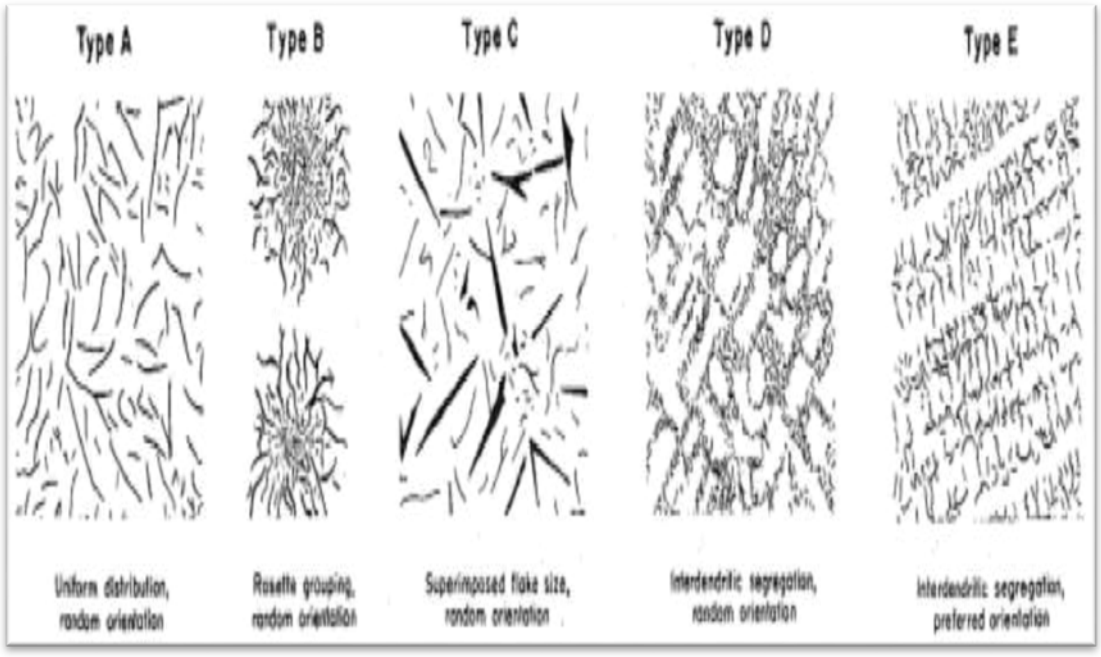


Figure I-7 : Classification du graphite lamellaire en fonction de sa taille et sa distribution selon la norme ASTM-A-247 [1].

I.5 PROPRIETES MECANIQUE DES FONTES

Les caractéristiques mécaniques des fontes sont mesurées par des essais normalisés [8];

parmi elles, la résistance à la traction qui est la base de la classification des différentes fontes grises [4]. La résistance à la traction d'une fonte grise est d'autant plus grande que la matrice est plus résistante et le graphite moins abondant possible.

Enfin qui concerne la matrice, la perlite est nettement le constituant le plus résistant, en le comparant à la ferrite trop douce et la cémentite trop fragile**.**

I.5.1 RESISTANCE MECANIQUE DEF FONTE

À des concentrations de contraintes Le graphite agit sur la résistance à la traction par un effet "d'entaille" (***Figure I-5***) conduisant locales en bout de fissure, l'existence permanant de ces entailles explique bien la rupture fragile de la fonte grise (lors de l'essai de traction).

Ainsi pour qu'une fonte grise ait une Donne résistance à .la traction, il faut qu'elle «soit de matrice perlitique avec moins de graphite possible réparti de manière homogène et en lamelles fines (type A, B ou E indice 4 à 6).

La résistance à la traction des fontes grises s'échelonne entre 100 à 400 M Pa.

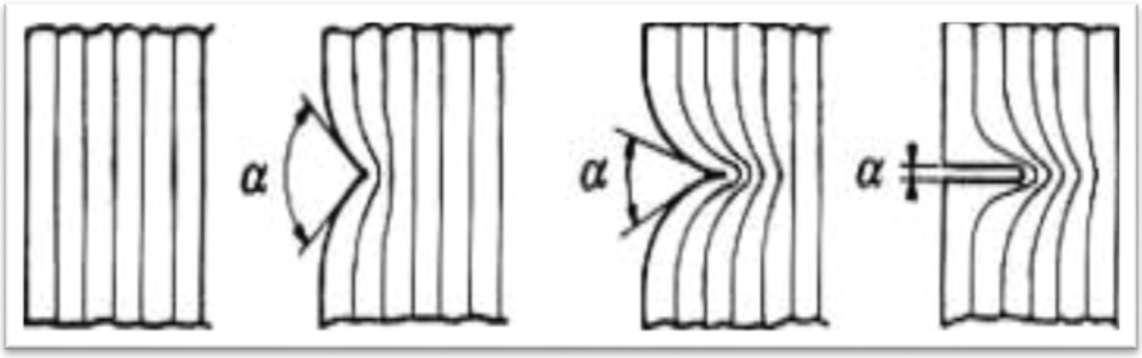


***Figure I-8* :** Répartition du graphite : effet d'entaille

I.5.2 DURETE LES FONTES

La dureté des fontes non alliées varie dans de larges limites : [4]

- Fontes blanches 400à 600 **HB** selon le %**C.**
- Fontes grises perlitiques : 170 à 270 **HB** Suivant la finesse du perlite.
- Fontes grises ferritiques I de 100 à 150 **HB**.

La dureté globale de lu fonte dépend avant tout de la matrice, de la forme et de la distribution du graphite et aussi de l'eutectique phosphoreux, ainsi une augmentation de 0,1% de phosphore augmente la dureté de 3 unités BRINELL.

Il existe une corrélation résultant d'une étude de WEIS et ORTHS [10] sur les fontes perlitiques qui fait correspondre la résistance maximale (**Rm**), la dureté **HB** et la composition.

$$\boldsymbol{Rm} = 257.4 + 1.31\,\boldsymbol{HB} - \boldsymbol{63.8}\,(\%\boldsymbol{C}) - 25\,(\%\boldsymbol{Si}) - 31.4\,(\%\boldsymbol{P})$$

Les fontes grises lamellaires ont des propriétés de résistance, de ténacité et de plasticité relativement médiocres. Par contre les fontes grises ferritiques ont une capacité d'amortissement des vibrations élevées ainsi qu'une bonne résistance à la corrasion.

On peut citer à l'actif des fontes grises, leur bonne tenue au frottement, leurs qualités de fonderie remarquables (faible retrait, bonne coulabilité, température de coulée faible ...).Les utilisations des fontes grises sont variées et sont utilisées dans différents domaines : Bâtiment (sanitaire, baignoire, radiateur ...)

Fours et chaudières (échangeurs de chaleur, creusets, cuves, cou ailles de coulées) à cause de leurs résistance à la chaleur et au choc thermique.

nécessaire pour l'évacuation (voirie, lampadaire, regards de chaussé, plaque d'égout . ..).

Vue leur rigidité (allongement faible) elles sont utilisées comme supports de pont, machines outils, matrice d'emboutissage, cylindres des laminoirs, corps ; et pompe, engrenages divers, arbres à cames, [II**]**

I.6 APPLICATION DE FONTE (FGL)

Les fontes grises lamellaires ont des propriétés de résistance, de ténacité et de plasticité relativement médiocres. Par contre les fontes grises ferritiques ont une capacité d'amortissement des vibrations élevées ainsi qu'une bonne résistance à la corrasion.

On peut citer à l'actif des fontes grises, leur bonne tenue au frottement, leurs qualités de fonderie remarquables (faible retrait, bonne coulabilité, température de coulée faible ...).

Les utilisations des fontes grises sont variées et sont utilisées dans différents domaines :

- Bâtiment (sanitaire, baignoire, radiateur ...).
- Fours et chaudières (échangeurs de chaleur, creusets, cuves, cou ailles de coulées) à cause de leurs résistance à la chaleur et au choc thermique.
- nécessaire pour l'évacuation (voirie, lampadaire, regards de chaussé, plaque d'égout ...).
- Vue leur rigidité (allongement faible) elles sont utilisées comme supports de pont, machines outils, matrice d'emboutissage, cylindres des laminoirs, corps ; et pompe, engrenages divers, arbres à cames, [II]

II. ELABORATION DE FONTE (FGL)

- Les fontes de 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.

II.1 APPAREILS DE FUSION

II.1.2 LE FOUR A INDUCTION

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

1. les pertes au feu sont réduites et constantes,
2. les risques d'oxydation et d'absorption des gaz très diminués, sauf en fours à arcs,
3. l'obtention des hautes températures est plus facile, ce qui est favorable aux réactions chimiques d'affinage,
4. 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 [16].

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 [17].

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 duquel 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 II.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.

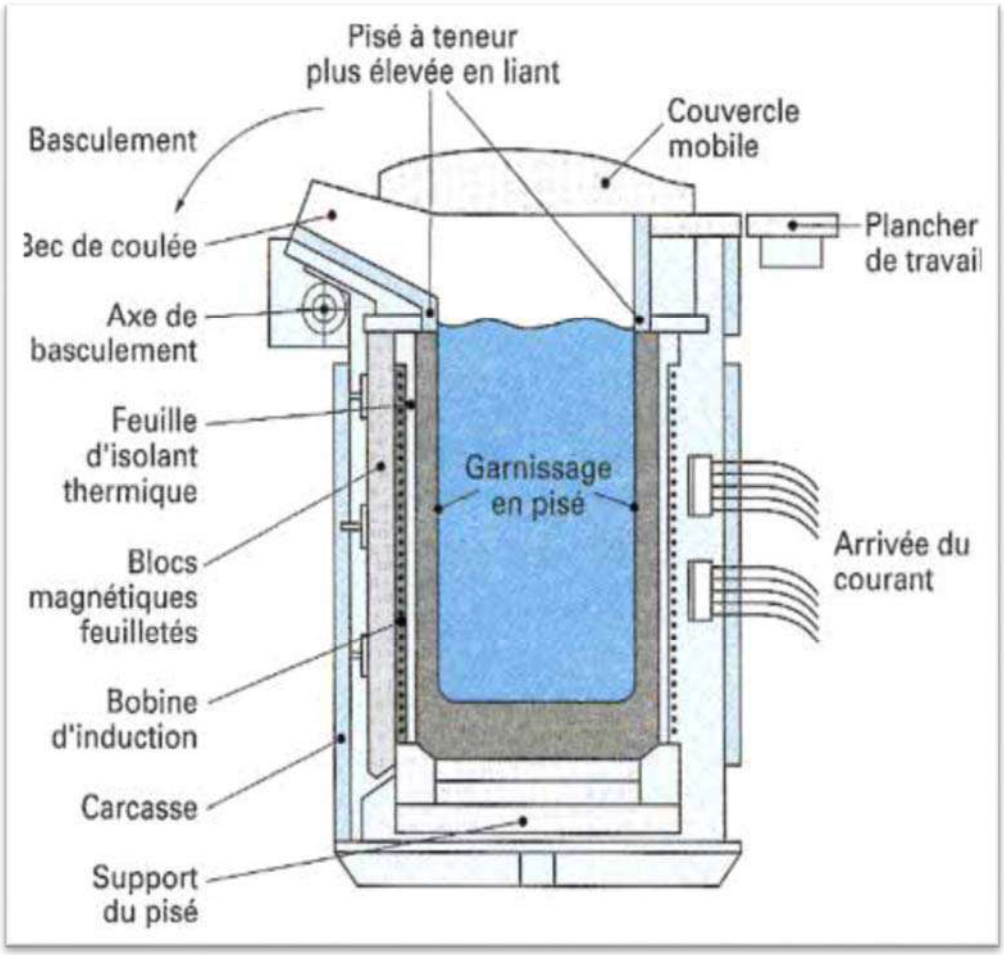


Figure II-1 : four à induction. [6]

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.

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.

4. 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.

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.

6. Equipements 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.

c. Systèmes de chargement et de préchauffage

Les fours de fortes capacités sont souvent équipés de système de chargement

continu avec bandes transporteuses et couloirs vibrants qui alimentent directement le four. Dans certains cas, un tunnel de préchauffage avec des brûleurs alimentés par du gaz naturel est placé au-dessus du couloir vibrant.

7. Installation de puissance électrique

En marche courante, les fours alimentés en basse fréquence électrique (50 Hz en Europe) fonctionnent par transmission de la chaleur à partir du bain liquide. Il est donc nécessaire 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. [17]

II.2 PREPARATION DE LIT DE FUSION

La charge est constituée par:

1. 250 (Kg) des retours de fonderie constitués des masselottes, pièces rebutées
2. 90 (Kg) de ferrailles le constituées des chutes de tôles d'acier doux et mi doux.
3. 250(Kg) de la fonte blanche, provenue d'EL HADJAR, sa composition chimique est la suivante:
   - A. C (%)…….. 4.18 à 4.23
   - B. S (%) …….. 0.027 à 0.36
   - C. Si (%) ……...…… 0.7 à 0.21
   - D. p (%) …… 0.026 à 0.03
   - E. Mn (%)…….. 1.16 à 1.62
4. 150(Kg) de la fonte hématite sa composition chimique est la suivante :

A. C (%)……..4.18 à 4.8

B. S (%) ……..... < 0.016

C. Si (%)…….0.7 à 0.77

D. Mn (%) …….....0.44 à 0.68

E. P (%)……..……0.3

F. Cu(%)……..……0.06

5. briquettes de ferro-silicium (Fe-Si), dont la masse totale = 12.6 (Kg).

Après fusion le bain de fonte est coulé en poche puis décrassée en y jetant du SLAX et en écrémant.

II.3 ANALYSE CHIMIQUE DE LA FONTE

La fonte est analysé eau laboratoire d'analyse spectrales de la U.F.R et au laboratoire de (POVAL) afin de connaitre la teneur des différents éléments contenus dans cette fonte.

L'analyse chimique de cette fonte a donné la composition Suivante:

Tc (^{0}C)	1272
Tl (^{0}C)	1125
Ts (^{0}C)	1089
C %	3.41
Si%	3.02
Mn %	0.61
S %	0.82
P %	0.23
Mg %	0.005
Ni %	0.054
Cr %	0.02
Mo %	0.43
Cu %	0.241
Pb %	0.01

Tableau II- 1 : L'analyse chimique de cette fonte.

II.4 METHODES EXPERIMENTALES.

II.4.1 ESSAIS MECANIQUE

Les pièces moulées en fonte à graphite lamellaire sont constituée matériau caractérisé par la résistance à la traction mesurée sur des éprouvettes usinées soit dans des échantillons coulés à part, soit dans des blocs-échantillons attenant ou adhérent aux pièces.

Les essais mécaniques sont les plus pratiques pour la détermination des propriétés mécaniques des pièces coulées...

Les caractéristiques déterminées par les essais mécaniques Sont:

- L'aptitude à la déformation plastique ou élastique Pour essai de traction**.**
- La résistance à la pénétration d'une pièce dure soumise à une pression constante (dureté).

II.4.1.1 ESSAI DE TRACTION

L'essai de traction est effectué suivant les prescriptions de la norme NFA 03-151(sur une éprouvette usinée de 20 (mm) de diamètre (Figure III-3) pour les échantillons coulés à part, sur laquelle un effort croissant est exercé de façon continue suivant l'axe de cette Éprouvette jusqu'a rupture, en même temps en enregistrant la déformation de éprouvette.

L'essai de traction définit un ensemble de caractéristique dont les dont les principales sont**:**

- La limite élastique (**Re**): exprimée en (dan/mm^2).

  C'est la contrainte minimale qui produit une déformation permanente du métal.

  $$\boldsymbol{Re = Fe / So}$$

- a charge de rupture (**Rr**): exprimée en (dan/mm^2).

  C'est la charge maximale atteinte au cours de l'essai

  L'allo $\boldsymbol{Rr = Fm / So}$

- allongement après rupture(**A**): exprimé(%).

  $$\boldsymbol{A}(\%) = (\boldsymbol{Lu - Lo / Lo}).100$$

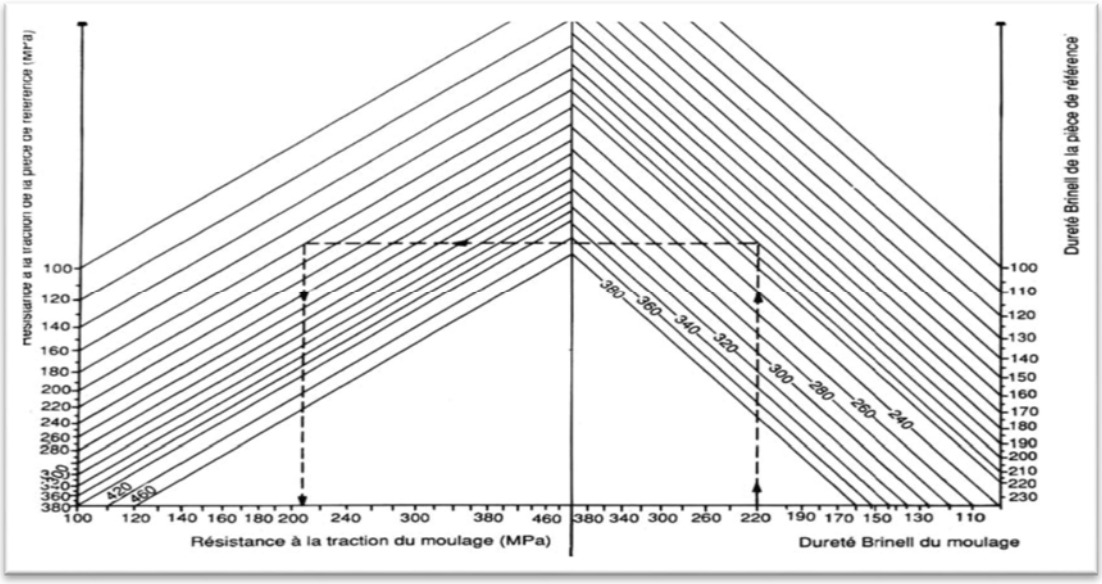


***Figure II-2*:** Abaque permettant de calculer la résistance à la traction d'un élément de pièce moulée, connaissant sa dureté, ainsi que la résistance et la dureté d'une pièce ou éprouvette de la même fonte, servant de référence.

II.4.1.2 ESSIA DE DURETE.

La dureté caractérise la résistance à la déformation.

L'essai consiste à enfoncer un pénétrateur dans le métal à essayer.la charge est constante, on mesure la dimension de l'empreinte.

L'empreinte est d'autant plus grande que le métal est moule.

II.4.1.2.1 ESSAI BRINELL

L'essai consiste à imprimer dans la pièce à essayer une bille en acier ou en tungstène de diamètre "**D**" sous une charge "**P**" et à mesurer le diamètre "**d**" de l'empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge.

La dureté (**HB**) est un nombre proportionnel au rapport (**F/S)**

$$HB = 2P/\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}).$$

II.4.2 MICROGRAPHIE

L'examen micrographique a pour but principal la mise en évidence de la structure de l'échantillon et des inclusions non métalliques lors de l'observation au microscope optique.

Pour l'observation de la surface d'examen on doit passer par les différentes étapes suivantes:

- Prélèvement de l'échantillon: Il faut éviter une modification de la structure du métal résultant soit d'un échauffement soit d'un dé formation (écrouis sage).
- Enrobage: qui s'effectue avec la résine.
- Polissage: qui consiste à rendre la surface plane et brillante et ne présente aucune rayure.
- Pour étudier les autres constituants de la matrice métallique et les carbures nous avons procédé à une attaque chimique au nital 3 %.

III. MOULAGE DE FONTE GRISE LAMELLAIRE (FGL)

Le moulage en sable consiste à couler le métal en fusion dans l'empreinte du moule en sable, réalisée d'après un modèle ayant la forme de la pièce à obtenir.

Le moulage en sable est le procédé le plus ancien et convient presque pour tous les métaux et alliages de moulage. Il s'adapte bien aux petites séries de production et surtout pour les pièces de grandes dimensions.

III.1 AUTRES PROPRETES ET PRINCIPALES UTILISATION DES FONTE MOULAGE EN MOULE NON PERMANATE

Le moule réalisé avec (les matériaux à structure granulaire, Comprend une ou plusieurs parties.

L'empreinte est faite avec un modèle donnant aux matériaux de moulage tout ou partie des formes de la pièce.

Un système d'attaque permet le remplissage de l'empreinte et vin système d'alimentation augmente la compacité de la pièce.

L'extraction de la pièce nécessite la destruction du moule, les matériaux: du moule étant généralement recyclés.

Le procédé utilisé est le moulage à vert à main.

III.2 MOULAGE EN MOULE NON PERMANENT

Un moule non permanent est une structure principalement réalisée en matériaux de moulage (généralement en sable), composée d'une ou de plusieurs parties et offrant après assemblage un évidement appelé empreinte finale. Cette empreinte correspond à la pièce brute (en tentant compte du retrait) et aux systèmes de remplissage et d'alimentation.

Après coulée de l'alliage, cette structure est désagrégée (décochage) pour extraire la pièce brute. Chaque partie du moule correspondant à une forme de la pièce constitue une empreinte partielle. Une empreinte donne généralement les formes extérieures de la pièce. Un noyau donne généralement les formes intérieures de la pièce.

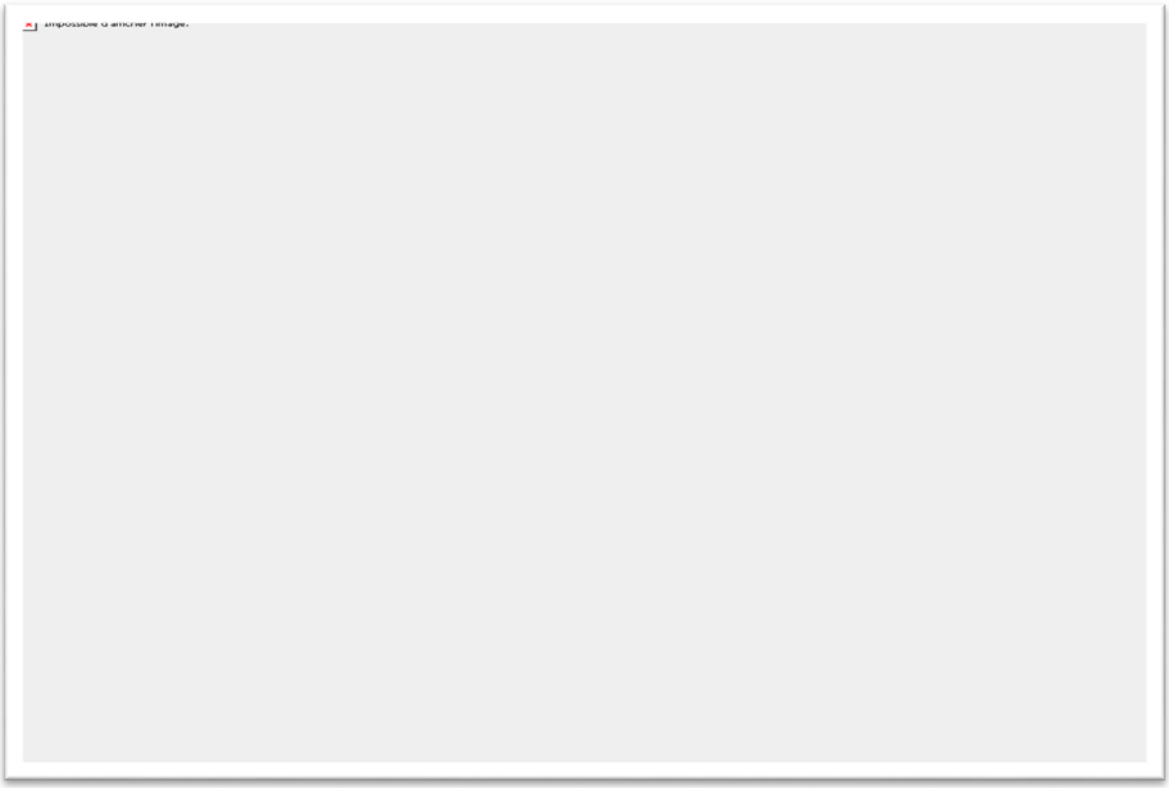


***Figure III -1*:** Moulage en moule non permanent

1. Serrage châssis inférieur.
2. Retournement.
3. Noyautage.
4. Remoulage noyau.
5. Serrage châssis supérieur.
6. Fermeture du moule.
7. Élaboration du métal liquide.
8. Coulée.
9. Tunnel de refroidissement.
10. Déchargement puis décochage.
11. Retour châssis.

III.2.1 MOULAGE EN SABLE A VERT

Le sable silico-argileux naturel de carrières ou synthétique humidifié afin de donner à l'argile la plasticité nécessaire pour faire épouser au sable les formes extérieures de la pièce. [13]

D’une façon générale, le moulage à vert s’adresse à des pièces ni très hautes, ni très

épaisses.

Le sable à vert étant compressible, le retrait du métal coulé s'opère sans difficultés et il y'a peu de risques criques dans les pièces.

Le refroidissement du métal est rapide, mais apporte parfois une légère dureté superficielle que l'on peut atténuer, si non faire disparaitre, par certains artifices de modelage.

III.2.1.1 LE MOULAGE A VERT A LA MAIN

Toutes les opérations de serrage du sable, de démoulage du modèle de finition de l'empreinte et de remoulage des noyaux sont réalisées à la main. [14]

III.2.1.1.1 MATERIAU DE MOULAGE

- Sable de remplissage.
- Nous avons utilisés un vieux sable.
- Sable de contact de composition :

- Vieux sable ……..32.65%
- Sable neuf de carrières étuvé à 150°C……40.81%
- Argile ……..24.4%
- EAU.....2.4%

III.2.1.1.2 ANALYSE DE SABLE

1- Humidité

Le sable est séché pendent 8 minutes dans un appareille de séchage à rayon infrarouge.

Nature de sable	Masse avant séchage mi (g)	Masse âpres séchage mf (g)	Humidité (%) H= m – mf / mi
Vieux	20	18.35	8.25
contact	20	8.66	6.72

Tableau III-1 : humidité.

2- Essais de Perméabilité, Compression et Cisaillement

Nature de sable	Dimensions de l'éprouvette D = h (mm)	Poids de l'éprouvette (g)	Perméabilité v = volume/temps	Compression MPas	Cisaillement MPas
Vieux	50	150	88	97	53
Contact	50	150	112	128	95

Tableau III-2 : essais de perméabilité, compression et cisaillement.

III.3 MODLAGE

Le modèle est une représentation sous forme d'une pièce ou ensemble de pièces de l'objet à fabriquer et permettant la confection de l'empreinte du moule en sable.

Il est exécuté en bois ou en métal d'après le dessin de fabrication, c'est à dire le matériau utilisé pour la confection du modèle dépend essentiellement du procédé de moulage (manuel ou mécanique).

Un modèle doit posséder :

- Une bonne résistance contre les contraintes mécaniques.
- Une bonne résistance contre les contraintes chimiques (humidité, liant du sable, gaz etc.).
- Une bonne résistance contre les contraintes thermiques (échauffement du modèle dans les différents procédés de moulage).
- Une précision de la forme et des dimensions.
- Bas prix de revient.

Le bois reste depuis longtemps la matière essentielle pour la confection des modèles. Pour chaque type de bois en trouve des propriétés différentes. On utilise surtout des bois traités, sans fissures et sec (moins de 10% d'humidité) pour prévenir leur déformation au cours du séchage.

III.4 NOYAUTAGE

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

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

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

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

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

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

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

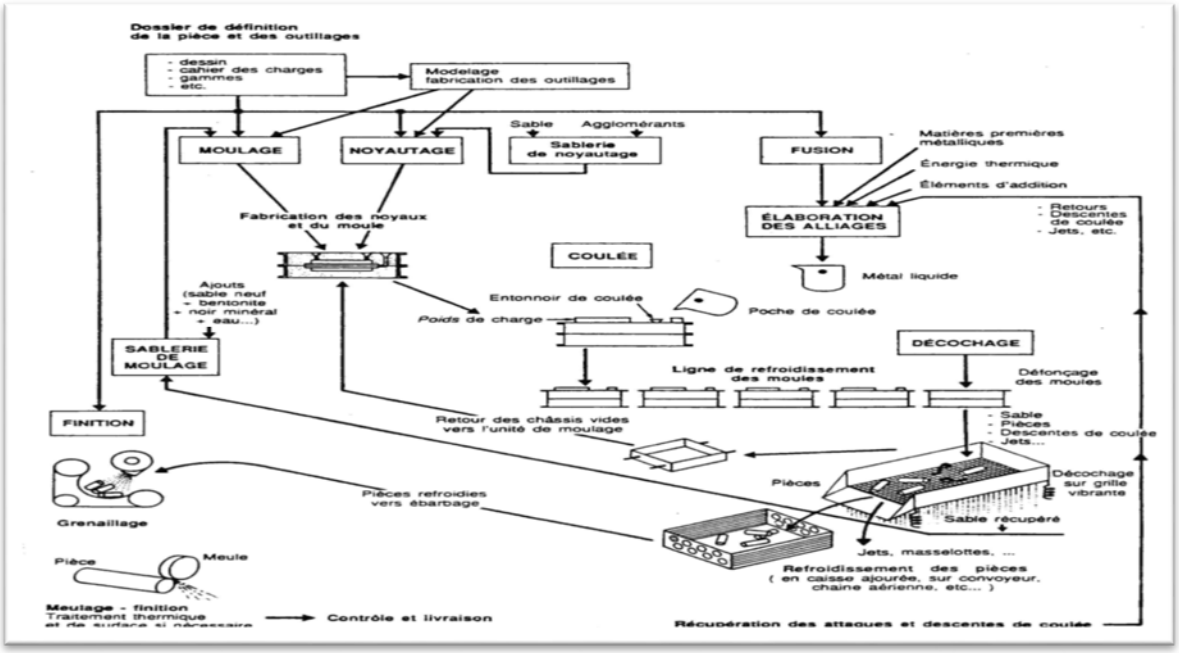


Figure III-2: Schéma de la fabrication de pièces de fonderie. [7]

Introduction

L`objet de présent du travail est d`apportes une contribution à l`élévation constante du niveau de la qualité en fonderie.

A cet effet, il doit facilites la suppression des défauts et pour cela, les faire mieux connaitre, en recherches les cause possible et proposes les mesures propres à leur élimination.

Ce travail comprend ; une classification une étude de chaque défaut, une bibliographie et un index.[20]

Les défauts :

IV.1 BAVURE

Excroissance plate, de largeur irrégulière, de profil souvent dentelé, généralement normale à une des faces de la pièce. Elle se trouve le long d'un joint du moule, d'une portée de noyau ou de toute surface de séparation entre les éléments constituant le moule.

Les dimensions principales, en particulier l'épaisseur, ne sont pas affectées.

Les bavures peuvent accélérer le refroidissement des parties voisines et provoquer des criques ou, s'agissant de fonte, des zones trempées.



***Figure V-8* :** bavure

A. Cause :

- Jeu entre deux éléments du moule ou entre moule et noyau ou joint mal raccordé.

B. Remède :

- Contrôler leurs dimensions.
- Contrôler les remmoulages.
- Tamponner s'il y a lieu.
- Soigner l'exécution des modèles, des moules et des noyaux.

IV.2 GALES

Excroissances en forme de veines, généralement perpendiculaires à la surface, isolées ou en réseau et non situées le long des joints. En moulage à vert elles apparaissent souvent au voisinage des angles et en même temps.



***Figure V-9*:** Gales

A. Causes :

- Craquelures à la surface du moule se produisant au cours du séchage, lorsqu'il y a une trop forte tendance du table au retrait par suite de : chauffage trop rapide.
- Température trop élevée, en particulier au début de l'étuvage.
- Trop forte teneur en agglomérant ou en humidité.
- Craquelures au moment de la coulée d'un sable trop compact ou trop riche en silice, début de formation de gales.

B. Remèdes :

- Régler la composition du sable et l'étuvage, Reboucher les craquelures du moule.
- Voir les mesures propres à empêcher les gales-Augmenter la rapidité du moule.
- Diminuer pression du métal liquide (réduire la proportion d'argile et la teneur en eau et en augmenter la proportion du noir)

IV.3 GALES D'ANGLES

Excroissance métallique ayant la forme d'une lame mince de contour irrégulier située dans des angles rentrants, de coins ou au voisinage d'arêtes, à une distance de 2 à 5 mm de la surface et parallèlement à celle-ci. Lorsqu'elle est située du côté inférieur du moulage, elle est toujours accompagnée de queues de rats.

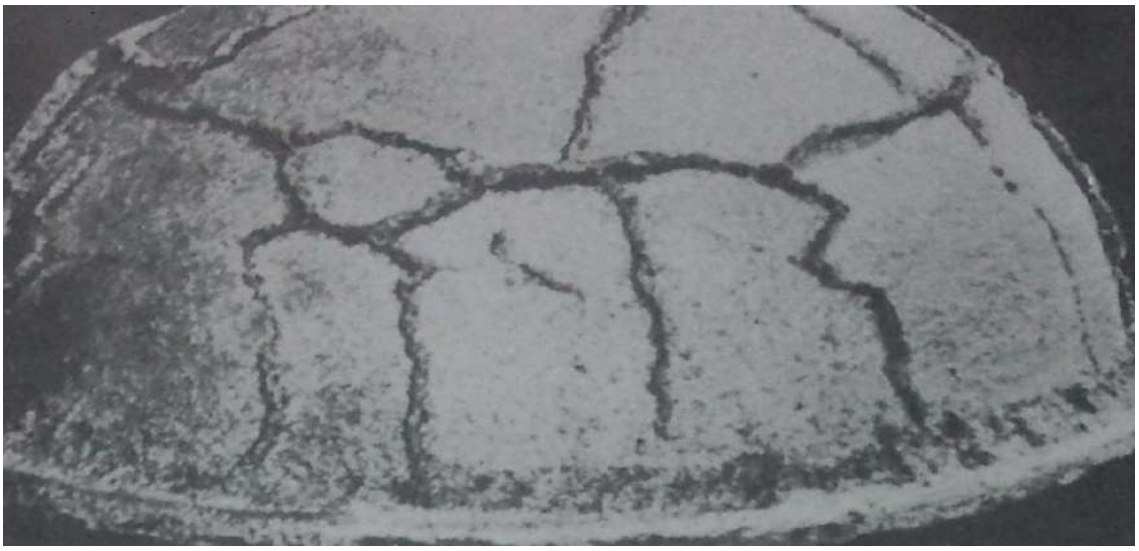


Figure IV-3 : Gales d'angle.

A. Causes :

- Formation d'une écaille de sable non rompue due à une irrégularité de dilatation de la silice.
- Ce défaut set moins fréquents en sable étuvé et dans ce cas il peut provenir d'un étuvage insuffisant en d'une reprise d'humidité au cours d'un trop long délai séparant l'étuvage de la coulée.

B. Remèdes :

- Diminuer le teneur en agglomérant au modifier sa nature.

IV.4 GERCE D'ANGLE

Excroissance en forme de lame mince divisant en deux un angle rentrant du moulage ; elle n'est donc ni parallèle, ni perpendiculaire à une face du moulage.

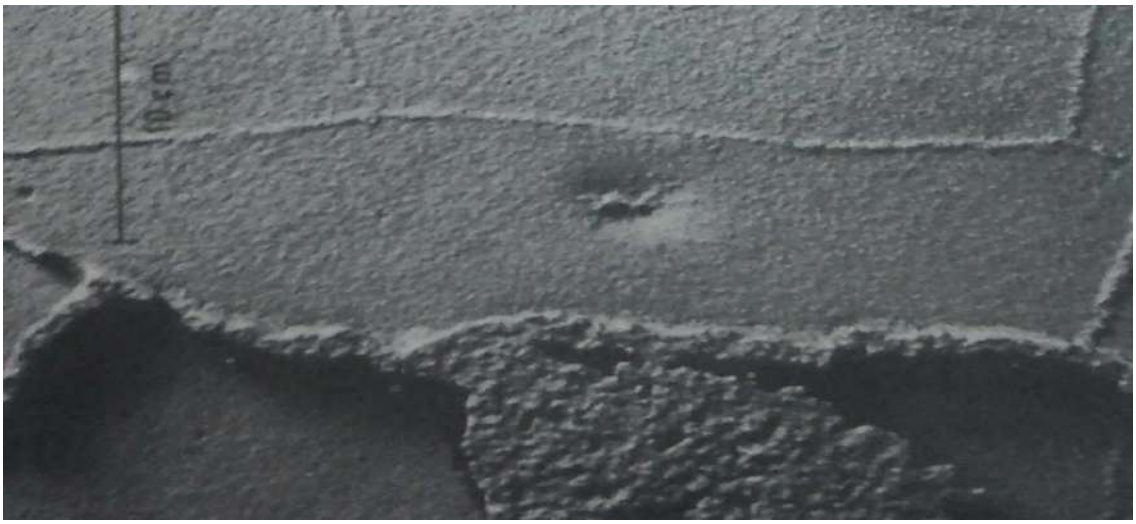


Figure IV-4 : Gerce d'angle.

A. Cause :

- Fente du moulage au noyau se produisant au cours de l'étuvage au de la coulée et pouvant entre favorisé parure trop forte proposition d'agglomérant dans le sable.

B. Remède :

- Diminuer le teneur en agglomérant au modifier sa nature (Elle n'est ni parallèle ni perpendiculaire à une surface du moulage).
- Elle est en forme de lame mince.

IV.5 SOULEVEMENT DE MOULE

Elle se trouve le long des joints du moule.

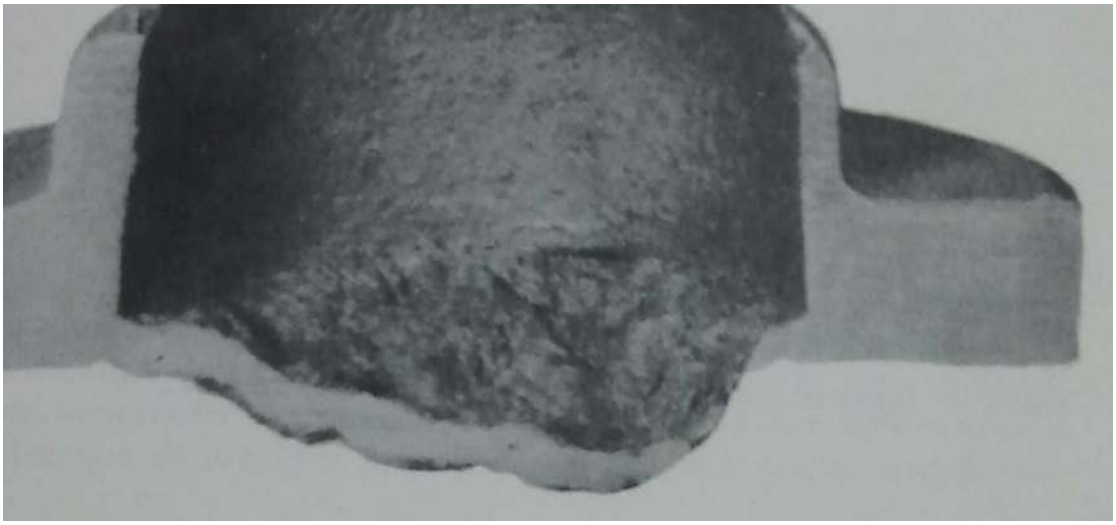


Figure IV-6 : Soulèvement de moule

A. Cause :

- Excès de pression, statique en dynamique du métal liquide qui produit un soulèvement de la partie de dessus si la charge n'est pas suffisante eu si le crampage est défectueux.

B. Remèdes :

- Proportionner la chagga à la poussée eu assuré un crémage correct si c'est possible réduire du jet de coulée.

IV.6 DEFONCEMENT

Excroissance en forme de voile irrégulier, plus en moins épais surface rugueuse et irrégulier, portant en général des inferieurs du moulage, en angle obtus.

A. Cause :

- Sous l'influence de la pression statique pendant la coulée, la résistance de la coulée de sable qui forme le moule est dépassé.
- Ce qui peut résulter d'une mauvaise disposition de l'empreinte dans le moule et ou d'une trop faible charge du châssis combinées avec un serrage du sable insuffisant ou irrégulier, le fond du moule est alors arroche.

B. Remèdes :

- Accroitre la résistance a vert du sable par un serrage suffisant et régulier et le choix d'un agglomérant approprie, présent à une teneur déterminée en fonction des efforts à supporter.
- Faire reposer les moules sur une aire plane et propres.
- Charger le moule, y compris le châssis de façon suffisante si possible démineur la hauteur de la descente de coulée.

IV.7 MOULE FONDU

Moulage de précision à modèle perdu se produit à la surface et passe par une zone de moindre résistance du moule.

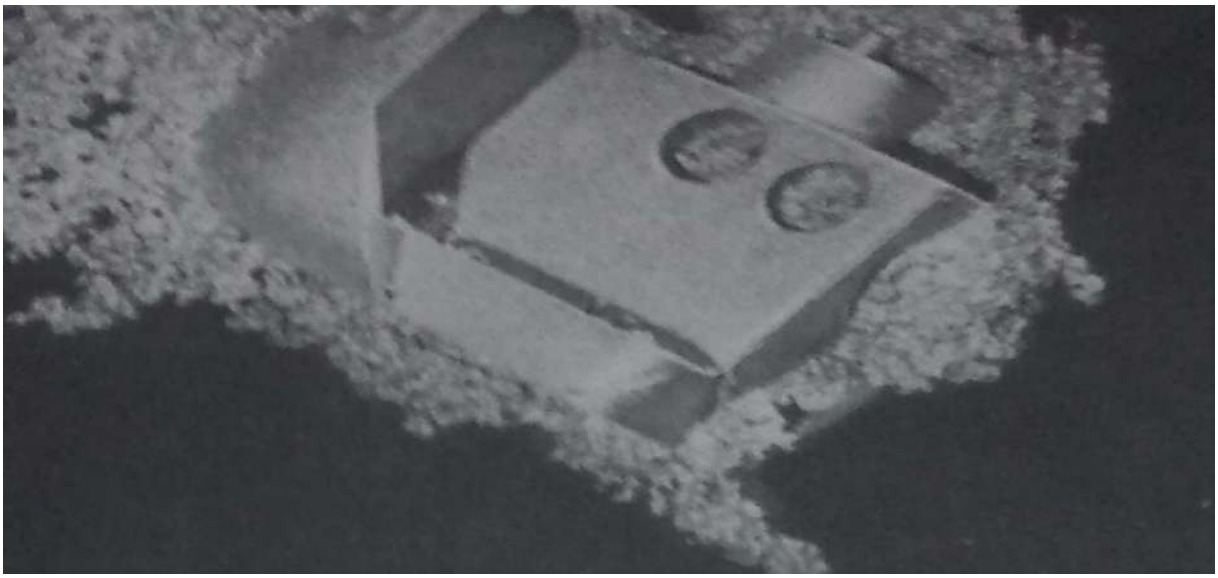


Figure IV-7 : Moule fondu

A. Cause :

- Le moule a été fondu-Lors des revêtements.
- Au moment du décrassage.
- Au cours du cycle thermique que le moule subit (moule-bloc).

Par suite d'un mauvais choix des marteaux ou d'une insuffisance de résistance des couches.

IV.8 FORÇAGE

Massives et irrégulières sur les faces Int et Ext et sur les arrêtés du moulage, étendues et rugueuses souvent en combinaisons avec les défauts (rugosité, pénétration, et gerces).

A. Cause :

- Serrage du sable insuffisant.
- Etuvage incomplet.
- Pression statistique et dynamique.

Déformation du moule sous l'effet du gonflement de la pièce provoqué par la formation du graphite en cours de refroidissement.

B. Remèdes :

- Augmenter le serrage des parties de moule sujettes au défaut au leur teneur en agglomérant.
- Substituer au sable vert de sable séché au durci le trace.

- Modifier la disposition de la pièce dans le moule ainsi que la trace des jets de coulée afin de diminuer la pression du métal liquide.
- Augmenter la rigidité du moule comme ci-dessus

IV.9 CHUTE DE SABLE

Excroissance irrégulière, massive à apparence de Saussure sur la face supérieure du moulage, on général sa contrepartie sous forme d'inclusion de sable ou manque de matière.



Figure VI-8 : Chute de sable.

A. Cause :

- Le sable de contact ou, de façon plus générale la couche de sable voisine du modèle, n'adhère pas assez au sable de remplissage et se détache.
- Au moment du démoulage (sable collé au modèle).
- Pendant la manutention du moule.

Pendant le remmoulage Le tenue insuffisante du sable provient d'un pouvoir agglomérant insuffisante (trop faible résistance à vert) moule réaliser en 2 couches sable de contact et remplissage ayant des propriétés à vert différentes.

B. Remèdes :

- Augmenter la proportion d'agglomérant dans le sable du moulage.
- Eviter de fortes différences de propriétés à vert et surtout de résistance, quand plusieurs sables doivent être employés dans un même moule.

- Vérifier le moule avant le remmoulage. Réparer les points endommagés au démoulage. Employer des pointes ou des crochets.

IV.10 SOUFFLURE D'ANGLE, EFFET LEONARD

Cavités dans l'angle rentrant d'un moulage se développent vers l'intérieur.

A. Causes :

- l'échauffement du sable donne lieu à des phénomènes de dilatation , vaporisation, déshydratation , distillation etc…….générateur de gaz dont la pression , qui s'ajoute à la pression atmosphérique peut être suffisante pour permettre leur pénétration dans la pièce en cours de solidification par les points singuliers de la surface qui se solidifient en dernier lieur particulièrement les angles rentrants.

B. Remèdes :

- Prévoir des congés aux angles rentrants.
- Diminuer l'emploi des produits susceptibles de dégager des gaz à chaud.
- Améliorer la perméabilité du sable et le système de tirage d'aire.
- Disposer un refroidisseur ou un noyau externe dans les parier sujettes au défaut.
- Augmenter la pression du métal liquide, nourrir.

IV.11 PIQEURES SUPERFICELLES

Petites coutés quelques fois de la dimension d'une d'épingle situé à le surface d'un moulage.

A. Causes :

Métallurgiques :

- Teneur excessive du bain en oxygène et éventuellement en hydrogène.
- Teneur élevée en éléments ayant une forte affinité pour l'oxygène, par exemple le titane et l'alu.
- Éventuellement contenus dans les produits inoculant.
- Température excessive.
- Rapport manganèse/Silicium défavorable et/ou des noyaux.
- S'agissant d'agglomérant organiques :
- Top forte teneur en urée.

FORMATION :

- Piqures superficielles : Réaction avec le carbone de scories riches en oxyde de fer et non saturées en silice, d'où production d'oxyde de carbone qui se dégage en piqures superficielles celles-ci pouvant être agrandies par un dégagement d'hydrogène diffuse.
- Piqures sous-cutanées : Oxydation superficiel Oxydation superficielles du jet de métal pénétrant dans l'empreinte par réaction avec l'oxygène de l'atmosphère du moule ou avec le constituant du matériau de moulage.

Réactionnels oxyde forme avec le carbone du métal liquide et dégagement d'oxyde de carbone ces réactions, dans les zones voisines de la surface provoquent des cavités pouvant se développer sous l'effet du dégagement d'hydrogène.

IV.12 SOUFFLURES AU VOSINAGE DE PIECES INSEREES

A. Causes :

- Pièces métalliques humides ou oxydées.
- Absence de protection métallique telle que zingage ou cuivrage.
- Condensation sur les pièces métallique par suite de part, le moule et les noyaux d'autre parte.
- Pièces insérées ou refroidisseurs souillés, hurleur ou recouverts de poteyage susceptible de libérer les gaz.

B. Remèdes :

- Employer que des pièces insérées galvanisées ou cuivrées bien nettoyer, sécher les pièces métalliques avant de les placer dans le moule.
- Eviter que le moule ou essaya noyaux aient un temps, supérieure à celle des pièces métalliques destinée à être insérées dans le moule.
- Enduire les refroidisseurs d'huile de lin et les sécher dans une enture à noyaux, dans le cas de moulage estivé, mettre une coudre de noir sur les surfaces ainsi préparées.
- Utiliser des refroidisseurs dont les surfaces de contact est cannelée.

IV.13 RETASSURE

Retassure communiquant avec l'extérieur généralement située à la partie supérieure des moulages ou de leurs parties massives forme générale d'entonnoir éventuellement prolongé par des cavités isolées.

Cavité débouchant dans des angles rentrants du moulage, aux attaques de coulées ou d'une façon plus générale aux points singuliers de la surface se caractérisant par une solidification tardive.

Elle peut se prolonger vers l'intérieur par des cavités isolées ou par des zones poreuses.

Les parois de ces cavités sont rugueuses, le plus souvent dendritiques sauf dans certains alliages eutectiques.

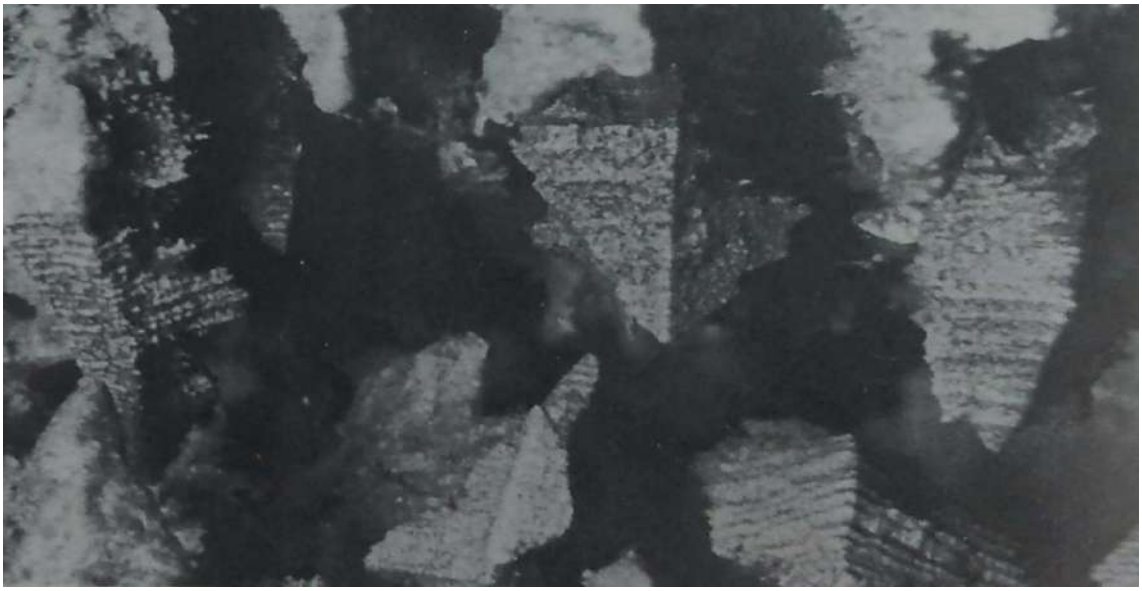


Figure IV-9 : Retassure.

A. Causes :

- Mêmes causes que la retassure ouverte mais avec intervention possible de la pression atmosphérique et de la pression des gaz dégagés par le moule.
- Le simple examen du défaut n'est généralement pas suffisant pour formuler un diagnostic.
- L'influence respective des principaux facteurs : Contraction de solidification, expansion (pour les fontes), gaz et atmosphère ne peut être précisée dans chaque cas particulier que par des observations en cours de fabrication et par des essais.

B. Remèdes :

- Plus particulièrement : Améliorer le tracé de la pièce par des changements de section progressifs, des congés dans les anglés, des nervures de refroidissement.
- Placer un refroidisseur dans l'angle sujet au défaut ou au contraire, l'alimenter si la forme de la pièce s'y prête.

- Utiliser une «masselotte atmosphérique» pour rétablir la pression atmosphérique dans la cavité de retassure en voie de formation et permettre son alimentation.
- Améliorer la perméabilité du sable et les tirages d'air dans les angles (effet Léonard).
- Prendre des dispositions permettant le libre retrait des parties de la pièce solidifiées en premier lieu et susceptible de «tirer» sur les angles des parties massives.

IV.14 REPRISE

Solution de continuité a bords arrondis. Ce défaut**,** nettement caractérisé, intéresse une partie ou la totalité de la section de la pièce et peut à la limite se réduire à un léger sillon à bords arrondis. Il peut être accompagné d'arêtes mal venue Il se produit sur les grandes surfaces ou dans les régions des pièces d'accès difficile pour le métal liquide ou dans la zone de rencontre de deux nappes de métal liquide.



***Figure V-10*:** Reprise

A. Causes :

- Coulabilité insuffisante.
- Coulée trop lente.
- Dégagement d'air insuffisant.
- En coulée sous pression, mauvaise soudure de courante de métal fortement Refroidis, qui ont une histoire thermique différente (ce qui se manifeste aussi par une différence de structure).

B. Remèdes :

- Couler plus chaud.
- Améliorer la coulabilité de T al liage.
- Accroître la régularité ou la vitesse de remplissage d'empreinte par une meilleure conception des attaques.
- Ménager des dégagements d'air suffisants

IV.15 DEFORMATION

La pièce présente dans l'ensemble ou localement des déformations par rapport au dessin**,** au modèle et nu moule, déformations qui peuvent sel répéter plus ou moins régulièrement surtout dans les régions comportant des différences d'épaisseur.



Figure V-11 : Déformation

A. Causes

Retrait contrarié :

- par le tracé de la pièce ;
- par les masselottes et attaques ;
- par des parties de moule et noyaux ;
- Mauvaise technique d'attaque et de coulée ;
- Retrait irrégulier causé par un décochage prématuré.

B. Remèdes :

- Modifier le tracé pour tenir compte des impératifs techniques.

- Choisir la technique de coulée ci d'attaque de façon que la répartition de la température dans la pièce soif aussi régulière que possible.
- Déterminer le temps de coulée et la température de coulée corrects.
- Prévoir des dégorgeoirs.
- Dégager les masselottes et attaques après la coulée.
- Disposer des noyaux d'écrasement.

IV.16 VARIATION

Les deux parties des cavités du moulage formées par un noyau présentent dans le plan de joint du noyau une translation relative ; mais, prises séparément, elles correspondent bien au dessin en ce qui concerne la forme et les dimensions.



Figure V-12: Variation

A. Causes :

- Un mauvais serrage du moule a écarté le sable de certaines faces verticales du modèle.

B. Remèdes :

- Munir la boite à noyau de repères corrects.
- Limiter le jeu des assemblages de la boite à noyau.
- Ajuster exactement les éléments dans le cas de noyaux collés.

IV.17 BULLE

Excroissances métalliques, à peu près sphériques à surface lisse. Sur les surfaces libres des moulages (coulés à découvert ou centrifugés.

- Les «perles» ont généralement une composition chimique différente de celle du métal de base.
- En moulage de précision, ce défaut apparaît, surtout dans les angles rentrants, les trous borgnes et les évidements.



Figure V-13: Bulle

Causes et remèdes :

L'eutectique qui se rassemble au joint des grains en fin de solidification peut être expulsé vers les espaces libres (surfaces découvertes de la pièce ou intérieur des tuyaux centrifugés), sous l'effet des pressions qui peuvent être engendrées par la graphitisation eutectique ou par le dégagement de gaz dissous ou par la contraction de la partie de pièce solidifiée.

Dans le cas de la fonte, ces gouttes sont généralement plus riches en phosphore que la masse de la pièce d'où leur nom.

Lorsque cette expulsion de liquide eutectique se produit à l'intérieur d'une souillure ou autre défaut interne en général il n'est pas nécessaire de remédier à ces excroissances.

IV.18 NON VENU

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



Figure V-14 : non venue

A. Causes :

- 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.

B. 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 heu.
- Améliorer la perméabilité et les dispositifs de dégagement des gaz.

IV.19 MANQUE

Une partie de la pièce manque, généralement à la partie supérieure du moule ou dans une région éloignée des coulées. Les arêtes A i endroit du défaut sont arrondies. Les surfaces avoisinant le défaut en général sont brillantes. Les jets de coulée, chenaux, attaques sont bien remplis.

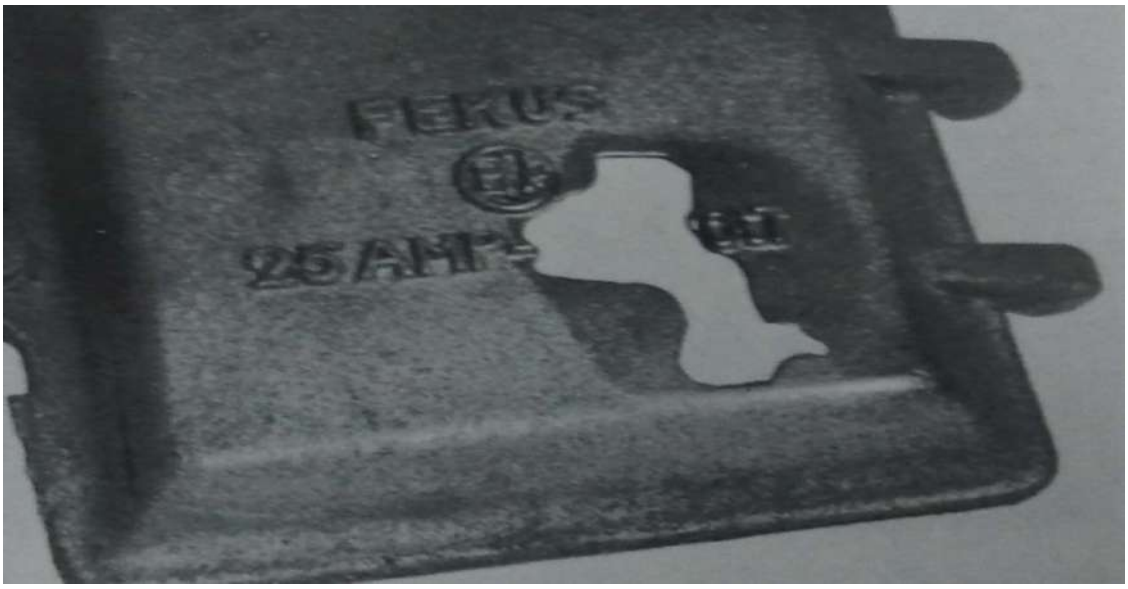


Figure IV-15 : Manque.

A. Causes :

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

B. Remèdes :

- Élever la température de coulée.
- Modifier la conception ou les dimensions du système de coulée.
- Prévoir des tirages d'air plus efficaces.
- Élever la température de la coquille. Si les conditions le permettent, s'entendre avec le client pour augmenter les épaisseurs de la pièce

IV.20 POINTS DURS

Inclusions dures plus ou moins finement dispersées, quelquefois grossières, situées dans toute la pièce, dans le cas de moulage sous pression d'alliage léger. Elles se manifestent surtout à l'usinage ou au traitement de surface.



Figure IV-16 : point dure.

A. Causes :

- Inclusions de corindon, spinelle, carbure de silicium, de constituants intermétalliques riches en fer

B. Remèdes :

- Conduite soignée de la fusion.
- Dans certains cas assez long maintien du métal liquide permettant la décantation des inclusions non métalliques.
- Ne pas employer de creusets en fonte garnis d'un poteyage non approprié.
- N'employer que des alliages purs.

IV.21 INCLUSION DE SABLE

Inclusion de sable de forme irrégulière, le plus souvent compactes au voisinage de la surface supérieure du moulage. Souvent visibles sur le moulage brut de coulée, mais pouvant n'apparaitre qu'à l'usinage. En général, il y a eu d'autres endroits de la pièce, des excroissances métalliques massives. Comme ci-dessus, mais il y a des cavités de 2à6 mm d'épaisseur, plus ou moins développées, avec en général des inclusions de sable attenants.

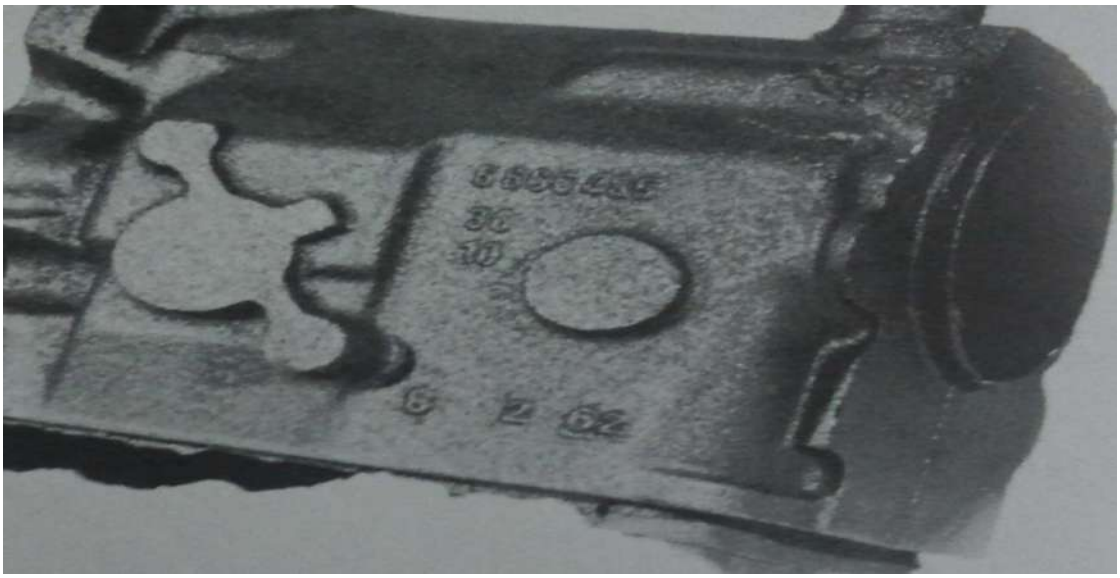


Figure IV-17 : inclusion de sable.

A. Causes :

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

B. Remèdes :

- Amélioration du pouvoir agglomérant du liant à haute température.
- Contrôle de l'étuvage du moule est des noyaux.

IV.22 DURETE

Zones martensitiques très dures de faible épaisseur à la surface de la pièce.



Figure IV-18 : La dureté.

A. Causes :

- Fort échauffement superficiel localisé suivi d'un refroidissement rapide par transmission de la chaleur à la masse froide de la pièce et à l'air ambiant.

Provoqué par :

- Echauffement lors du meulage,
- Production d'arc par suite d'un mauvais contact entre l'électrode et la pièce lors de l'essai magnétoscopique de contrôle de l'absence de fissure.

B. Remèdes :

- Réduire la pression lors du meulage.
- Effectuer le meulage de la malléable avant le recuit.
- Les mettre le courant que locales peuvent être facilement éliminée par un traitement de revenu (1 à 2h à 450-650 °C).
- Petites coutés quelques fois de la dimension d'une d'épingle situé à le surface d'un moulage.

IV.23 DEFAUT MOULE

Le moulage présente par rapport au dessin et au modèle des déformations générales ou locales non systématiques.



***Figure V-19* :** Défaut moule ;

A. Causes :

- Le modèle ou la plaque-modèle est l'objet d'une contrainte locale exagérée lors du serrage et subit une déformation élastique.

- Le modèle ou la plaque-modèle est placé sur un support ou un chantier gauche ou insuffisamment rigide.
- Pose du moule sur une surface non plane.
- Chargement exagéré ou irrégulier du moule.
- Crampage défectueux.

B.1 Remèdes :

- Couler des pièces d'essai et les vérifier.
- Renforcer les modèles légers par des « barres à boucher ».
- Placer le modèle sur un bien plan. Dans le cas d'une surface de joint non plane prépare une fausse partie précise. S'agissant de plaque-modèle montée sur un support, veiller à ce que ce support soit plan, que le serrage soit bien régulier.

V. SUIVIE D'UNE COMAGNE (POVAL)

Date de production et de contrôle : 01/O1/2014……31/O1/2014

V.1 CONTROLE DE QUALITE DE LA COMPAGNE

Produit	désignation	N° modèle	Quantité réalisé	Quantité rebut	%
Voirie	Cadre	850°850	1200	152	12.66
Joint gibault	Bride	125/20	800	118	14.75
Pompes	Roue	37917	1000	200	20
Vannes	Corps de Vanne	0300004	45	4	8.88
Divers	Support Etau	2009067	220	23	11.5

Tableau V-1 **:** Contrôle de qualité de la compagne.

V.1.1 LES PIECES PAR DEFAUT

Désignation	Cadre	Bride	Roue	Corps de vanne	Support Etau
N°modèle	850°850	125/20	37917	0300004	2009067
Quantité rebut	152	118	200	4	23
Bulle			47	01	
Baveur	17		16		23
Gale	106		12		
Def moul	2	37	01	01	23
Non venue	27	45	20	01	
Deform			15		
Variation			15		
Reprise			40	01	

Tableau V-2**:** les pièces par défaut.

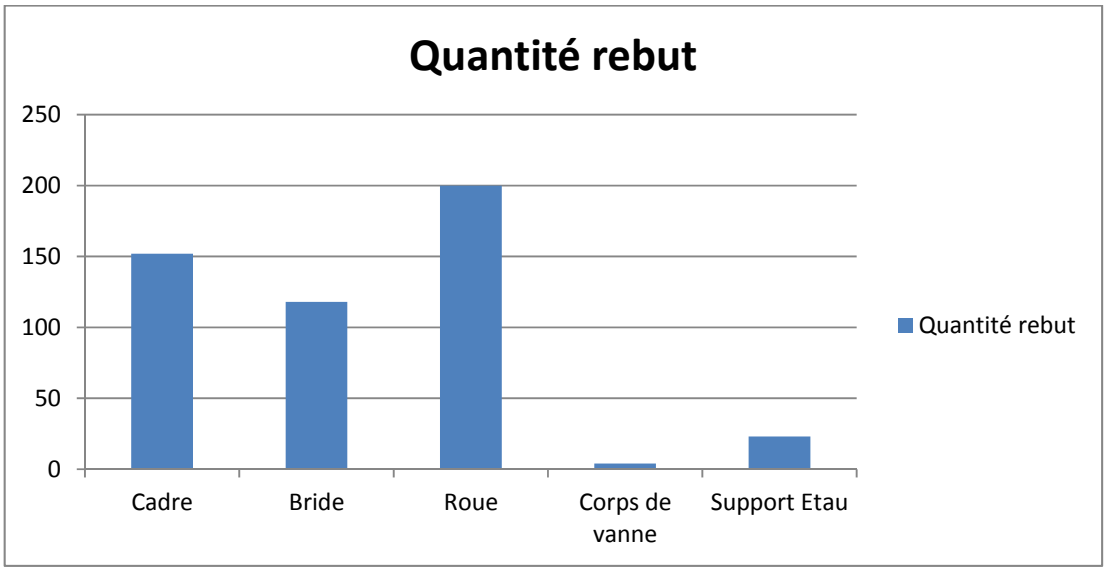


Figure V-1 : Quantité rebut.

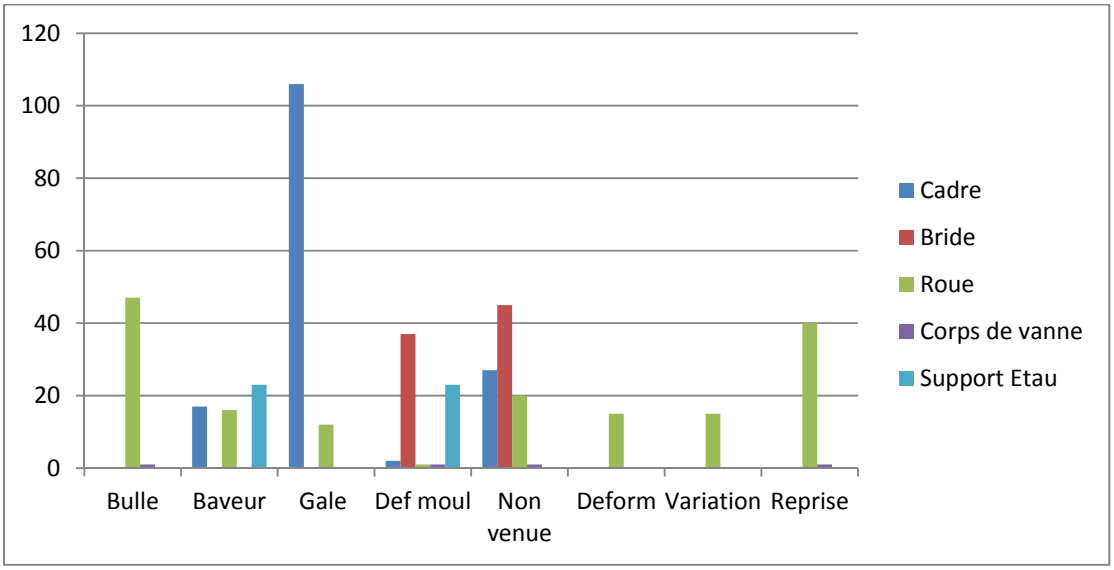


Figure V-2 : Les défauts d'une compagne.

V.2 LA ROUE DE POMPE

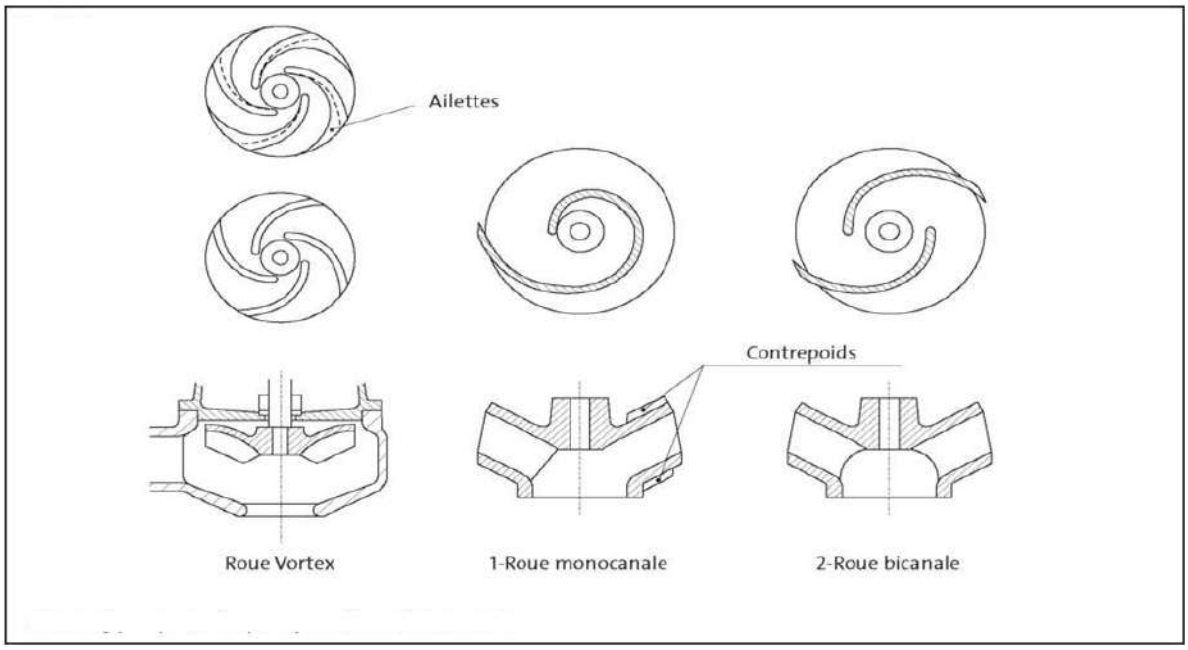


Figure V-3 : les types des roues de pompe.

V.2.1 ELABORATION DE LA ROUE DE POMPE FGL20

V.2.1.1 LES APPAREILS DE FUSION

Le four à induction :

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

- les pertes au feu sont réduites et constantes,
- les risques d'oxydation et d'absorption des gaz très diminués, sauf en fours à arcs,
- l'obtention des hautes températures est plus facile, ce qui est favorable aux 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).

V.2.1.2 SCHEMA DES OPERATIONS D'ELABORATION

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 (FGL) moulés dans une

fonderie moderne.

On distingue les étapes suivantes :

- préparation du lit de matières premières (ferrailles+additions).
- pesage précise.
- pennage des ferrailles vers les fours de fusion.
- fusion au four à induction.
- analyse d'un prélèvement.
- additions en poche de coulée ou de fin de fusion.
- parfois nouvelle analyse d'un prélèvement.
- transport des poches de coulée vers la chaine de moulage.

V.2.1.3 PREPARATION DU LIT DE FUSION

Les charges sont puisées dans les stockes de matières premières.

V.2.1.3.1 PARC A FERRAILLES

Ou sont classés, par type et analyse chimique :

1- les retours de fonderie constitués par des pièces rebutées, des masselottes, des jets de coulée…….

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

3- les paquets de tôles d'acier extra doux compacté.

4- des gueuses (hématite, semi hématite).

V.2.1.3.2 PARC DES MATI7RES D'ADDITION

Ou sont conservées, en sacs ou futs, toutes les additions susceptibles d'être opérées à la fusion ou en poche de coulée, citons :

1-les ferroalliages (Fe-Si ; Fe-Mn ; Fe-P ; Fe-Ti ; Fe-Cr……).

2-le graphite ; le cuivre en barre ou en fil ; le bismuth ; le SLAX ; le mis métal ; l'étain

V.2.1.4 FUSION DES CHARGES

Les charges sont bennées vers le four de fusion à induction, dont le quel elles sont versées. Elles sont introduites dans **bain résiduel** de la précédente coulée.

	Composition chimique		
Lit de fusion	C %	Si %	Mn %
2.514% de graphite	100	0	0
1.120% de Fe-Si à 65% à grains gros	0	65	0
0.734% de Fe-Mn à 76%	0	0	76
41.666% d'acier extra doux	0.08	0.05	0.34
35.898% de retour de fonte grise	3.25	2.25	0.75
18.068% de fonte hématite	4.8	0.7	3.28

Tableau V-3 : lit de fusion FGL20.

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 :

1. la composition chimique 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.
2. 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 rapport surface/hauteur d'acier liquide sont très défavorables. En fait, ces fours sont considérés 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.

V.2.1.6 ADDITIONS DE FIN DE FUSION

Nécessite :

Après fusion le bain d'alliage ne correspond pas exactement à l'analyse visée. Il y a eu des « **pertes au feu »** estimées approximativement par comparaison avec des coulées précédentes. Pour passer de l'analyse approximative à l'analyse exacte souhaitée, il est nécessaire d'opérer quelques additions de fin de fusion.

- ***autres opérations de fin de fusion* :**

➢ inoculer le bain lorsqu'on veut provoquer une cristallisation particulière (exemple : formation de graphite lamellaire dans les fonts GL 20

Les fonctions assurées par les éléments d'addition de fin de fusion sont :

➢ réajuster la composition du bain ;

➢ inoculer.

Rôle des éléments introduits :

➢ Dans le charger du four.

➢ Le Ferro-silicium (Fe-Si).

Alliage riche en Si, cet alliage libère le Si dans le bain :

Par son grand pouvoir réducteur accapare l'oxygène des oxydes métalliques qui proviennent :

➢ de la rouille des charges.

➢ de l'oxydation du bain à son brassage au contact de l'air.

Exemple : $2FeO + Si \rightarrow SiO2 + 2Fe$

La silice montre à la surface du bain par différence de masse volumique.

Elle protège le bain d'une oxydation ultérieure et sera liée à du **SLAX** (poudre de silicates) puis éliminée par décrassage.

- **Le Ferro- manganèse (Fe-Mn) : riche en Mn.**

Le manganèse libéré dans le bain joue un double rôle :

- réajuste le titre en Mn du bain à la valeur souhaitée et conférer de résistance, sans élever de trop le titre en carbone.
- Désulfurer le bain, surtout dans le cas des fontes grises.

Le sulfure de manganèse passe en très grande partie dans la scorie à la surface du bain, d'où il peut être éliminé par décrassage.

- **Graphite**

V.2.1.5 COULEE DES ECHANTILLONS

En vue de préparer nos échantillons destinés à la métallographie, la dureté nous avons procédé comme suit :

1 -Pulvérisation des ferroalliages dans un broyeur.

2 -Confection des moules en sable en résine furanique auto- durcissant à froid pour la coulée des éprouvettes cylindriques de diamètre 20 mm et de 300 mm de longueur (figure V-2).

3 -Fusion de la fonte et addition des ferroalliages. L'inoculation de la fonte est faite dans le moule.

4 Découpage des échantillons en plusieurs parties pour différents essais.

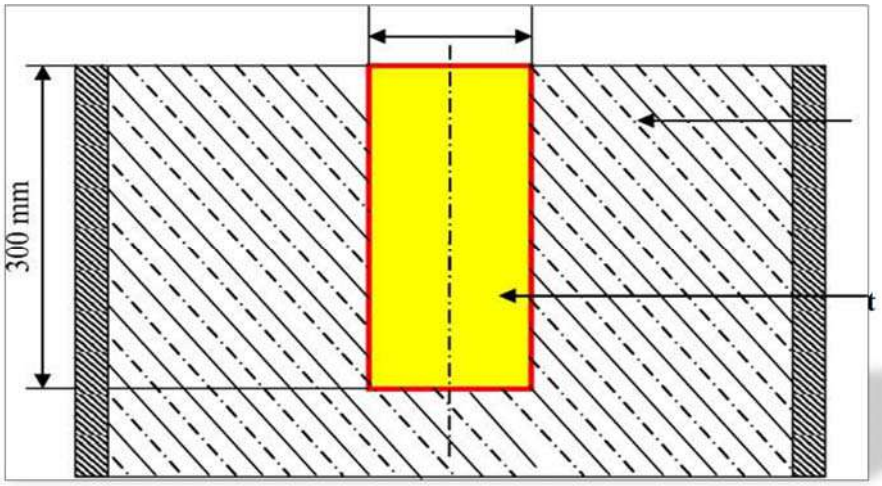


Figure V-4 : méthode de coulée échantillons.

V.2.1.5.1 ANALYSE D'ECHANTILLON

On obtenu ainsi cette « **médaille** » qui est envoyée au laboratoire pour analyse rapide (spectromètre à étincelles par exemple). Le résultat de cette analyse est comparé à celle souhaitée.

Il est alors décidé de rectifier l'analyse en apportant dans le bain quelques éléments.

V.2.1.5.1.2 ESSAIS MECANIQUE

Les pièces moulées en fonte à graphite lamellaire sont constituée matériau caractérisé par la résistance à la traction mesurée sur des éprouvettes usinées soit dans des échantillons coulés à part, soit dans des blocs-échantillons attenant ou adhérent aux pièces.

Les essais mécaniques sont les plus pratiques pour la détermination des propriétés mécaniques des pièces coulées...

Les caractéristiques déterminées par les essais mécaniques Sont:

- L'aptitude à la déformation plastique ou élastique Pour essai de traction**.**
- La résistance à la pénétration d'une pièce dure soumise à une pression constante (dureté).

V.2.1.5.1.3 ESSAI DE TRACTION

L'essai de traction est effectué suivant les prescriptions de la norme NFA 03-151(sur une éprouvette usinée de 20 (mm) de diamètre (Figure III-3) pour les échantillons coulés à part, sur laquelle un effort croissant est exercé de façon continue suivant l'axe de cette Éprouvette jusqu'a rupture, en même temps en enregistrant la déformation de éprouvette.

L'essai de traction définit un ensemble de caractéristique dont les dont les principales sont**:**

- La limite élastique (**Re**): exprimée en (dan/mm^2).

  C'est la contrainte minimale qui produit une déformation permanente du métal.

  $\boldsymbol{Re = Fe / So}$

- a charge de rupture (**Rr**): exprimée en (dan/mm^2).

  C'est la charge maximale atteinte au cours de l'essai

  L'allo $\boldsymbol{Rr = Fm / So}$

- augment après rupture(**A**): exprimé(%).

  $\boldsymbol{A}(\%) = (\boldsymbol{Lu - Lo / Lo}).100$

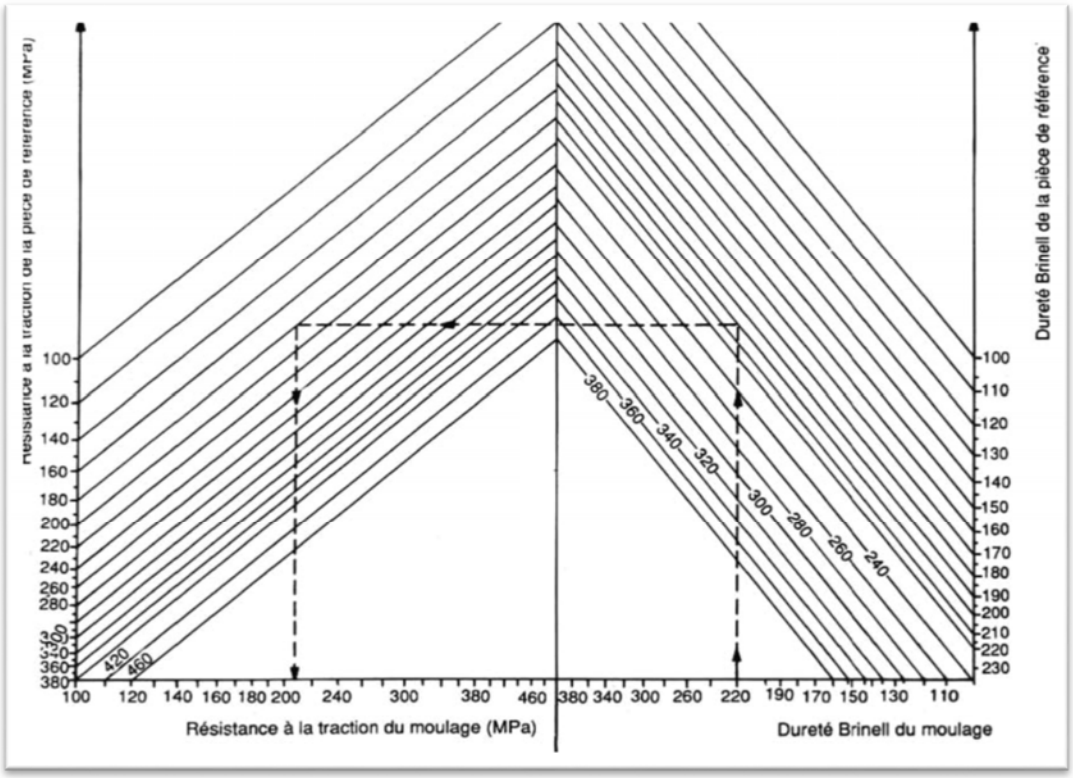


***Figure V-5*:** Abaque permettant de calculer la résistance à la traction d'un élément de pièce moulée, connaissant sa dureté, ainsi que la résistance et la dureté d'une pièce ou éprouvette de la même fonte, servant de référence.

V.2.1.5.1.4 ESSIA DE DURETE

La dureté caractérise la résistance à la déformation.

L'essai consiste à enfoncer un pénétrateur dans le métal à essayer.la charge est constante, on mesure la dimension de l'empreinte.

L'empreinte est d'autant plus grande que le métal est moule.

V.2.1.5.1.4.1 ESSAI BRINELL

L'essai consiste à imprimer dans la pièce à essayer une bille en acier ou en tungstène de diamètre "**D**" sous une charge "**P**" et à mesurer le diamètre "**d**" de l'empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge.

La dureté (**HB**) est un nombre proportionnel au rapport (**F/S)** :

$$HB = 2P/\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2}).$$

V.2.1.5.1.5 MICROGRAPHIE

L'examen micrographique a pour but principal la mise en évidence de la structure de l'échantillon et des inclusions non métalliques lors de l'observation au microscope optique.

Pour l'observation de la surface d'examen on doit passer par les différentes étapes suivantes:

- Prélèvement de l'échantillon: Il faut éviter une modification de la structure du métal résultant soit d'un échauffement soit d'un dé formation (écrouis sage).
- Enrobage: qui s'effectue avec la résine.
- Polissage: qui consiste à rendre la surface plane et brillante et ne présente aucune rayure.
- Attaque chimique: Elle se fait avec du NITAL 3 % pendant 20 secondes environ.

L'observation des échantillons a été faite par un microscope optique équipé d'une caméra vidéo marque « LEICA » assisté par ordinateur (figure V-4). L'ensemble des micrographies ont été prises avec un grossissement de 200.



Figure V-6: Microscope utilisé pour l'étude métallographique.

V.2.1.5.2 LE RESULTAT D'ANALYSE

	FGL 20
Graphite	B et E admis
Matrice	Perlite
Dureté 3000/10/30	187 à 277
Rm (daN/mm^2)	> 25
% Carbone	3.2 à 3.5
% Silicium	1.6 à 2.00
% Manganèse	0.70 à 1.00
% Soufre	< 0.10
% Phosphore	< 0.15
% Magnésium	
% Cuivre	0.5 à 0.8
% C.équivalent	3.7 à 4.2
Autres éléments chimiques	Traces

Tableau V-4 : analyse chimique et mécanique.

V.2.1.7 LA COULEES

La coulée du métal liquide dans un moule constitue la phase finale du processus de création de la pièce après la confection du moule et l'élaboration du métal.

Cette rencontre d'un métal à haute température et d'un moule, généralement à température ambiante, nécessite de prendre beaucoup de précautions pour garantir la bonne venue de la pièce et la sécurité du personnel.

On surveillera particulièrement les trois paramètres principaux de cette opération.



Figure V-7 : la coulée**.**

- Moule :

Il devra être parfaitement sec et exempt de toute trace d'humidité qui pourrait entraîner des risques d'explosion, de soufflures ou de piqûres dans les pièces, notamment lorsque les moules comportent des refroidisseurs. De nombreux systèmes existent pour sécher et réchauffer les empreintes avant la fermeture des moules (par exemple séchage à la flamme d'un chalumeau à gaz, séchage par rayonnement de panneaux infrarouges, etc.).

- Métal liquide :

En provenance des appareils de fusion, le métal liquide devra être à la bonne température, avoir une analyse correcte, être très propre, sans crasse ; sans peaux d'oxyde ni autres impuretés qui pourraient compromettre la santé de la pièce.

D'où la nécessité de bien décrasser le métal à chaque transvasement, et notamment dans la poche de coulée et au bec de celle-ci, à la naissance du jet de coulée, pour éviter tout entraînement de crasse dans le moule.

L'emploi de poche théière avec barrage est particulièrement recommandé pour assurer un bon décrassage du métal.

- Coulée :

Elle se fera en respectant un certain nombre de règles simples :

Bon centrage du jet de coulée dans le godet de coulée au départ, pour éviter toutes projections du métal et risque de gouttes.

V.2.2 MOULAGE ET NOYAUTAGE

V.2.2.1 AUTRES PROPRETES ET PRINCIPALESUTILISATION DES FONTES MOULAGE EN MOULE NON PERMANATE

Le moule réalisé avec (les matériaux à structure granulaire, Comprend une ou plusieurs parties.

L'empreinte est faite avec un modèle donnant aux matériaux de moulage tout ou partie des formes de la pièce.

Un système d'attaque permet le remplissage de l'empreinte et vin système d'alimentation augmente la compacité de la pièce».

L'extraction de la pièce nécessite la destruction du moule, les matériaux: du moule étant généralement recyclés.

Le procédé utilisé est le moulage à vert à main.

V.2.2.2 MOULAGE EN SABLE A VERT.

Le sable silico-argileux naturel de carrières ou synthétique humidifié afin de donner à l'argile la plasticité nécessaire pour faire épouser au sable les formes extérieures de la pièce.

D'une façon générale, le moulage à vert s'adresse à des pièces ni très hautes, ni très épaisses.

Le sable à vert étant compressible, le retrait du métal coulé s'opère sans difficultés et il y'a peu de risques criques dans les pièces.

Le refroidissement du métal est rapide, mais apporte parfois une légère dureté superficielle que l'on peut atténuer, si non faire disparaitre, par certains artifices de modelage.

V.2.2.2.1 LE MOULAGE A VERT A LA MAIN

Toutes les opérations de serrage du sable, de démoulage du modèle de finition de l'empreinte et de remoulage des noyaux sont réalisées à la main.

V.2.2.2.2 MATERIAU DE MOULAGE

- Sable de remplissage; Nous avons utilisés un vieux sable.
- Sable de contact de composition :
- Sable neuf de carrières étuvé à 150°C. …… 40.81%
- Silice 95 à 97% (parfois 90 à 97% selon les adjuvants)
- Noir minéral 2 à 6% (5 à 6% en général)
- Argile colloïdale 3 à 5% (3 à 10%)
- Eau 2 à 3%

Formule courante :

- Silice 94%
- Argile 6%
- Eau 4%

V.2.2.2.3 ANALYSE DE SABLE

1- Humidité

Le sable est séché pendent 8 minutes dans un appareille de séchage à rayon infrarouge.

Nature de sable	Masse avant séchage mi (g)	Masse âpres séchage mf (g)	Humidité (%) H= m – mf / mi
Vieux	20	18.35	8.25
contact	20	8.66	6.72

Tableau V-5: Humidité.

2- Essais de perméabilité, compression et cisaillement

La perméabilité est la faculté que possède un sable de se laisser traverser par les gaz qui se dégagent lors de la coulée du moule.

Nature de sable	Dimensions de l'éprouvette D = H (mm)	Poids de l'éprouvette (g)	Perméabilité v = volume/temps	Compre-ssion	Cisaillem-ent
Vieux	50	150	88	97	53
contact	50	150	112	128	95

Tableau V-6: essais de perméabilité, compression et cisaillement.

V.2.2.2.4 LE MODELAGE

Le modèle est une représentation sous forme d'une pièce ou ensemble de pièces de l'objet à fabriquer et permettant la confection de l'empreinte du moule en sable.

Il est exécuté en bois ou en métal d'après le dessin de fabrication, c'est à dire le matériau utilisé pour la confection du modèle dépend essentiellement du procédé de moulage (manuel ou mécanique).

Un modèle doit posséder :

- Une bonne résistance contre les contraintes mécaniques.
- Une bonne résistance contre les contraintes chimiques (humidité, liant du sable, gaz etc.).
- Une bonne résistance contre les contraintes thermiques (échauffement du modèle dans les différents procédés de moulage).
- Une précision de la forme et des dimensions.
- Bas prix de revient.

Le bois reste depuis longtemps la matière essentielle pour la confection des modèles. Pour chaque type de bois en trouve des propriétés différentes. On utilise surtout des bois traités, sans fissures et sec (moins de 10% d'humidité) pour prévenir leur déformation au cours du séchage.



Figure V-8 : le modelage.

V.2.2.2.5 NOYAU ET BOITE A NOYAU

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

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

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



Figure V-9 : noyaux de la roue.

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

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

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

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

SABLE A NOYAUX

Les noyaux sont le plus souvent fabriqués en sable aggloméré. Ce mélange est réalisé dans un malaxeur muni d'une vis sans fin qui mélange les différents produits.

Les procédés les plus utilisés en POVAL dans le noyautage sont:

- Le furanique

1. Le châssis

On a deux parties :

- Partie supérieure ou châssis de dessus.

- Partie inférieure ou châssis de dessous.



Figure V-10 : les châssis.

La partie inférieure du moule de sable :

La fabrication d'un moule de sable nécessite la création d'une matrice enchâssée dans un cadre de bois composé de deux parties: la boîte du dessous ou première partie de cette matrice et la boîte du dessus ou seconde partie est aussi appelée la calotte. Ces deux boîtes sont ensuite maintenues ensemble au moyen de crampons.

Toutes les étapes de la fabrication du moule sont effectuées à la main en portant une grande attention au travail, car il suffit de peu pour échouer. Le tableau 1 illustre les différentes phases de la chaîne opératoire que doit suivre le mouleur pour exécuter un moule de sable.

Avant de commencer la production de moules, le mouleur organise son espace de travail de façon à avoir tout son outillage, appelé ici «moyens de travail», à portée de la main. Cette mise en place revêt de l'importance, car elle évite des déplacements inutiles qui pourraient causer une perte de temps, situation inadmissible au cours de certaines phases.

Le mouleur commence toujours son travail par la boîte de dessous qui reçoit la partie la plus volumineuse du modèle de pièce à mouler. Il dépose un panneau de bois sur le sol, puis il y dépose le premier châssis. Le châssis, fait de bois, possède une forme carrée. Deux de ses côtés se prolongent et s'amincissent pour servir de poignées et en faciliter le transport. Les dimensions du panneau et du châssis ont été préalablement déterminées par le mouleur en fonction de la grandeur de la pièce à produire.

L'ouvrier prend alors les modèles, en l'occurrence deux roues d'engrenage et il les dépose bien à plat sur le panneau, séparées l'une de l'autre tout en veillant à ce qu'elles ne touchent pas les parois du châssis. Cette disposition où les pièces ne sont pas contiguës permet au mouleur de les recouvrir entièrement de sable. Mais avant de procéder à cette phase, il étend une couche de poudre blanche relativement épaisse sur les modèles ainsi que sur le fond du châssis. Cette pellicule a pour effet, au moment du dégagement, d'empêcher le sable d'adhérer aux modèles ou au fond du châssis. Pour procéder à cette opération, on utilise une poche de toile contenant la poudre blanche que l'on étend uniformément sur toute la surface.

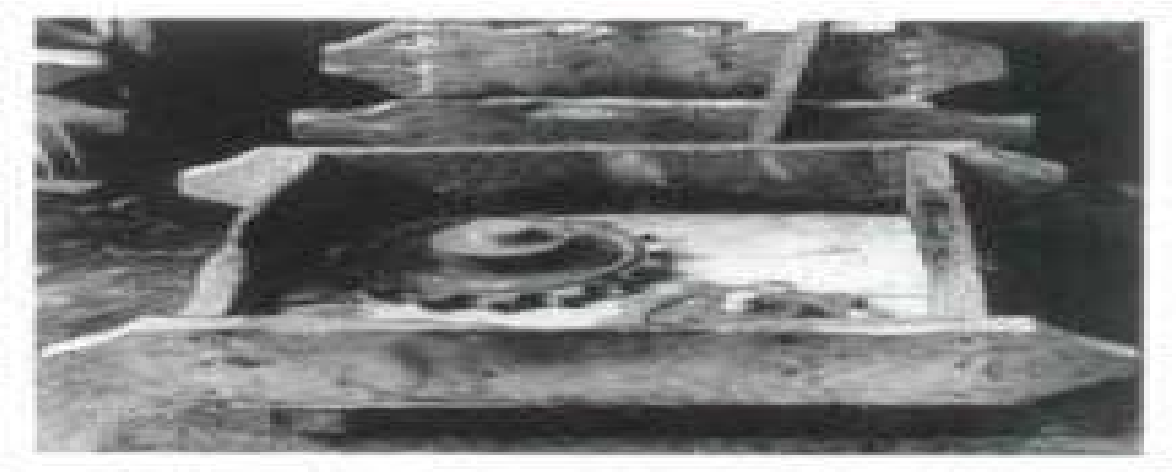


Figure V-11 : La mise en place des modèles de bois.

A l'étape suivante, on dépose une certaine quantité de sable sur les modèles sans les déplacer. Deux types de sable sont employés dans la fabrication du moule exécuté ici et ce, pour atteindre des buts différents. Le premier est constitué d'un mélange de sable fin additionné d'une colle forte ou colle animale; ce mélange est ensuite gelé au gaz carbonique, d'où le nom de «C02 » que lui donnent les ouvriers de la fonderie. Il s'agit là d'une pratique moderne de durcissement du sable ayant la propriété de rendre l'objet de fonte plus résistant, tout en lui donnant un fini plus lisse. On a recours à ce sable pour produire des objets à la surface particulièrement dure et unie. Le deuxième type de sable couramment utilisé est le sable des fondeurs, un minerai glaiseux que l'on importe directement des États-Unis.

Autrefois, on employait un sable vert qui, une fois bien tassé, donnait un fini très résistant à l'objet de fonte car à l'époque, on ne gelait pas les moules.

Le mouleur prend le sable dans ses mains et il en recouvre délicatement le modèle. Il presse ensuite très doucement le sable afin de ne pas laisser de vide. On n'utilise que les mains pour cette opération, car l'emploi de n'importe quel outil risquerait de déplacer les modèles. Par la suite, le mouleur, à l'aide d'un tamis et d'un geste très rapide, étend une mince couche de sable des fondeurs sur tout le fond du châssis.

On recouvre délicatement les modèles de sable à l'aide d'une pelle. Puis, on foule le sable à l'aide des pieds ou de la poignée de la pelle faisant fonction de pilon. Notons que le mouleur doit exercer une pression suffisante avec ses pieds pour bien tasser le sable, sans toutefois déplacer les modèles enfouis dans le châssis.

Après ce premier foulage, on répète l'opération avec quelques pelletées de sable qui seront tassées avec les pieds. On rajoute une pelletée de sable qui sera foulée avec le petit rameur, communément appelé un tapeur. Cet outil constitué d'une simple barre de métal repliée à une extrémité mesure près de 93 cm. Les coups du petit rameur sont appliqués en succession serrée et selon une méthode particulière permettant d'obtenir un plus grand impact sur la masse foulée. Le mouleur remplit encore une fois la boîte de sable qu'il tasse avec ses pieds pour la combler de nouveau. Cette fois, il tasse le sable avec le gros rameur en répétant les mêmes gestes que ceux posés précédemment avec le petit rameur. Le gros rameur ressemble au tapeur. À cette différence près que l'extrémité de la tige teste droite et se termine par une masse de métal rectangulaire d'une épaisseur d'environ 5 cm. Comparé au petit rameur, la masse du gros rameur permet d'accroître la violence de l'impact sur le sable.

Pour une boîte de grande dimension, le mouleur peut avoir recours à un marteau pneumatique afin de tasser plus efficacement le sable et d'économiser du temps. Cependant, l'emploi du marteau pneumatique pour le moulage d'une pièce de dimensions moyennes risquerait de faire éclater la boîte sous la pression du sable.

On dépose ensuite sur le haut du châssis un panneau de bois de même dimension que celui du fond de la boîte. Deux crampons, un de chaque côté de l'ensemble formé par le châssis, le fond et le couvercle sont «posés en chicane» et resserrés à l'aide d'un marteau afin de donner plus de solidité à l'ensemble. Un deuxième mouleur vient prêter main-forte à son compagnon et ils retournent la boîte le plus délicatement possible. Le couvercle devient alors

le fond et le fond devient le couvercle. On retire les crampons en frappant de très légers coups de marteau pour que le sable ne s'affaisse pas et pout que les modèles ne se déplacent pas à l'intérieur du moule. Cette opération terminée, on retire le couvercle de bois.

Le couvercle enlevé, la face opposée du modèle qui reposait sur le fond avant que la boîte ne soit retournée se tait jour. On enlève le sable recouvrant les dents de la roue d'engrenage à l'aide de la cuillère et on le jette au centre du modèle. Plus tard on utilisera une truelle pour l'enlever. Cet outil sert également à lisser les joints afin de produire un moule partait ainsi qu'à faire les réparations et le finissage nécessaires. On procède toujours en partant des parois extérieures du modèle pour revenir vers le centre et en exerçant le moins de pression possible. Quelques coups de soufflet assurent le nettoyage des modèles. Le jet d'air est projeté selon un angle d'environ 45 degrés à partir d'une extrémité de la boîte en direction du côté opposé.

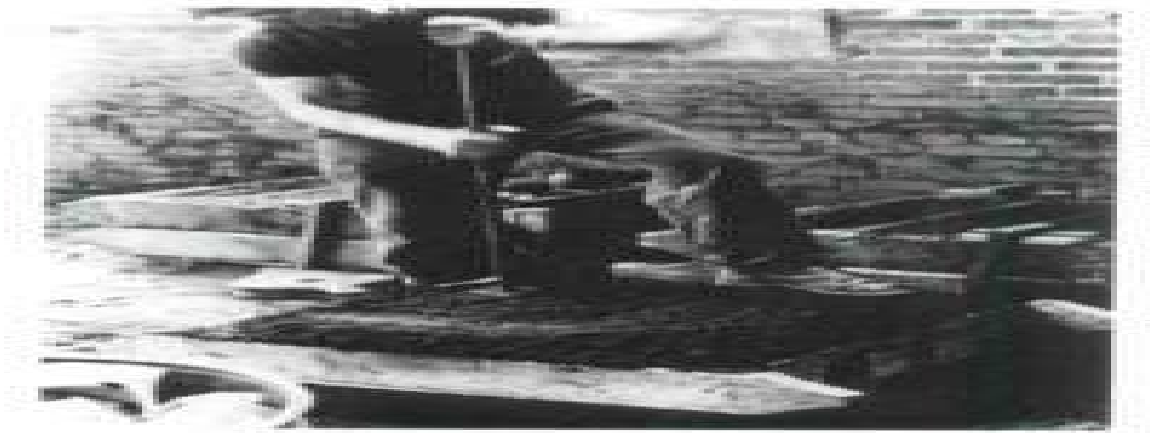


Figure V-12 : nettoyage.

On emploie la truelle pour un modèle de grande dimension. Il en est tien même du boyau à air comprime pouvant remplacer le soufflet afin de nettoyer plus rapidement et plus efficacement de grandes surfaces.

Une épaisse touche de poudre blanche, mentionnée plus haut, est ensuite étendue sur toute la surface du châssis. Elle empêchera l'adhésion du sable à l'autre cadre. Enfin, on nettoie la surface des modèles de bois à l'aide d'un pinceau pour enlever toute particule.

La partie supérieure du moule de sable :

Après avoir déposé la deuxième moitié des modèles sur la première moitié qui s'est fait jour suite à l'enlèvement du couvercle, on fixe une autre boîte, la calotte, sut la première boîte ou châssis. Ce second cadre, fait de planches, est séparé en trois sections et il est traversé de haut en bas par trois bâtons de bois dont l'un, le plus gros, une fois retiré, permer le passage du jet de coulée. Les deux autres bâtons, plus petits, créeront des vides, les évents, d'où s'échapperont les gaz provoqués par le métal en fusion. On étend une couche de sable tamisé sur le tond du deuxième bâri. On dépose des crochets ou équerres, préalablement trempés dans un mélange de glaise pour faciliter leur adhésion au sable, dans le fond du deuxième châssis et de biais pour ne pas empiéter sur les modèles de bois, (x-s équerres permettent aussi d'éviter un affaissement du sable à l'intérieur du moule).



Figure V-13 : la mise en place des crochets ainsi que des d'évents et de coulée.

Le mouleur jette délicatement une petite quantité de sable sut la base de ces crochets et sur les modèles. Il remplit les trois sections du châssis en prenant soin de ne pas faite bouger les bâtons de bois, ce qui leur ferait perdre toute fonction de soutien. On foule alors le sable le plus profondément possible, section par section, avec le petit rameur: d'abord tout près des bords, sans toutefois les toucher, et ensuite vers le centre. Cette méthode permet de durcir le sable à tous les niveaux de façon égale.

On comble de sable le châssis à l'intérieur duquel on le tasse en utilisant le gros rameur, de la manière décrite antérieurement. On répète l'opération et on accumule l'excédent de sable, vis-à-vis des traverses séparant le cadre en sections, en trois lisières. On les enfonce au petit rameur en veillant à éviter de frapper les bords du châssis, de toucher aux trois bâtons de bois

ou de déplacer ces derniers. On rejette le surplus de sable avec une brosse. Les ouvriers appellent cette opération évasée. On s'abstient d'utiliser la règle à araser de crainte de faire bouger les bâtons de bois ou les bouts des crochets. Une fois la surface bien nettoyée, on retire délicatement les trois bâtons.

Le ventoir, une longue aiguille emmanchée, sert à percer toute la surface de la masse foulée, à tous les 10 cm pour créer une circulation d'air à l'intérieur du sable. On enfonce le ventoir dans le sable jusqu'à ce qu'on pique le modèle de bois. On maintient la tige du ventoir en place par un «stopper» au cours de la prochaine opération où il faut retourner la calotte et la déposer sur un échafaud de bois. On fait alors appel à un deuxième ouvrier.

Le mouleur humecte les contours du modèle de bois avec une poire-éponge ou faubert pour empêcher le sable de s'effriter. Il frappe délicatement avec le marteau la cheville de bois des deux modèles de la boîte, ce qui permet de tasser le sable sur le pourtour des modèles et de gagner les quelques millimètres nécessaires pour retirer les modèles sans créer de débris de sable. On retire les formes en les saisissants par leur cheville de bois et en tirant à la verticale.

Pour nettoyer la matrice et la raffermir, on jette un peu d'eau sut les bords du moule avec la poire-éponge, et on rabat légèrement avec les doigts les bavures aux arêtes saillantes des cavités laissées par le retrait des modèles.

Sur la face extérieure de ce châssis, le mouleur, à l'aide du chemin, petit instrument de tôle en forme de gouttière, agrandit la partie supérieure des évents et du jet de coulée, leur donnant ainsi la forme d'un entonnoir. Une foix remplis de fonte, ils prendront le nom de masselotte, soit la portion de métal en excédent qui adhère à une pièce de fonderie. Le mouleur, à l'aide du soufflet, enlève le sable ou tout autre débris qui auraient pu se glisser à l'intérieur de ces ouvertures.

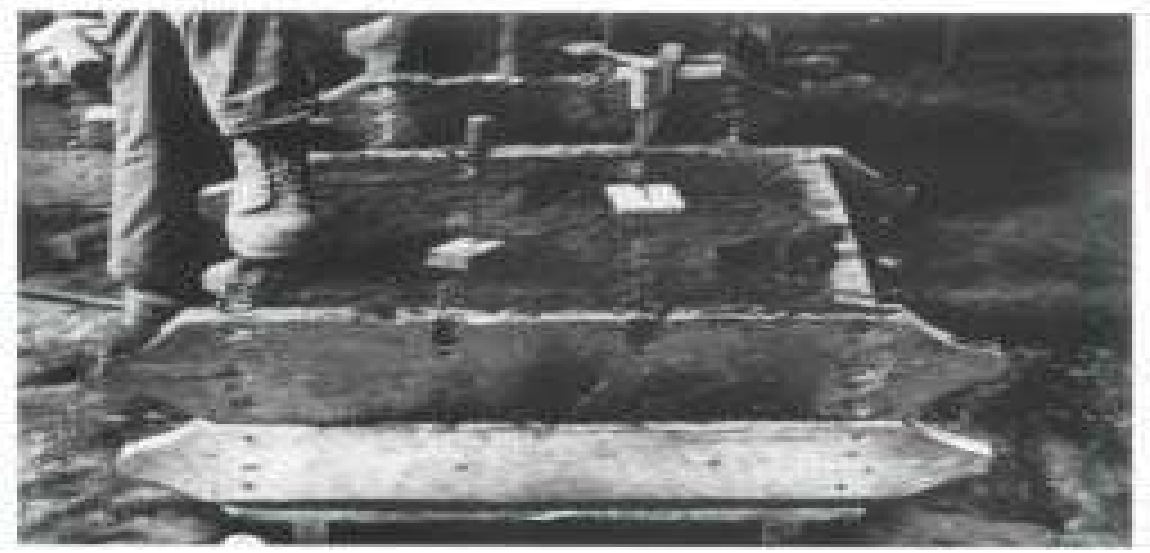


Figure V-14 : jet de coulée.

Le mouleur laisse de côté ce châssis et reprend celui du dessous qui est resté au sol. Il introduit le «pin à râper» ou pointes à ballotter dans un trou pratiqué au centre de l'un des modèles, la tient de sa main gauche, et de son autre main, donne quelques coups de marteau sur cette tige de fer afin de faciliter le dégagement du modèle. Il répète les mêmes gestes avec le deuxième modèle. Cette opération peut aussi s'effectuer à l'aide d'une vrille vissée dans le modèle de bois.

Comme pour les modèles précédents, on humecte les arêtes saillantes et on rabat les bavures avec les doigts. On répète l'opération pour les tranches du chemin de coulée creusées à l'aide du chemin (petit instrument qui sert à agrandir). Les tranches du chemin de coulée permettront d'acheminer la fonte jusqu'au trou de coulée.

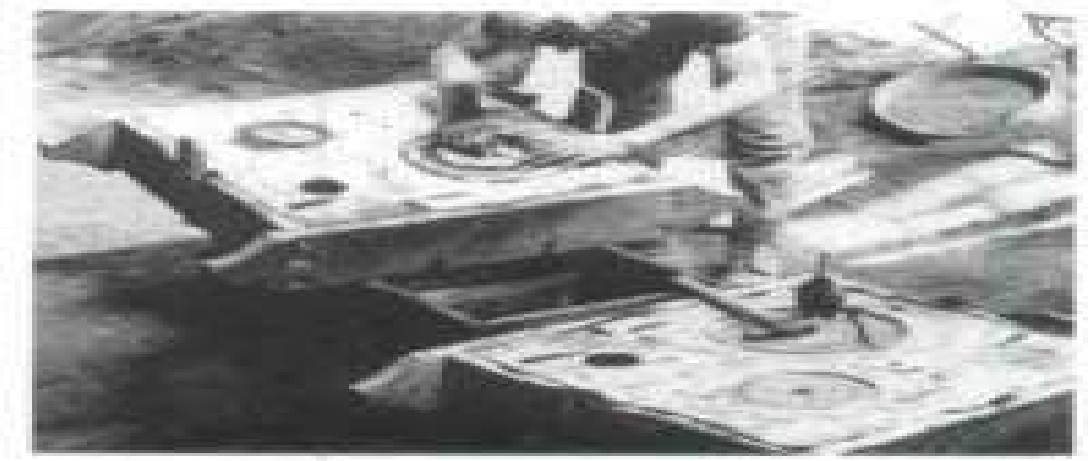


Figure V-15 **:** L'enlèvement des modèles de bois de la partie supérieure du moule de sable.

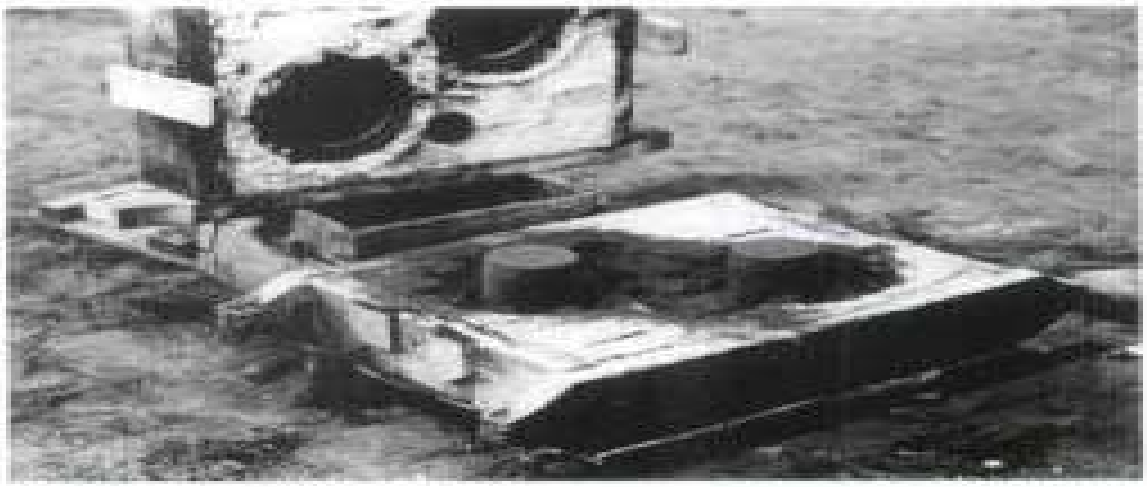


Figure V-16 **:** La pose des corps ou prunes dans les espaces prévus à cet effet.

On doit procéder ensuite au gel du premier moule, celui du châssis inférieur fait d'un mélange de sable fin et décolle. Pour ce faire, le mouleur pose un cadrage de bois d'environ 5 cm de hauteur sur le châssis. Il dépose sur ce cadrage, vis-à-vis de la partie à geler, une planche de bois transpercée en son centre d'un trou de 2.5 cm de diamètre. Cette ouverture qui doit coïncider avec le milieu du moule servira à faire pénétrer le gaz carbonique (C02) envoyé à l'aide d'une bonbonne. On recouvre de coton la portion du châssis qu'on ne veut pas geler.

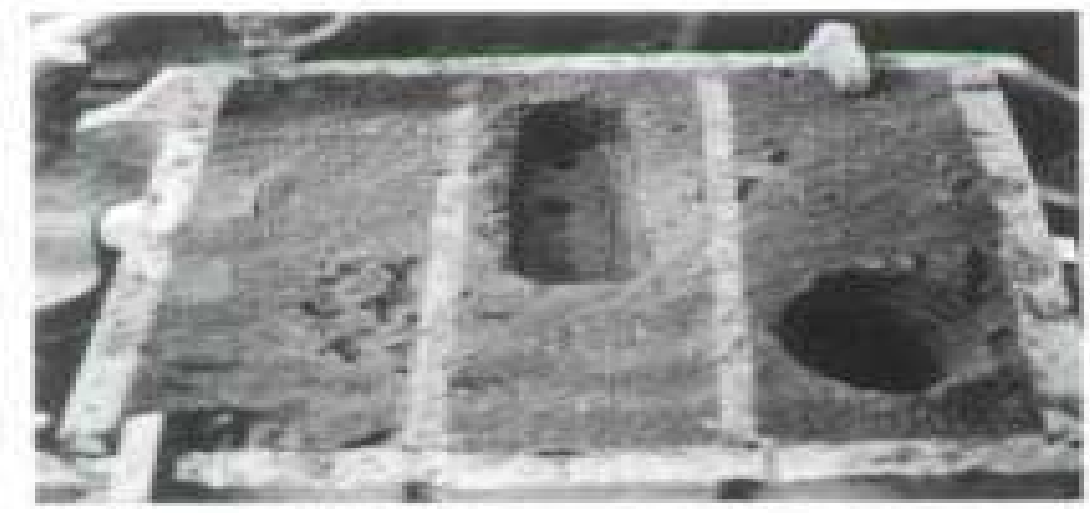


Figure V-17 : la partie supérieure du moule

On applique quelques coups de soufflet pour nettoyer la surface du moule et on enduit les dents des roues d'engrenage d'une huile noire qui fermera complètement les pores formées par le sable tout en garantissant une surface lisse et dure.

On pose les corps ou prunes qui créeront un espace vide dans l'axe de l'objet moulé. Ces corps sont composés d'un mélange de sable blanc, de colle et d'huile inséré dans des moules de bois ronds et longitudinaux, puis ils sont gelés au gaz carbonique. Un seul ouvrier confectionne ces noyaux qui peuvent adopter toutes les dimensions. Le diamètre du corps est fonction du vide que le mouleur désire obtenir à l'intérieur de l'objet fondu. Sa longueur est équivalente à la distance entre les extrémités des deux tenons du modèle de bois.

Bien que les corps soient gelés au gaz carbonique, les ouvriers font référence à cette opération en disant qu'ils sont «cuits». Ce terme rappelle la méthode en usage autrefois où il fallait cuire les noyaux dans un four chauffé au charbon de bois. Il s'agissait d'une opération délicate, car on devait déplacer régulièrement les pièces pour les empêcher de brûler et cela, tout en essayant de ne pas se brûler soi-même. Le four servant à cuire les corps existe encore à la fonderie de Saint-Anselme, mais il ne fonctionne plus depuis 1945; toutefois, la référence à une cuisson a survécu dans le vocabulaire des ouvriers.

Pour la dernière phase de la fabrication d'un moule de sable, on retourne la calotte sur le châssis inférieur puis, à l'aide de crampons «posés en chicane», on fixe solidement les deux châssis l'un à l'autre. Pour ce faire, le mouleur utilise un levier et une tige ronde, car les coups du marteau risquent de faire s'affaisser le sable dans les moules. Pour effectuer cette opération, le mouleur glisse le levier sous le crampon et en utilisant la partie recourbée de la tige ronde qu'il tourne à plusieurs reprises, il resserre le crampon sur les deux châssis. Le moule de sable est alors prêt à recevoir la fonte liquide.

2. LES CORPS DE REFROIDISSEMENT

Les corps de refroidissement forment une certaine partie à la surface de la pièce coulée et sont destinés à absorber rapidement la chaleur du métal coulé.

3. OPERATIONS D'EXECUTION MANUELLE D'UN MOULE EN SABLE

L'exécution manuelle d'un moule en sable comprend les opérations suivantes :

a) Confection de la partie inférieure du moule

b) Confection de la partie supérieure du moule

c) Démoulage du modèle et du mandrin

- Enlever le mandrin de coulée est d'évent.
- Séparer les deux châssis, que le sable blanc saupoudré sur la face des joints empêche d'adhérer l'un à l'autre.
- Sortir le modèle après l'avoir ébranlé doucement en utilisant un tire fond qui facilitera la prise du modèle.
- Exécuter et lisser à la spatule, le basin de coulée (masselotte) dans le dessus du châssis et le canal de coulée dans le dessous du châssis.
- Lisser légèrement l'empreinte et le saupoudrer de noir de fonderie qui donnera à la pièce des faces bien lisses.

d) remoulage

Il s'agit de la préparation du moule déjà exécuté en vue de la coulée du métal.

- Pose du noyau s'il y a lieu, on donne au noyau un appui par sa partie ou ses parties hautes, car à défauts lors de la coulée, il serait soulevé par la poussée du métal liquide (principe d'Archimède).
- Pose du châssis de dessus sur le châssis de dessous en vérifiant leur position relative et leur contact. Le moule est posé sur un lit de sable.
- Placer sur le châssis supérieur des poids afin d'éviter son soulèvement lors de la coulée du métal qui forme une certaine pression.

e) 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 de cette dernière.

V.2.4 DEFAUT DANS LA COMPAGNE

Après découchage on à observée des défauts sur les pièces.

V.2.4.1 BAVURE

Excroissance plate, de largeur irrégulière, de profil souvent dentelé, généralement normale à une des faces de la pièce.

Elle se trouve le long d'un joint du moule, d'une portée de noyau ou de toute surface de séparation entre les éléments constituant le moule.

Les dimensions principales, en particulier l'épaisseur, ne sont pas affectées.

Les bavures peuvent accélérer le refroidissement des parties voisines et provoquer des criques ou, s'agissant de fonte, des zones trempées.



Figure V-18 **:** bavure

V.2.4.2 GALES

Surépaisseurs massives irrégulières, de faible ou de forte surface en général de plusieurs mm d'épaisseur à bords irrégulièrement formés ayant un aspect de cassure, avec formation de croutes multiples, se superposant les unes sur les autres, plus ou moins parallèles à la surface du moulage avec une surface rugueuse.



***Figure V-19*:** Gales.

V.2.4.3 REPRISE

Solution de continuité a bords arrondis. Ce défaut**,** nettement caractérisé, intéresse une partie ou la totalité de la section de la pièce et peut à la limite se réduire à un léger sillon à bords arrondis. Il peut être accompagné d'arêtes mal venue Il se produit sur les grandes surfaces ou dans les régions des pièces d'accès difficile pour le métal liquide ou dans la zone de rencontre de deux nappes de métal liquide.



***Figure V-20*:** Reprise

V.2.4.4 DEFORMATION

La pièce présente dans l'ensemble ou localement des déformations par rapport au dessin**,** au modèle et nu moule, déformations qui peuvent sel répéter plus ou moins régulièrement surtout dans les régions comportant des différences d'épaisseur.



Figure V-21 : Déformation

V.2.4.5 VARIATION

Les deux parties des cavités du moulage formées par un noyau présentent dans le plan de joint du noyau une translation relative ; mais, prises séparément, elles correspondent bien au dessin en ce qui concerne la forme et les dimensions.



Figure V-22: Variation

V.2.4.6 BULLE

Excroissances métalliques, à peu près sphériques à surface lisse. Sur les surfaces libres des moulages (coulés à découvert ou centrifugés).

- Les «perles» ont généralement une composition chimique différente de celle du métal de base.
- En moulage de précision, ce défaut apparaît, surtout dans les angles rentrants, les trous borgnes et les évidements.



Figure V-23: Bulle

V.2.4.7 NON VENUE

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



Figure V-24: non venue

V.2.4.8 DEFAUT MOULE

Le moulage présente par rapport au dessin et au modèle des déformations générales ou locales non systématiques.



Figure V-25 **:** Défaut du moule

V.2.5 DETECTIONS DES CAUSES

IL serait téméraire d'indiquer une cause pour chaque défaut. A part quelques défauts qui sont les résultats d'une malfaçon évidente, les imperfections résultent plutôt d'un concours de circonstances que d'une cause unique bien déterminée. C'est ce qui explique les «épidémies» de défauts que tout fondeur a rencontrées une ou plusieurs fois au cours de sa carrière.

On a néanmoins indiqué les causes qui, dans l'état actuel de la technique, semblent les plus probables. On y a incorporé, lorsque cela a été possible le mécanisme par lequel ces causes peuvent agir sur l'apparition du défaut. A en juger par l'abondance des publications en la matière, ces causes ont été très étudiées et leur connaissance a fait d'indéniables progrès.

BAVURE

A. Cause

- Jeu entre deux éléments du moule ou entre moule et noyau ou joint mal raccordé.

GALE

A. Causes possibles

- Craquelures à la surface du moule se produisant au cours du séchage, lorsqu'il y a une trop forte tendance du table au retrait par suite de : chauffage trop rapide.
- Température trop élevée, en particulier au début de l'étuvage.
- Trop forte teneur en agglomérant ou en humidité.
- Craquelures au moment de la coulée d'un sable trop compact ou trop riche en silice, début de formation de gales. .
- Formation d'une zone de condensation d'humidité de faible résistance

REPRISE

A. Causes

- Coulabilité insuffisante.
- Coulée trop lente.
- Dégagement d'air insuffisant.

DEFORMATION

A. Causes

- Retrait contrarié :
- par le tracé de la pièce,
- par les masselottes et attaques,
- par des parties de moule et noyaux.
- Mauvaise technique d'attaque et de coulée.
- Retrait irrégulier causé par un décochage prématuré.

VARIATION

A. causes

- Massive repérage ou jeu dans les assemblages du modèle.
- Défaut non systématique semblant se rattacher à un accident survenu au moule remmoulé.
- Mauvais repérage ou jeu dans une coquille.

BULLE

Causes

L'eutectique qui se rassemble au joint des grains en fin de solidification peut être expulsé vers les espaces libres (surfaces découvertes de la pièce ou intérieur des tuyaux centrifugés), sous l'effet des pressions qui peuvent être engendrées par la graphitisation eutectique ou par le dégagement de gaz dissous ou par la contraction de la partie de pièce solidifiée.

Dans le cas de la fonte, ces gouttes sont généralement plus riches en phosphore que la masse de la pièce d'où leur nom.

Lorsque cette expulsion de liquide eutectique se produit à l'intérieur d'une souillure ou autre défaut interne en général il n'est pas nécessaire de remédier à ces excroissances.

NON VENUE

A. Causes

- 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.

DEF MOULE.

Causes

- Le modèle ou la plaque-modèle est l'objet d'une contrainte locale exagérée lors du serrage et subit une déformation élastique.
- Le modèle ou la plaque-modèle est placé sur un support ou un chantier gauche ou insuffisamment rigide.
- Pose du moule sur une surface non plane.
- Chargement exagéré ou irrégulier du moule.
- Crampage défectueux

V.2.6 REMEDES POSSIBLE

La détermination des remèdes résulte de la connaissance des causes. Elle doit tenir compte des contre-indications éventuelles, du coût de mise en œuvre, de la valeur des pièces à sauver et évidemment de l'efficacité. Mais en cette matière rien ne remplace l'expérience du fondeur basée sur des observations systématiques soigneusement consignées.

D'ailleurs, la mise en application des remèdes indiqués suppose une certaine connaissance des techniques de fonderie; on ne pouvait en effet, dans le cadre de cet ouvrage, entrer dans le détail de la mise en œuvre de ces remèdes.

On se reportera si besoin était à l'abondante bibliographie qui est donnée à la fin de cette travail.

BAVURE

Remèdes

- Soigner l'exécution des modèles, des moules et des noyaux.
- Contrôler leurs dimensions.
- Contrôler les remmoulages.
- Tamponner s'il y a lieu.

GALE

Remèdes

- Augmentation de la résistance à vert.
- Contrôler l'analyse de sable moulée.
- Voir les mesures propres à empêcher les gales-Augmenter la rapidité du moule.
- Diminuer la contrainte compression et en augmenter la proportion du noir).
- Diminuer le teneur en agglomérant au modifier sa nature

REPRISE

Remèdes

- Couler plus chaud.
- Améliorer la coulabilité de T al liage.
- Accroître la régularité ou la vitesse de remplissage régulièrement surtout dans les régions comportant des différences d'épaisseur. D'empreinte par une meilleure conception des attaques.
- Ménager des dégagements d'air suffisants.

.

DEFORMATION

Remèdes

- Modifier le tracé pour tenir compte des impératifs techniques.
- Choisir la technique de coulée ci d'attaque de façon que la répartition de la température dans la pièce soif aussi régulière que possible.
- Déterminer le temps de coulée et la température de coulée corrects.
- Prévoir des dégorgeoirs.
- Dégager les masselottes et attaques après la coulée. Disposer des noyaux d'écrasement. Vérifié le sable et les démentions de moule avant coulée.

VARIATION

Remèdes

- Munir la boite à noyau de repères corrects.
- Limiter le jeu des assemblages de la boite à noyau.
- Ajuster exactement les éléments dans le cas de noyaux collés.
- Control les démentions d'un moule et noyau.
- Contrôlé le serrage soit bien régulier.

BULLE

Remèdes

- Contrôlée la teneur de phosphore.
- Contrôlée l'injection de l'air.
- Dégagé l'air et les gaz de humidité et du métal solidifiée.

NON VENU

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 heu.
- Améliorer la perméabilité et les dispositifs de dégagement des gaz.

DEF MOULE

Remèdes

- Couler des pièces d'essai et les vérifier.
- Renforcer les modèles légers par des « barres à boucher ».
- Placer le modèle sur un bien plan. Dans le cas d'une surface de joint non plane prépare une fausse partie précise. S'agissant de plaque-modèle montée sur un support, veiller à ce que ce support soit plan, que le serrage soit bien régulier.

V.2.7 CLASSIFICATION DES DEFAUTS ET DES CAUSES

On classe les défauts et les causes selon la nature de formation :

- MOULAGE ET NOYAUTAGE
- COULAGE

	Classement selon les causes	
Défaut	Moulage et noyautage	Coulage
Bavure	**X**	**X**
Gales	**X**	
Reprise	**X**	

Déformation	**X**	**X**
Variation	**X**	
Bulle	**X**	**X**
Non venue		**X**
Def moul	**X**	**X**

Tableau V-7 : classification des défauts et des causes.

Conclusion

Au coure de travail, nous avons étude la qualité de fonderie de fonte grise lamellaire, et pour cela en a choisi la roue de pompes comme un exemple, parce que la quantité des pièces rebuts plus grand, qui défini les principaux défauts de fonderie de fonte grise lamellaire,

A fin de ce travail, nous avons observée des défauts sur les pièces fabriquées après le découchage métallique et pour évité tout ça en recherchée les cause possible et proposée des remèdes résulte bien déterminée pour éliminé les défauts de fonderie, cette défauts en classé selon le nature de formation, moulage (la préparation du moule) ou du coulage par exemple « bulle » :

Causes possible

L'eutectique qui se rassemble au joint des grains en fin de solidification peut être expulsé vers les espaces libres, sous l'effet des pressions qui peuvent être engendrées par la graphitisation eutectique ou par le dégagement de gaz dissous ou par la contraction de la partie de pièce solidifiée.

Remèdes

- Contrôlée la teneur de phosphore.
- Contrôlée l'injection de l'air.
- Dégagé l'air et les gaz de humidité et du métal solidifiée.

Et la nature de formation :

Moulage et Coulage

Tout ça explique étapes par étapes dans le chapitre V. Mais en cette matière rien ne remplace l'expérience du fondeur basée sur des observations systématiques soigneusement consignées.

Liste de la référence

[1] F. DURAND et R.HANAR

Transfert de chaleur et de masse dans les procédés de solidification

ECOLE D'ETE GARRY- le ROUET (France) P-I03 (Jan 1988)

[2] J.BARALIS, G, MEDER

Précis de métallurgie : élaboration, structure, propriétés

(Éd 1988). P-59-63

[3] A. DESY et JULIEN VIDTS : Métallurgie structurale

[4] JEAN-CLAUDE, Technique de l'ingénieur

P-(M380-I) _ (M380-I6)

[5] PIWOWARSKY - L'importance des processus de solidification eutectique sur les propriétés de la fonte.(1934)

BULL, AFF N^0 III, P-96-I05

[6-1] AICHEL GETER, Métallurgie de fonderie Tom. I (1976),P-4I-42, P-I27-I78

[6-II] Tom. II P-67-78

[7] I. LAKHTINE, Métallurgie et traitement thermiques des métaux (1986)

[8] Fonderie/ afnor (1987)

[9] LAPLANCHE (H) –NOUVEAUX DIAGRAMMES STRUCTEURAUX DES FONTE (1948)

[10] W. Weis (W) et (K) ortrs – Essai d'une Méthode de détermination non destructive (1974), Mémoire N° 22.

[11] DECROP, Techniques de l'ingénieure, ELABORATION DES FONTES P-M 760-4

[12] G. FACY, M. POMPIDOU « Précis de Fenderie » P-34

[13] TECHNIQUES DE L'INGENIEUR. P-(M750-6).

[14] Manuel des fontes moulées P-170.

[15] BOUSSARD. Défaut de fonderie

Liste de la référence

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

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

[18] Cuenin P. : Industrie de la fonderie. Techniques de l'ingénieur, Fascicule M3500, Paris. (2000).

[19] Mirer F.: Les *Fonderies*. In: Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, Volume III, 3e édition française, traduction de la 4e édition anglaise, pp. 82.13-82.22. J. Mager Stellman, rédactrice, Bureau international du travail, Genève. (2002).

[20] « RECHERCHE DE LA QUALITE DES PIECES DE FONDERIE » édition française (1971)