



*Faculté des Sciences et Techniques*  
*Département Génie Mécanique*

**MAFODER**  
المغربية للشبك  
MAROCAINE DE FONDERIE

# RAPPORT DE PROJET DE FIN D'ETUDE

Réalisé au sein de

**MAFODER**

Pour obtenir le  
Diplôme Ingénieur d'Etat :  
Conception Mécanique et Innovation  
année 2011/2012

Par

**Houcine STITOU**

sous titre

**Optimisation de coût de revient d'un bouche d'aspiration**

Encadreur Industriel : Mr. Mostafa SAEL  
Encadreur Pédagogique : Mr. Mohammed EL MAJDOUBI

Jury :

- Mr. Mostafa SAEL (MAFODER)
- Mr. Mohammed EL MAJDOUBI (FSTF)
- Mr. A. SEDDOUKI (FSTF)
- Mr. A. EL BIYAALI (FSTF)

# REMERCIEMENTS

A l'occasion de ce travail nous adressons nos chaleureux remerciements à tous ceux qui ont contribué à l'accomplissement de ce projet.

Nos remerciements profondément :

Monsieur, le doyen de L'FST FES et ses conjoints de leur gestion et leur vision créative apportée à l'établissement pendant mon formation.

Notre encadrement Mr.M.El MAJDOUBI qui nous a apporté le soutien dont on a besoin le long de la préparation de ce projet de fin d'étude ainsi, tous les professeurs de l'FSTF de leur formation au cours de ces trois années.

Mr. Mostafa SAEL mon encadrant au sein de la société MAFODER pour sa gentillesse, sa coopération et son encouragement continu et qui a fait tout son possible pour m'apporter le soutien et l'assistance nécessaires le long des différentes phases de préparation de ce mémoire de Projet de Fin d'Etudes.

Mr. A. El barkany chef du département Génie mécanique qui veille toujours à ce que tout se passe en bonnes conditions avec ses étudiants.

À tous ceux et celles qui ont contribué et facilité l'élaboration de ce rapport de près comme de loin.

# SOMMAIRE

## Introduction

### I. Chapitre I : Généralité

1. Présentation de MAFODER.....6
2. Généralité sur le moulage.....10

### II. Chapitre II: présentation de projet

### III. Chapitre III: Etude et conception du modèle et de noyau de la pièce

1. Généralité.....18
2. Caractéristique de matériaux de la pièce étudiée.....18
3. Sens de moulage.....19
4. Règle de trace .....19
5. Conception de modèle et de noyaux.....20

### IV. Chapitre IV : Conception du système d'alimentation et du remplissage

1. conception de système de d'alimentation .....23
2. conception de système de remplissage.....26
3. gamme de remmoulage.....31
4. gamme et temps d'usinage .....32

### V. Chapitre V : présentation de processus de fonderie

1. Processus de fonderie.....37
2. Défaut de fonderie et son remède .....42

### VI. Chapitre VI : AMDEC processus

1. Historique de l'AMDEC.....47
2. AMDEC processus.....48
3. Tableaux AMDEC processus .....51
4. Diagramme de Pareto.....52
5. Contrôle processus .....53
6. Traçabilité.....54

## Conclusion

## Annexe

## Bibliographie

# INTRODUCTION

MAFODER est une société qui fabrique des pièces moulées de fonte et d'acier destinées aux secteurs industriels.

Le moulage est un procédé d'obtention des pièces brutes. Après avoir coulé le métal à l'état liquide dans le moule, ce dernier se solidifie par refroidissement et prend la forme de l'empreinte qui existe à l'intérieur du moule.

Le processus de fabrication dans le secteur de la fonderie est un processus très complexe dans le sens où il est difficile de connaître l'origine de ses défauts.

Le produit qui m'a été confié d'étudier connaît des grands problèmes de fabrication et dont une bonne proportion est rebutée à cause des défauts de surface et au fond de la pièce. Afin de corriger ces défauts la société m'a proposé durant la période de stage de rectifier et de faire une étude complète de moulage en sable tout en optimisant le coût de revient en terme de matière (poids de sable et de grappe, mise en mille, surépaisseur..) et en terme de temps (temps de fabrication, temps d'usinage...). Et enfin, pour répondre aux attentes du client qui exige le triptyque : une bonne qualité et à moindre coût.

Mon rapport va traiter cinq axes principaux :

- Une présentation générale de la société ainsi que bibliographie de procédé de moulage.
- Présentation de problématique.
- conception de produit.
- analyse de processus de la pièce.
- amélioration de processus avec des solutions adéquates.

# Chapitre I : Généralités





## 1. Présentation du MAFODER

### 1. Généralités :

Fondée en 1985, MAFODER –Marocaine fonderie– est une société anonyme qui a pour vocation la fabrication des pièces moulées de fonte et d'acier destinées aux secteurs voirie et assainissement, secteur d'eau potable et secteur industriel.

Aujourd'hui, MAFODER est un leader national qui constitue une référence en matière de qualité grâce à la modernité son système de production, la rigueur de relation avec les clients, les délais de réalisation, ainsi que la culture de l'entreprise et le dynamisme de son équipe.

MAFODER gère un portefeuille clients diversifié, constitué de donneurs d'ordre nationaux (ONCF, OCP, LAFARGE ...) et étrangers, grâce à sa politique orientée de plus en plus vers l'export, elle a reçu en 2001 un trophée d'or à l'export, parmi ses clients étrangers on compte : des entreprises françaises, allemandes, hollandaise (IHC) tunisiennes, etc. ...

Certifiée *ISO 9001* version **2000** depuis 2004 par l'organisme TUV, MAFODER mène un projet environnemental orienté vers un développement durable.

### 2. Historique

Créée en 1985, MAFODER est une jeune fonderie qui s'est donnée, dès le départ les moyens de devenir une référence dans ce secteur.

Dotées de moyens de production modernes, et d'une équipe jeune et dynamique particulièrement attachée à la réputation et à la qualité de ses produits, MAFODER a su privilégier ses atouts (compétitivité, flexibilité, qualité) pour s'adapter aux besoins des marchés spécialisés et devenir leader dans son secteur.

En 1991, MAFODER signe son premier contrat avec un grand donneur d'ordre le groupe OCP pour la fabrication de pièces (en fonte grise) pour le traitement d'acide sulfurique.

En 1993, MAFODER démarre son activité à l'export avec le groupe chimique Tunisien GCT pour les tuyauteries en fonte grise pour le traitement de l'acide sulfurique.

En 1994, MAFODER Investit 16 à 20 millions de Dhs dans son outil de production avec la réalisation de deux fours à induction et d'un chantier de moulage à résine furannique.

Cet investissement permet à MAFODER de se démarquer de la concurrence en termes de qualité et de capacité de production et aussi de fabriquer des pièces à plus forte valeur ajoutée.

En 1996, MAFODER démarre l'activité voirie et raccords.



En 1998, MAFODER réalise avec un partenaire étranger, son premier contrat dans le secteur de l'acier avec une cimenterie.

En 1999, MAFODER signe un contrat cadre de 5 millions de DH avec l'OCP dans le secteur de l'acier ; et obtient la représentation exclusive de la marque allemande de robinetterie VAG.

En 2001, MAFODER détient le trophée d'or de l'export.

Mars 2002, MAFODER s'est certifié ISO 9002 version 94.

2003 : Axes de développement :

- ✓ Fin des travaux d'extension et acquisition de nouveaux équipements.
- ✓ Présence remarquée sur des secteurs tels que la cimenterie.
- ✓ Acquisition de nouveaux fours à induction

2004 : Certification ISO 9001 Version 2000 par TUV

2005 :

- ✓ Acquisition d'un malaxeur de 50T/h et d'une station de régénération thermique
- ✓ Mise en route d'un chantier de moulage semi-automatique
- ✓ Exportation de raccords pour l'équipement de 18 villes en IRAK

2006

- ✓ Acquisition d'une première machine de prototypage 2500\*2000 mm
- ✓ Usinage de la forme de la pièce directement dans le moule en sable
- ✓ Livraison de 10000 Grilles classe E600

2007

- ✓ Installation d'un deuxième four de traitement thermique d'une capacité de 3,5 T
- ✓ Signature d'un contrat avec l'ONCF pour 80 carcasses

2008

- ✓ Acquisition de la deuxième machine de prototypage rapide dimension 4500\*4000 mm
- ✓ Livraison de plusieurs milliers de raccords dans le cadre du projet privé d'irrigation SEBT EL GUERDANE.

### 3. Fiche technique

Nom : Marocaine de Fonderie et d'Applications Industrielles

Nom abrégé : MAFODER

Forme juridique : Société Anonyme

Capital Social : 11.000.000,00 Dirhams

Date de création : 1984

Directeur Général : Mr Brahim SLAOUI

Activité : Fonderie de fonte et acier



**Adresse** : Km 9, Route d'El Jadida - Lissasfa - Casablanca

**TEL** : 0622 91.46.50 - 91.46.51 – 93.02.07- 93.02.08

**Surface** : 20000 m<sup>2</sup> dont 5000 couverts

**Effectifs** : 130 Personnes dont 12 cadres

**Investissements** : 2 Millions de DHs entre 1992 et 1994

2 Millions de DHs entre 1999 et 2002

**Capacité de production** :

- 2000 t/an de fonte grise, fonte ductile, Fontes alliées
- 1000 t/an d'acier au carbone et aciers spéciaux, pièces de poids variant de 0,2 kg à 1500 kg.

**Type d'activité** : Production de pièces de fonte et d'acier destinées au secteur voirie et assainissement, secteur d'eau potable et secteur industriel.

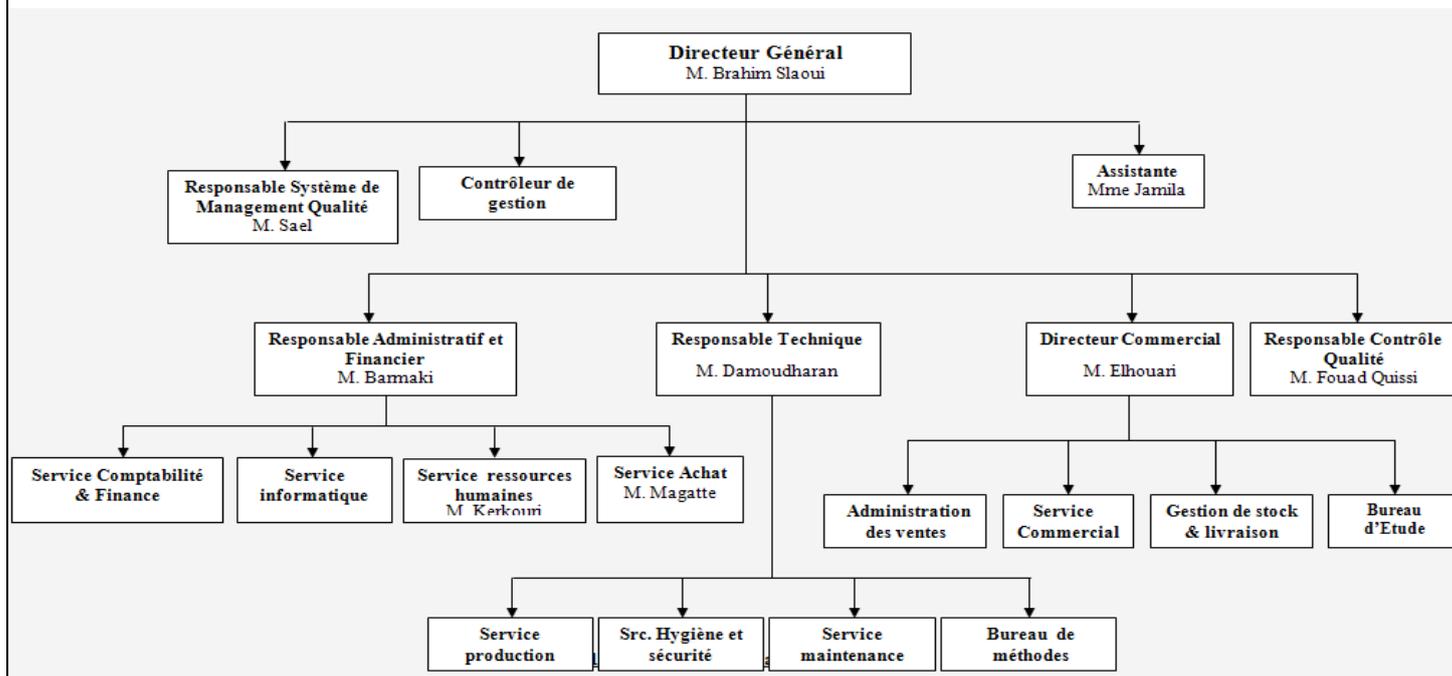
**Matières Travaillées** : Fontes, Aciers, Fonte au chrome, Acier Inox

**Secteur d'activité** : Industrie Métallurgique, Mécanique et électrique.

**Production** : Quantité de fonte d'acier fabriquée : 638 185 Kg/an.

#### 4. Organigramme :

La figure de la page suivante présente l'organigramme de la société MAFOFER



**Figure 1.1 : organigramme de la société MAFOFER**

## 5. Les unités de production

La société MAFODER dispose de plusieurs unités de production, chaque unité ou atelier participe à la fabrication du produit fini, dans ce paragraphe on va présenter quelques ateliers :

### 3.1. Atelier de modelage :

Constitué d'une équipe de 15 modeleurs, il a pour mission de fabriquer des modèles en bois des pièces selon les spécifications du client, ainsi que les boîtes à noyaux. Cet atelier est équipé de plusieurs machines, parmi lesquelles on cite : deux scies, deux tours, deux raboteuses etc.

### 3.2. Atelier de moulage et de noyautage :

Cet atelier se charge de fabriquer des moules et des noyaux en sable, il dispose de deux malaxeurs automatiques qui permettent de préparer le mélange de sable (récupéré ou neuf), de la résine et du catalyseur avec un pourcentage bien précis.

### 3.3. Atelier de fusion :

Le système de fusion à induction comprenant quatre fours à induction à creuset fonctionnant à une fréquence de **250 Hz**, le tableau suivant présente les caractéristiques des fours exploités dans cet atelier :

**Tableau 1.1**

Four	Capacité (kg)	Puissance de raccordement (KW)
1 <sup>er</sup> four	500	600
2 <sup>ème</sup> four	1000	
3 <sup>ème</sup> four	1500	800
4 <sup>ème</sup> four		

### 3.4. Atelier de traitement thermique :

Servant pour changer les caractéristiques mécaniques et physiques des pièces moulées, cette unité dispose de trois fours de capacité de 3.5 tonnes et 5 tonnes et 10 tonnes.

### 3.5. Atelier d'usinage :

2 Atelier :

Atelier des Machines Conventionnelles Equipé de dix tours, trois fraiseuses, cinq aléseuses, sept perceuses, huit perceuses dont une : multibroches, une mortaiseuse et deux scies.

Atelier des machines à commande numérique : 2 tour vertical et une fraiseuse 4 axe et une autre fraiseuse à quatre axe à table mobile dans la phase d'installation, plus 3 machines de prototype 5 axe (2 pour des moules au sable et un pour des modèles en bois).

## 6. Service étude et méthode

Service de Méthode consiste à étudier le déroulement de la fabrication de la pièce de fonderie depuis la conception du modèle jusqu'à la livraison de la pièce et la mise en service sur site.

### 6.1 Etude de moulage :

- 4.1.1) Conception du modèle.
- 4.1.2) Contrôle du modèle avec son retrait.
- 4.1.3) Préparation du système de remplissage et de masselotte en fonction de la forme, nuance, dimensions et le poids.
- 4.1.4) Etablir les fiches de moulage (Traçage du modèle sur l'encombrement du châssis) à l'aide du logiciel AUTO-CAD, SOLIDWORKS etc....
- 4.1.5) Méthodes de contrôle du moulage :
  - La perméabilité du sable.
  - La capacité.
  - L'aspect de l'empreinte.
  - La fermeture du moule avant la coulée.

### 6.2 Contrôle :

- Poids brute et net de la pièce.
- Dimensionnel des pièces brutes de fonderie.
- Contrôle des épaisseurs par Ultrason.
- Dureté.
- Contrôle de la température de fusion à l'aide d'une canne pyrométrique .
- Contrôle des nuances de fusions par l'analyseur spectrographique d'émission.
- Contrôle du mélange sable / résine / catalyseur.

## 2. Généralités sur le moulage

### 1. Introduction

Le moulage est l'un des procédés de formage des métaux qui consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule pour produire, après refroidissement une pièce en limitant autant que possible les travaux ultérieurs de finition.

### 2. Les mots techniques utilisés dans le moulage :

On va définir les mots les plus rencontrés et utilisés dans le procédé de moulage :

**Modèle** : Objet destiné à être reproduit. Il est l'œuvre du modelleur.

**Moulage** : le moulage consiste à fabriquer un moule généralement en matériaux réfractaires, qui porte l'empreinte en négatif de la pièce, cette empreinte est obtenue à partir d'un modèle reproduisant la pièce à fabriquer.

**Moule** : ensemble des éléments en matériaux réfractaires délimitant l'empreinte et recevant le métal liquide qui, après solidification, donnera la pièce.

**Châssis** : Cadre en métal destiné à maintenir le sable comprimé autour du modèle (fonderie en moule non permanent).

**Dépouille** : la dépouille est l'inclinaison des parois verticales d'un modèle ou d'une boîte à noyaux par rapport au sens de démoulage. Elle a pour but de faciliter l'extraction du modèle ou du noyau.

**Masselotte** : sous le nom de masselotte on désigne en fonderie tout réservoir de métal liquide quelles qu'en soient la forme et la position, ménagé dans les moules et destiné à céder du métal à la pièce au cours de la solidification de celle-ci. L'utilisation des masselottes trouve son exploitation dans ce qui suit. Au cours de son refroidissement à l'état liquide dans le moule et de la solidification qui s'ensuit la matière coulé subit successivement deux diminutions de volume caractéristiques :

- Une contraction à l'état liquide entre la température de coulée  $T_c$  et la température du début de solidification  $T_l$  fonction de l'écart entre deux températures appelé « surchauffe ».

- Une contraction de solidification liée à la transformation liquide  $\rightarrow$  solide entre la température  $T_L$  (liquidus) et la température  $T_S$  (solidus).

L'une et l'autre de ces contractions sont compensées par le métal liquide fourni par la ou les masselottes.

### **Retassure :**

Principal défaut de fonderie dont la cause est dû à la contraction de l'alliage lors de sa solidification.

### **Plan de joint :**

Séparation entre les châssis. Une pièce peut être réalisée avec plusieurs châssis donc plusieurs plans de joint.

### **Noyau :**

Réalisé en sable, il permet d'obtenir les formes intérieures. Il est réalisé dans une boîte à noyau (fonderie en moule non permanent).

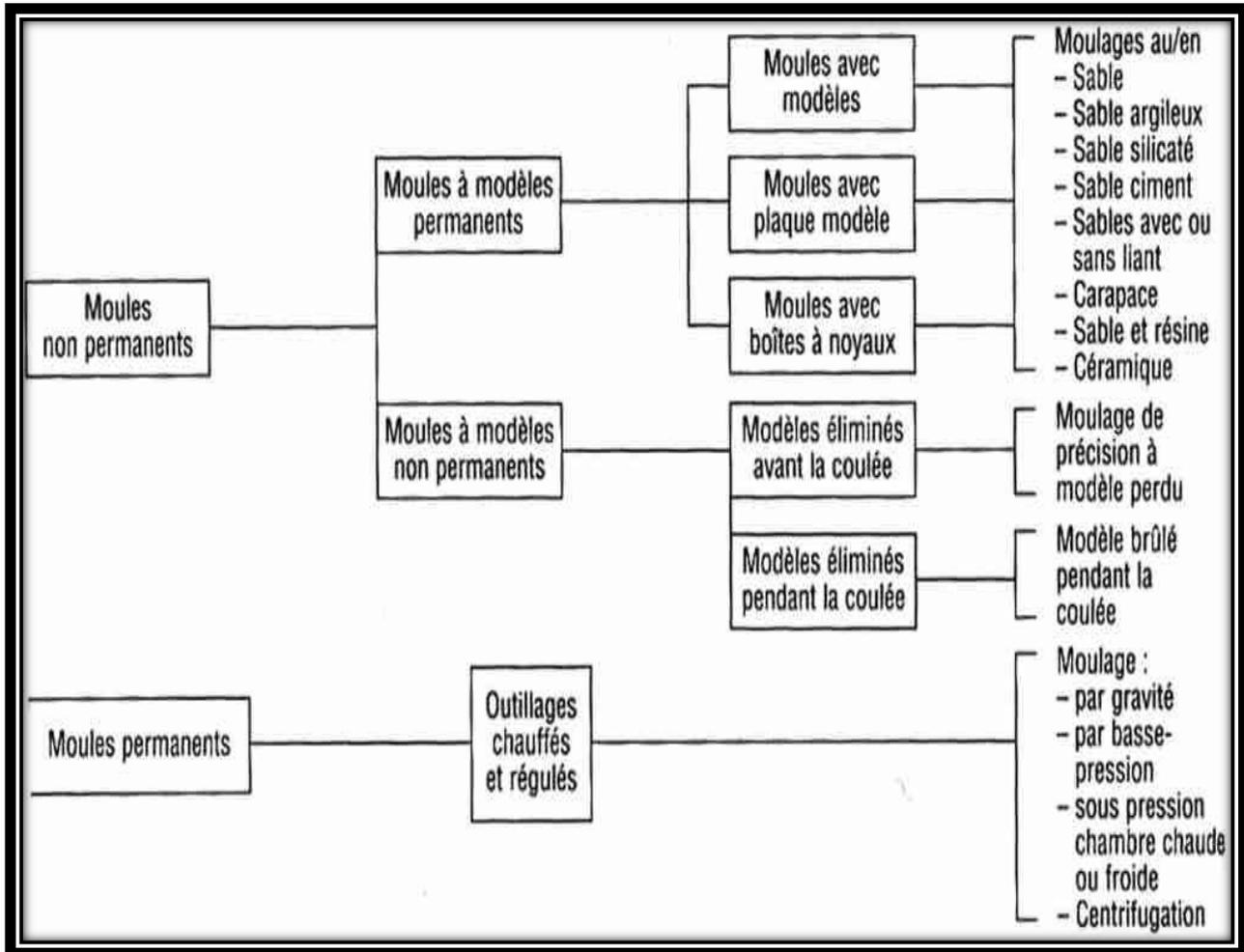
### **Event :**

Canal destiné à faciliter l'échappement des gaz formés au moment où le métal

### **Retrait linéaire :**

En plus des deux contractions citées ci-dessus, en principe compensées par les masselottes, la fonte subit de plus une troisième contraction au cours du refroidissement après solidification, entre la température  $T_s$  du solidus et la température ambiante. L'existence d'un retrait, différence de dimension entre le modèle et la pièce coulée refroidie, oblige à prévoir une majoration des dimensions du modèle.

### 3 Les types de moulages



**Fig. 1.2 : Différents types de moulages**

Le moulage, au cœur de toute fonderie, fait intervenir deux types de moules:

#### 2.1 Les moules permanents :

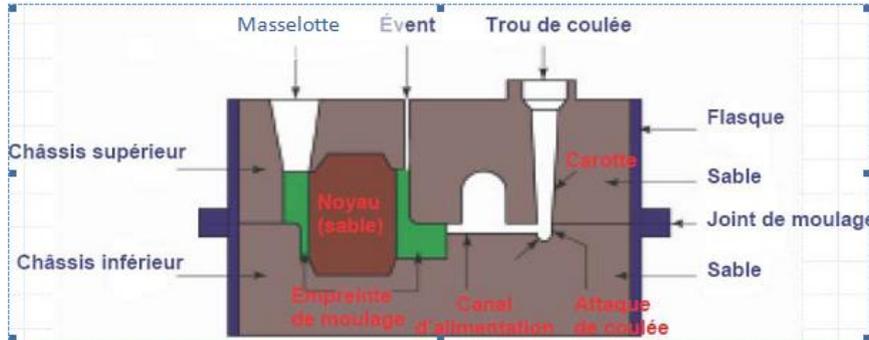
Métalliques, réutilisables plusieurs milliers de fois, ce qui les rend bien adaptés aux fabrications de grande ou très grande série. Le moulage par centrifugation et en coquille gravité est utilisé pour certaines fabrications en alliages ferreux. Les alliages d'aluminium, de magnésium et de zinc sont dans leur très grande majorité coulés en moules métalliques par les procédés sous pression, coquille gravité, coquille basse pression.

#### 2.2 Les moules non permanents :

Fabriqués en sable ou en céramique. Après la coulée et la solidification du métal, ils doivent être désagrégés pour libérer les pièces.

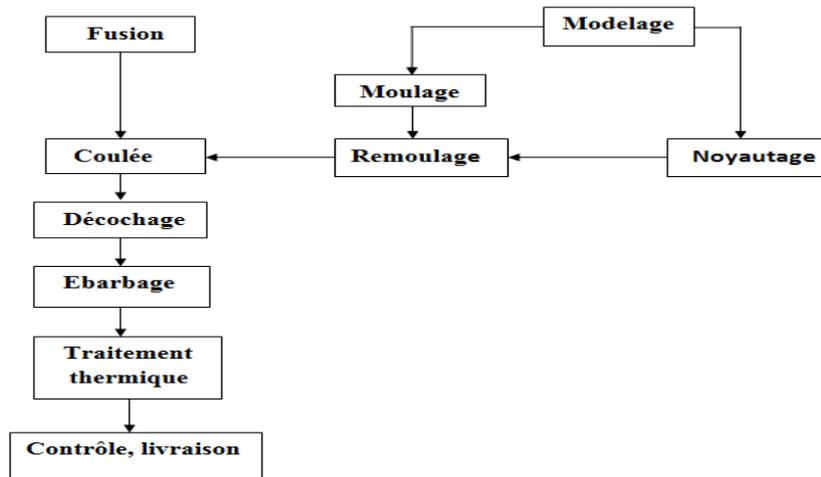
### 4. Moulage en sable

Le moulage en sable consiste à réaliser une empreinte dans le sable à partir d'un modèle aux formes de la pièce. Deux châssis métallique, parfaitement repérés entre eux, servent à maintenir le sable utilisé pour prendre l'empreinte du modèle comme montre la figure ci-dessous.



**Figure 1.3 : composants du moule**

Les phases essentielles de la réalisation d'une pièce moulée sont présentées sur la figure suivante :



**Figure 1.4 : Principales phases de réalisation d'une pièce moulée**

## 5. Matériaux de moulage

Pour la fabrication des moules et des noyaux, la fonderie utilise de nombreux matériaux et produits dont les plus importants sont cités ci-après.

### 5.1. Sables de base :

5.1.1) Sables siliceux : Ils sont composés essentiellement de grains de silice  $SiO_2$  le matériau le plus universellement employé pour la confection des moules et des noyaux.

5.1.2) Sables spéciaux (chromite, olivine, zircon, silico-alumineux) : Tous ces produits doivent présenter des caractéristiques bien définies, comme par exemple :

- a) Des propriétés chimiques en accord avec celles des liants.

b) Des propriétés physiques à froid (perméabilité) et à chaud (réfractaire, dilatation, capacité et conductivité thermiques, mouillage par le métal liquide).

### 5.2. Liants :

Ce sont les deuxièmes constituants les plus importants employés pour la fabrication des moules et noyaux en fonderie. Ils doivent en effet donner :

a) La plasticité au sable pour épouser les formes du modèle et acquérir ensuite par durcissement une résistance mécanique permettant de conserver la forme jusqu'à la solidification du métal ;

b) Le minimum de réactions moule/métal qui sont des risques de défauts sur pièce de types piqûres ou soufflures.

## 6. Préparation du sable :

### 6.1. Préparation du sable :

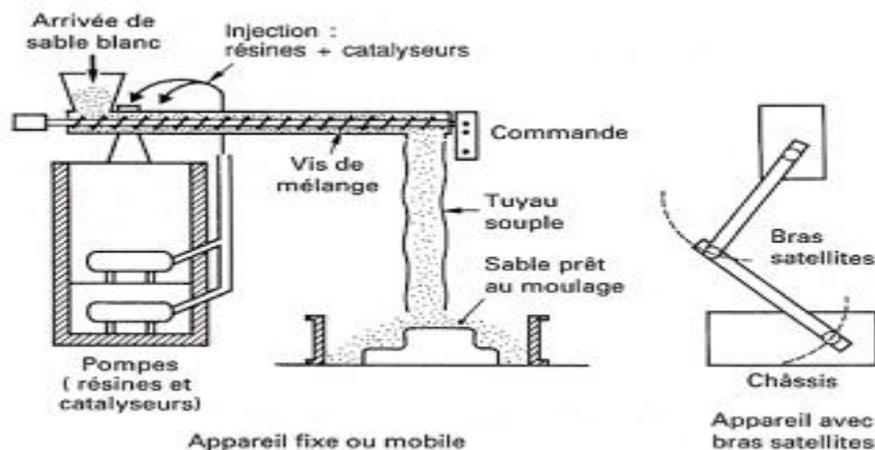
La préparation et la régénération des sables récupérés après décochage se font dans des installations appelées sableries où les sables sont tamisés, d'émottés, concassés, déferrés, dépoussiérés et refroidis (dans certains cas avant d'être malaxés et mélangés dans les broyeurs avec les apports d'eau et d'adjuvants, bentonite, noir minéral, etc.), pour être ensuite envoyés aux machines à mouler.

### 6.2. Préparation et mise en œuvre du sable :

Les sables de ce type peuvent être préparés en malaxeurs discontinus, mais plus généralement, ils le sont dans des mélangeurs continus (figure 1-5), à vis, l'injection des résines et catalyseurs se faisant par des pompes doseuses.

Ces appareils peuvent comporter un ou plusieurs bras satellites en fonction de la surface des zones de moulage à desservir.

Ces procédés, et notamment le moulage en sable furannique, peuvent être employés pour la production, sur des chantiers automatisés, de moules avec châssis ou en mottes et pour la confection de noyaux.



**Figure 1.5 : Mélangeur continu**



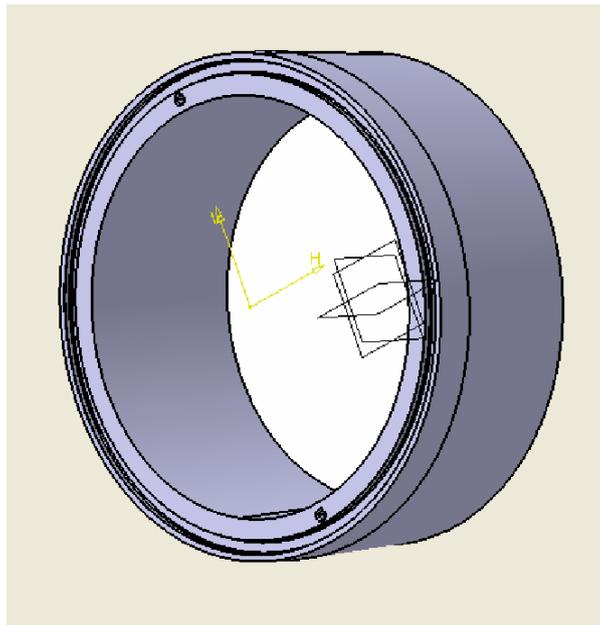
## Chapitre II : Présentation du projet

## 1- Présentation du client IHC PARTS & SERVICES BV :

IHC PARTS & SERVICES BV est le leader mondial du marché pour le dragage des fonds marins avec une vaste expérience accumulée au fil des décennies, ses fournisseurs des produits se trouvent au niveau mondial et ils sont visités par des spécialistes expérimentés qui assureront une bonne qualité des marchandises achetées, parmi ses fournisseurs on trouve la société MAFODER le leader du secteur fonderie au Maroc qui fabrique pour celle-ci des organes destinés au bateaux dragueurs.

## 2- Exigences du client IHC PARTS & SERVICES BV :

Parmi les organes qui sont fabriqués à la société MAFODER, on trouve le bouche d'aspiration destiné à la pompe centrifuge de dragage, celle-ci consiste à aspirer le mélange extrait des fonds marins, ce mélange contient environ 80% d'eau et 20% de matières solides tels que le sable, l'argile et le gravier qui se comportent comme des abrasifs et qui attaquent énormément ses organes, sans oublier l'effet de la corrosion au quelle ils sont exposés puisqu'ils travaillent dans un milieu très hostile.



Pour y remédier la société IHC Merwede fait recours à une gamme de matériaux résistants tels que le MaxiDur 5 (voir annexe 1 : Dessin de définition), ces matériaux sont spécialement conçus pour résister aux forces de l'érosion et la corrosion.

Pour cet effet, il est demandé à MAFODER de :

- Respecter la nuance précisée du matériau des organes (voir annexe).
- Respecter les tolérances et les spécifications géométriques de chaque élément (voir annexe 1).
- Respecter la dureté souhaitée du matériau (voir annexe 1).

### 3- Problématiques :

Actuellement à MAFODER, le cycle de production des organes de la pompe présente un certain nombre de problématiques à savoir :

- Le matériau élaboré n'a pas la même dureté en chaque point des pièces.
- Apparition des défauts de moulage (retassures, criques, inclusions, etc...)  
qui rendent les pièces inexploitable.
- Défaut de planéité supérieur à 4mm (environ 23mm).
- Défaut d'ovalisation supérieur à 3mm (environ 8mm).
- Manque de la matière, diamètre brut est inférieur au diamètre final souhaité après usinage.
- Coût de revient élevé du à l'utilisation de grandes quantités de sable et au grand poids de grappe.
- Temps unitaire de production très élevé.

Toutes ces problématiques entraînent des pertes importantes à la société dues essentiellement au temps de production et au pourcentage de rebut très élevés.

Pour palier aux défauts de forme des pièces, la société opte provisoirement pour l'augmentation de la surépaisseur d'usinage qui réduit le pourcentage de rebut mais qui présente des inconvénients qui coûte aussi cher à savoir :

- Temps d'usinage très élevé (presque 60 heures).
- Usure prématurée des outils céramiques et CBN (presque sept plaquettes carrées céramiques par unité).
- Perte de la matière.

### 4- Cahier des charges :

Du fait, il m'a été demandé de réétudier le processus de production du pour répondre aux exigences suivantes :

- Défauts de planéité (<4mm).
- Ovalisation (<3mm).
- Bavures faces adjacentes (<1 mm).
- Même dureté à chaque point de la pièce.
- Optimisation des quantités de sable utilisé.
- Optimisation du poids de grappe.
- Elimination de défauts de moulage.
- Optimisation du temps de production.

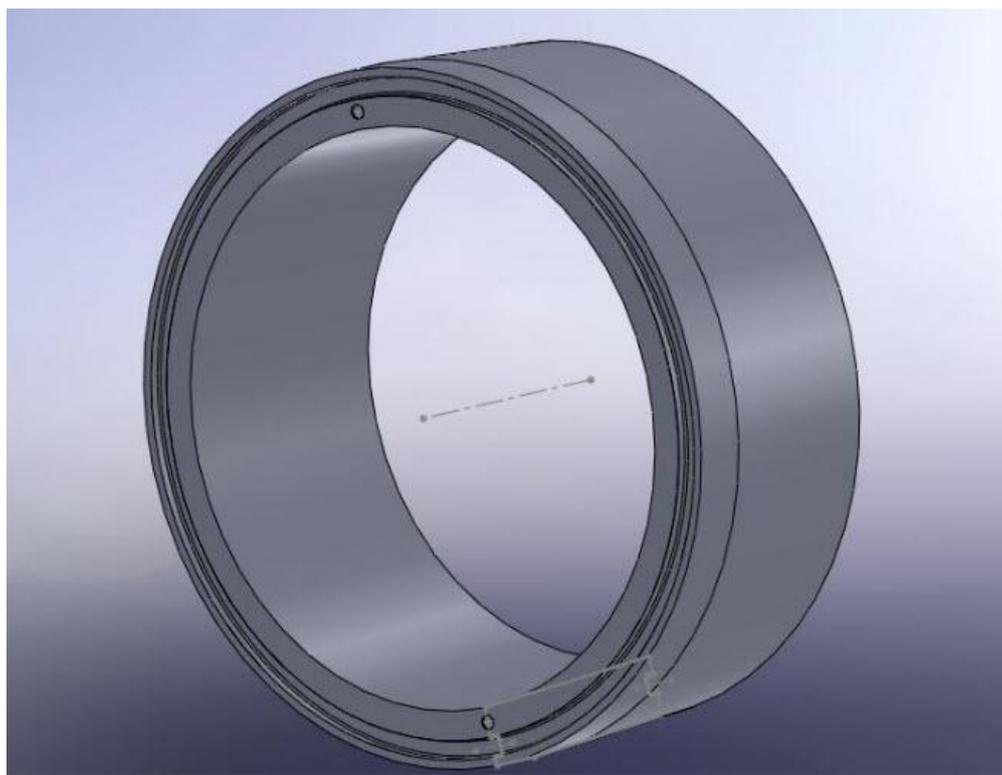
# Chapitre III :

## Etude et conception du modèle et de noyau de la pièce

## 1. Généralités

Il n'existe pas des règles mathématiques simples pour concevoir un moule sur le plan thermique, mais, en respectant quelques principes élémentaires, on se rapproche sensiblement d'une étude de moulage idéale et il suffit, en général, de faire quelques réglages au cours de la mise au point des premières pièces pour arriver aux résultats attendus.

## 2. Caractéristique des matériaux utilisés de la pièce étudiée



**Figure 3.1 : La pièce moulée**

Cette pièce de dimension 449x  $\Phi$ 1000 est composée d'un alliage de fonte blanche décrit sur le tableau ci-dessous.

**Tableau 3.1 : Caractéristiques des matériaux utilisés de la pièce**

Désignation	Rm (MPa)	Dureté HRC	Masse volumique (g/cm)	Propriétés	Emplois
EN-GJN- HV600(XCr14)	300-550	58	7,8	- Très bonne caractéristiques mécaniques. -Très bonne résistance à la corrosion.	-Industrie minière, pièces soumises à l'abrasion. -Pièce sollicité thermiquement -Pièce d'usure

### 3. Sens de moulage

#### 3.1. Positionnement de la pièce dans le moule

La pièce est généralement placée verticalement dans le moule pour faciliter le remplissage de l'empreinte sous l'action de la hauteur de charge.

Le choix de positionnement va dépendre de :

- l'alimentation de la pièce
- le démoulage
- le nombre d'éléments du moule

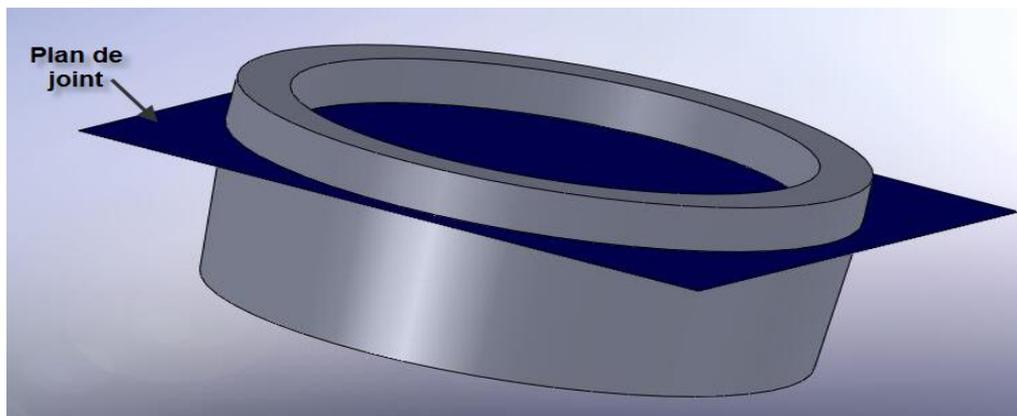
#### 3.2 Détermination du plan de joint

Le plan de joint du moule est choisit en fonction de la forme de la pièce.

Il doit tenir compte :

- du remplissage de l'empreinte (jet de coulée).
- des masselottes.
- du démoulage de la pièce.
- des contres dépouilles (à éviter).
- la limite des opérations d'ébarbages.

Dans notre cas, Il sera dans le plan indiqué sur la figure ci-dessous, ce qui divise la pièce en deux parties.



**Figure 3.2 : Plan de joint**

### 4. les règles du tracé

Avant de passer au moulage de la pièce demandé par le client on doit appliquer certaines modifications sur le dessin de définition tout en respectant les règles du tracé des pièces brutes.

#### 4.1. Les angles vifs

Pour éliminer le problème des angles vifs intérieur (les criques, les retassures...) et faciliter le remplissage de l'empreinte de la pièce, on doit les arrondir.

#### 4.2. Surépaisseurs d'usinage

Les surépaisseurs d'usinage sont prévues pour supprimer l'effet du moulage sur les surfaces fonctionnelles afin d'obtenir la précision dimensionnelle demandée.

Compte tenu du procédé utilisé, on détermine la classe de tolérance de la surépaisseur d'usinage. On se réfère ensuite au catalogue (voir annexe 2 : des surépaisseurs d'usinage) pour déterminer la correspondance entre la classe et la valeur en millimètres.

Voilà les résultats des surépaisseurs selon la norme NF A 32 011(voir Annexe 2) :

Cotes nominales	Plus grand dimension	Surépaisseur d'usinage	Tolérance dimensionnelles±
450	Ø1200	6,5	3
100	Ø1200	5	2,5

**Tableau 3.2 : Surépaisseur d'usinage et tolérances dimensionnelles**

#### 4.3. Dépouille :

Sachant que notre modèle est avec dépouille accentués, et puisque la pièce et de grande taille, la valeur de la dépouille sera de 5% correspondante à l'angle de 3°.

#### 4.4. Retrait :

Ils sont composés de deux phénomènes de rétrécissements, l'un à l'état liquide et contraction de solidification, il sera pour notre cas de 4% à 6% (suivant l'alliage de fonte utilisé), on adopte 4%, et l'autre à l'état solide de 1,5 à 2% pour notre cas on adopte 2%. (Référence : précis de fonderie page 4).

### 5. Conception du modèle et de noyaux

#### 5.1 Modèle de la pièce :

Objet destiné à être reproduit. Il est l'œuvre du modelleur et permet d'obtenir l'empreinte dans le moule.

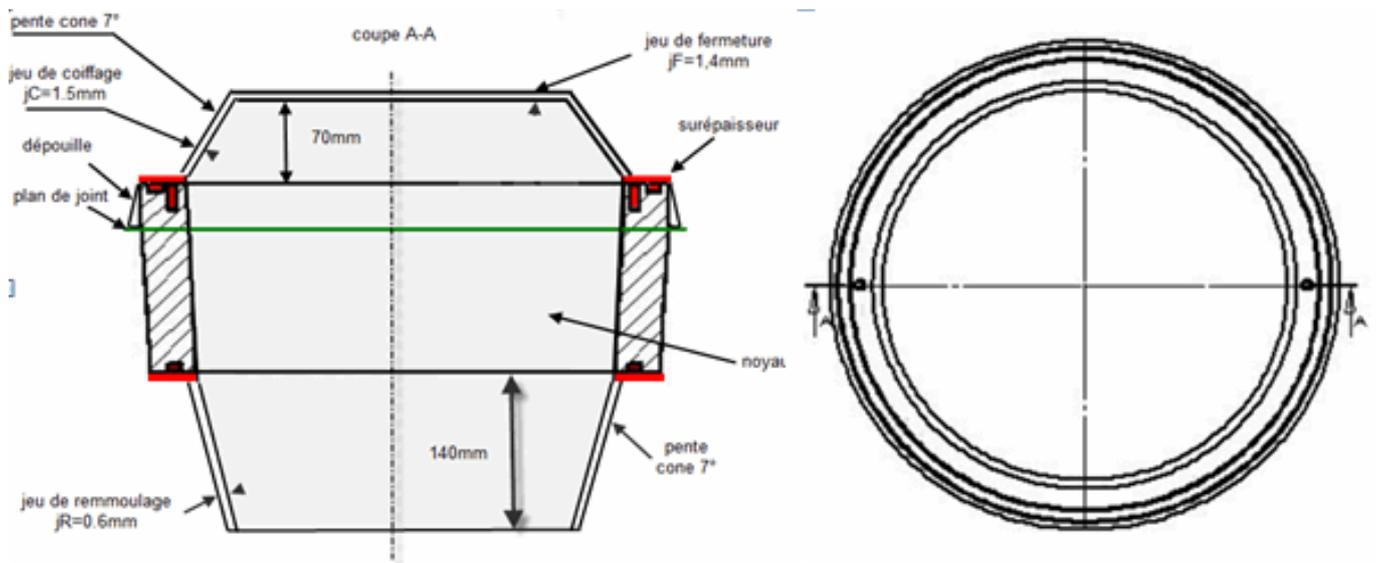
Premièrement on ajoute les surépaisseurs et les dépouilles trouvés au dessin de définition et on dessine le noyau. Puis, on multiplie les dimensions par les coefficients de retrait. A partir de ces dimensions, on réalise le modèle et les boîtes à noyaux.

## 5.2 Noyautage

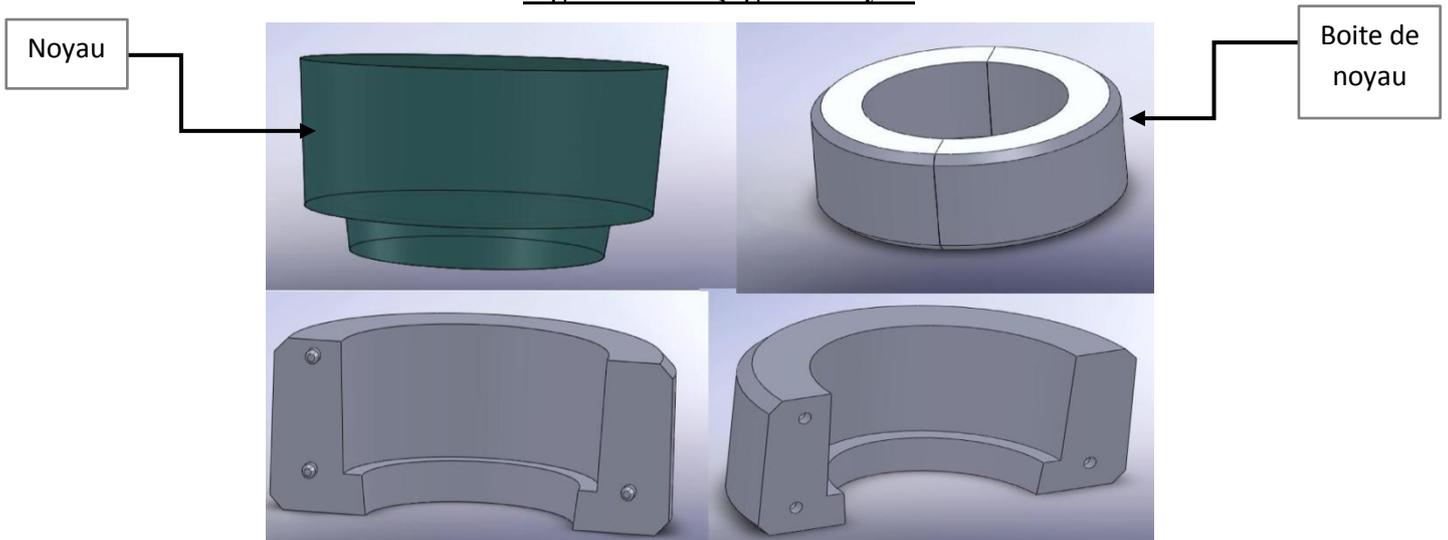
Les formes intérieures et parfois les formes extérieures impossibles de réaliser par le modèle de la pièce peuvent être réalisées à l'aide d'un noyau en sable. Le noyau comporte une portée pour lui assurer une mise en place précise dans le moule, ainsi, la portée du noyau doit avoir un jeu pour éviter son écrasement lors de remmoulage (voir Annexe 4 : jeu de Noyau).

### 5.2. a) Noyau et son jeu

On peut construire une boîte à noyau pour pièce.



**Figure.3.3: traçage de noyau**



**la figure 3. 4 : boîte de noyau et noyau**

# Chapitre IV :

## Conception du système d'alimentation et du remplissage

## Introduction

La conception établie par la société pour le produit fait intervenir seulement un système d'alimentation de 4 masselottes sur la surface de la pièce (coulée en chute).

On a proposé de rajouter un système qui permet d'assurer un remplissage et une répartition homogène du métal dans l'empreinte.

## 1. Conception du système d'alimentation de la pièce

Au cours du refroidissement d'une pièce moulée en sable, les phénomènes métallurgiques et thermiques provoquent plusieurs types de défauts. C'est pour quoi on établit un calcul de masselottage pour dirigée la solidification de la pièce vers elle au cours du refroidissement.

### Méthode théorique (CTIF\*):

Puisque la pièce à des éléments de la section de révolution symétriques, on va utiliser juste la demi-section de la pièce pour déterminer l'épaisseur équivalente après on déduit les dimensions des masselottes comme la montre la figure ci-dessous :

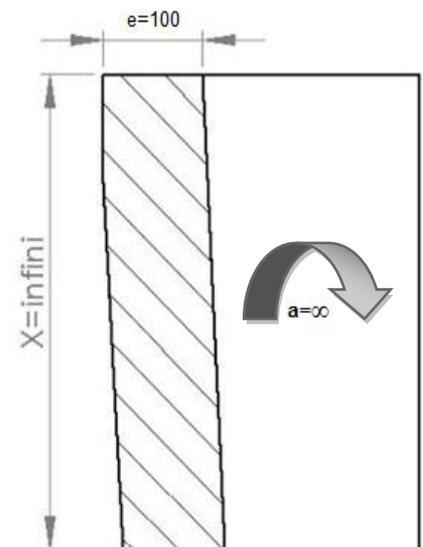
#### Figure 4.1: la demi-section de révolution de la pièce

L'épaisseur équivalente  $e$  est une fonction à trois variables réelles positives  $x$ ,  $a$  et  $b$  notée  $e(x; a; b)$  avec :

$a$  : en cas d'une section circulaire on prend  $a = \infty$ .

$x$  : longueur des éléments par rapport au raccordement, en cas ou l'élément est compris entre deux points chauds  $x$  est infini.

$b$  : l'épaisseur des éléments.



### 1.1 Détermination d'épaisseur des plaques équivalentes

#### Cas général

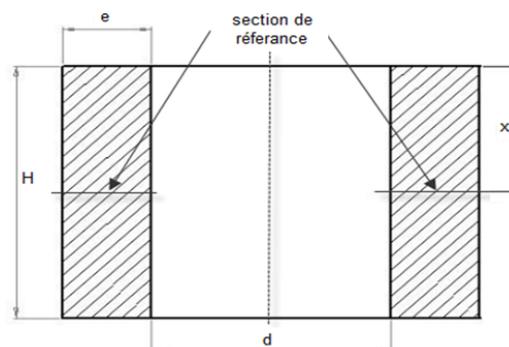
Calculons  $e'$  à partir des sections de référence

Lorsque ( $a = \infty$  et  $x = \infty$ ) on prend  $e' = b$ .

Lorsque ( $a = \infty$  et  $x = cte$ ),  $e'$  est déterminé à partir de plaque équivalente associé.

#### Cas particulier

#### Figure 4.2: Cas particulier (cylindre creux et court)

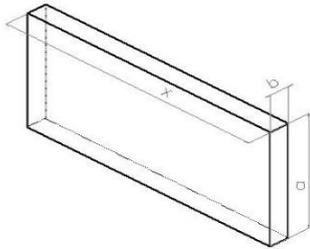


\*CTIF : centre technique d'industrie de fonderie.

Plaque équivalente

$$\left\{ \begin{array}{l} x = H/2 \\ a = \pi \cdot (d+e) \\ b = e \end{array} \right.$$

$$\longrightarrow e' = e' (H/2, \infty, e)$$



$$e' = \frac{2axb}{2Xa+ab} \longrightarrow e' = e'(x, \infty, b)$$

## 1.2 Détermination des dimensions de la masselotte :

Les dimensions de chaque masselotte sont déterminées de manière que le diamètre  $D_0$  de la masselotte de référence est lié à l'épaisseur  $e'_R$  de la plaque équivalente de la partie de pièce à laquelle elle est destinée, selon la relation :

$$D_0 = e' \cdot K$$

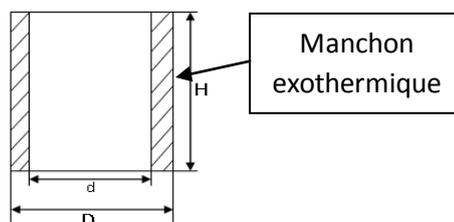
Avec  $K=3$  à  $3,6$  dans le cas d'une masselotte disposée sur chant.

La morphologie de la pièce et le sens de moulages sont eux qui nous précisent la disposition de la masselotte (voir annexe 5 : Mode de remplissage).

Donc :  $D_0 = e'_{R1} \cdot K = 8.18 \times 3 = 2.54 \text{ cm} = 245 \text{ mm}$

La société utilise les manchons (masselotte exothermiques) qui ont pour but de garder la température du métal du coulage jusqu'à l'achèvement de l'opération de remplissage.

Le calcul des dimensions d'une masselotte à manchon isolant ou exothermique conduit généralement à une réduction notable de la mise au mille sur des pièces où le taux de masselottage est élevé. Avec les produits courant du marché de la fonderie on peut tabler sur une réduction de 20 à 30% du diamètre d'une masselotte ordinaire entourée de sable.

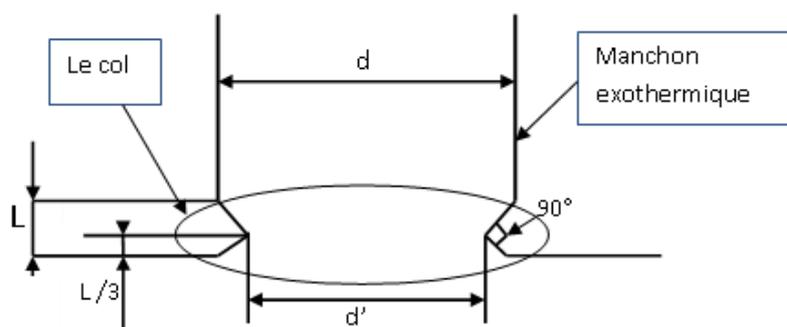


A partir du catalogue on prend la valeur la plus proche, donc on a choisie  $d = 250 \text{ mm}$  (diamètre intérieur de la masselotte exothermique), dont on déduit les paramètres de la masselotte cité dans le tableau suivant :

Permane x SL	Module en (cm)	Volume de manchons en ( $dm^3$ )	Diamètre intérieure en (mm)	Diamètre extérieure en (mm)	La hauteur en (mm)
SL 10	5,6	9,8	250	305	200

**Tableau 4.1: Les paramètres de la masselotte**

Pour faciliter la casse de la masselotte et l'alimentation de la pièce, on utilise un col à casser comme la montre la figure ci après :



**la figure 4.3 Profil des cols de liaison**

Avec  $d' = 0,5 \cdot d = 0,5 \times 245 = 123 \text{ mm}$

Et  $L = 0,15 \cdot d = 0,15 \times 252 = 36,75 \text{ mm}$

## 2. Méthode de vérification:

### 2.1. Détermination du volume de la masselotte

La relation entre le volume de la masselotte  $V_M$  et le volume de la pièce  $V_P$  est comme suit :

$$V_M > k \cdot r \cdot V_P$$

Avec  $\left\{ \begin{array}{l} k : \text{coefficient lié au rendement de la masselotte} \\ r : \text{retrait à l'état liquide + contraction de solidification} \end{array} \right.$

Et  $\left\{ \begin{array}{l} V_P = 163,2 \text{ dm}^3 \text{ (SolidWorks)} \\ k = 4 \text{ masselotte exothermique} \\ r = 0,04 \text{ (fonte blanche)} \end{array} \right.$

Donc :  $V_M = 0,04 \times 163,2 \times 4$

$$V_M = 26,2 \text{ dm}^3$$

On calcul le nombre de masselotte pour avoir :

$$V_M \geq r \times V_p \times k$$

Donc le nombre nécessaire des masselottes :

$$n_m = \frac{26,2}{9,8} = 2,7 \approx 3$$

On prend les 3 masselottes et on les positionne sur la face de la pièce de 120° au lieu de 4 masselottes adopté par la société (voir figure ci- dessous).



**La figure 4.4 :positions des masselottes**

## 2. Conception du système de remplissage

Le remplissage de l’empreinte est assuré par un système d’attaque. Il permet d’amener dans l’empreinte la quantité d’alliage nécessaire à la venue totale de la pièce. Il doit avoir une descente directe vers le creux de l’empreinte et avec un débit constant.

Il est composé :

**Descente de coulée** : Conduit verticale dirigeant l’alliage vers les canaux, en général de section circulaire.

**Canaux** : Conduit horizontaux (ou peu inclinés) dirigeant l’alliage vers les attaque.

**Attaques** : Conduits courts, en général de section réduite et de forme plate reliant les canaux à l’empreinte de la pièce. Leurs dispositions dépendant de la forme de la pièce, de l’emplacement des masselottes et de la nature de l’alliage.

Pour obtenir une pièce compacte, il faut établir un remplissage en gardant la même pression dans les attaques, ainsi que la température. Et ce faire, il est préférable d’utiliser un canal dégressif. la société adopte pour cette pièce un remplissage directe par des manchons sans un système d’alimentation ce qui peut produire des défauts dans la pièce c’est pour cette raison, on a fait une conception de système d’alimentation pour alimenter la pièce de manière efficace.

Le remplissage s'effectuera par une descente de section  $S_d$ , deux canaux et 4 attaques.

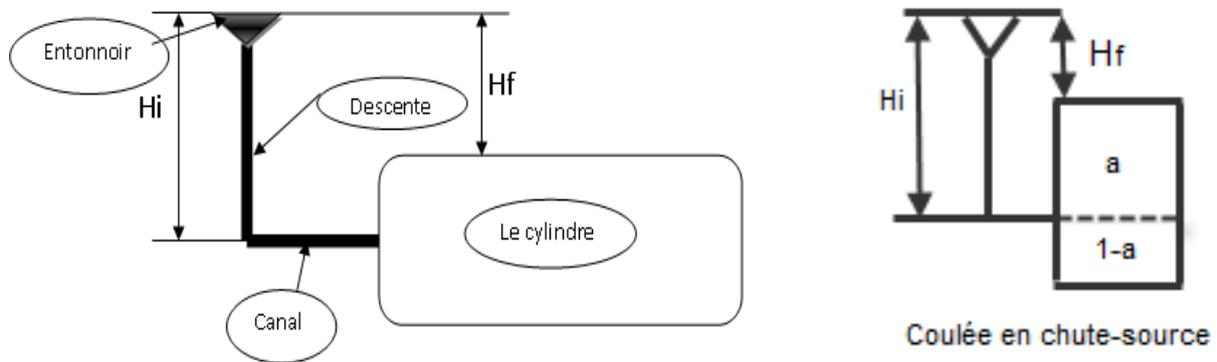
## 1. Méthode théorique (CTIF)

### 1.1. Volume à remplir :

$V = \text{Volume de cylindre} + \text{Volume des masselottes qui se remplissent en même temps que le cylindre}$

$$V = 163,2 + 29 = 193 \text{ dm}^3 \quad (\text{par solidwork})$$

### 1.2. Mode de remplissage :



**la figure 4.5 Coulée en chute- source**

Pour un système de coulée en chute –source, la hauteur métallo statique.

$$\left. \begin{array}{l} \text{Hauteur initiale : } H_i = 5 \text{ dm} \\ \text{Hauteur finale : } H_f = 4 \text{ dm} \end{array} \right\} H = \left( \frac{H_i + \sqrt{H_i \cdot H_f}}{(1+a)\sqrt{H_i} + (1-a)\sqrt{H_f}} \right)^2 \quad (1)$$

### 1.3. Echelonnement :

Fonte blanche alliage faiblement oxydable à l'état liquide et plan de joint horizontal avec profil des sections du canal, on 'adopterons l'échelonnement :

$$\begin{array}{c} S_d - S_c - S_a \\ \Downarrow \quad \Downarrow \quad \Downarrow \\ 1 - \sqrt{\frac{H_i}{2}} - \sqrt{\frac{H_i}{2}} \end{array}$$

$$\text{Soit : } 1 - 1,58 - 1,58$$

On prend comme coefficient de rendement hydraulique :  $\eta = 0.65$  et comme profil de canal : canal dégressif. (Voir Annexe 7: Echelonnement d'un système de remplissage)

#### 1.4. Temps de remplissage :

Pour une épaisseur de référence  $e' = 8,2\text{cm}$  et une surchauffe  $\Delta t = 50^\circ\text{C}$ . On prolonge la courbe du temps pour les alliages de fonte allié on prendra :  $Tr = 40\text{s}$  (voir annexe 9 : Temps de remplissage).

#### 1.5. Calcul des sections du système de remplissage

##### 1.5.1) Descente de coulée :

$$\left. \begin{array}{l} \eta = 0.5 \\ H = 4.8 \text{ dm} \\ V = 193 \text{ dm}^3 \\ Tr = 40 \text{ s} \end{array} \right\} S_d = \frac{V}{Tr \cdot \sqrt{2gH \cdot \eta}}$$

$$S_d = 25\text{cm}^2 \quad \Longrightarrow \quad d = 57 \text{ mm}$$

Avec :

$S_d$  : section de descente du système de remplissage.

$V$  : volume de grappe de coulée.

$Tr$  : temps de remplissage de la grappe de coulée.

$g$  : accélération de pesanteur ( $9,8\text{m/s}^2$ ).

$H$  : hauteur de métal statique.

$\eta$  : rendement hydraulique du système de remplissage

Il est recommandé d'avoir une conicité sur le tracé le système de descente.

On a  $H_d = 300\text{mm}$  et  $H_b = 200\text{mm}$

$$S_D = 25 \sqrt{1 + 1,5} = 39\text{cm}^2 \quad \Longrightarrow \quad d = 70\text{mm}$$

##### 1.5.2) canal :

- Section des deux canaux au pied de coulée :  $S_C = S_d = 25 \text{ cm}^2$

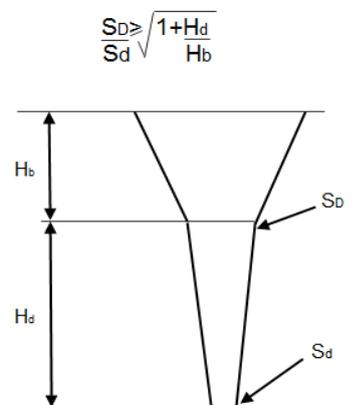
- Section d'un canal au pied de coulée :  $S_{C1} = \frac{S_C}{2} = 12,5 \text{ cm}^2 \quad \Longrightarrow \quad C = 35 \text{ mm}$

- Section des deux canaux :  $S_C = S_d \cdot \sqrt{\frac{H_i}{2}} = 25 \times 1,58 = 39,5 \text{ cm}^2$

- Section d'un canal après divergent :  $s'_C = S_C / 2 = 19,75 \text{ cm}^2 \quad \Longrightarrow \quad C_1' = 50 \text{ mm}$

Pour un canal dégressif on prend comme coefficient de dégressivité  $\alpha_i = 0,8$  (Annexe 8 : coefficient de dégressivité).

$$C_2' = 0,8 \times C_1' = 0,8 \times 50 = 40\text{mm}.$$



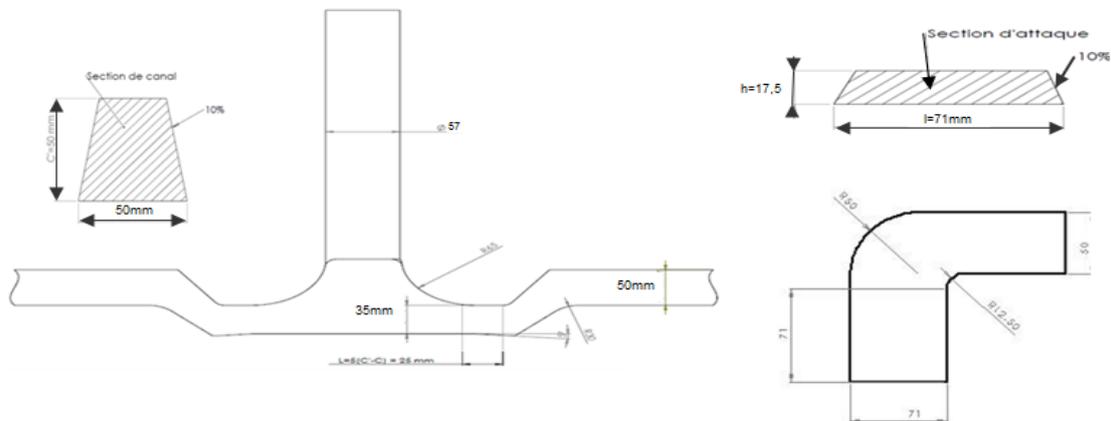
### 1.5.3) attaque :

- Section des quatre attaque :  $S_a = S_d \cdot \sqrt{\frac{H_i}{2}} = 32 \times 1,58 = 50,5 \text{ cm}^2$

- Section d'un attaque :  $s_{a'} = \frac{S_a}{4} = 9,87 \text{ cm}^2$

Dimension d'un attaque : on a  $l = 4 h$  et  $s_{a'} = l \cdot h$

Donc :  $s_{a'} = 4 \cdot h^2 \implies h = 17,5 \text{ mm}, l = 71 \text{ mm}$



**Figure 4.6 : Les dimensions du système de remplissage**

### Résumé :

Section de descente :  $S_d = 25 \text{ cm}^2 \implies d = 57 \text{ mm}$

Conicité de descente :  $S_D = 39 \text{ cm}^2 \implies d = 70 \text{ mm}$

Section de coulée :  $s'_C = 19,75 \text{ cm}^2 \implies C_1' = 50 \text{ mm}$  et  $C_2' = 40 \text{ mm}$ .

Section d'attaque :  $s_{a'} = 9,87 \text{ cm}^2 \implies h = 17,5 \text{ mm}, l = 71 \text{ mm}$

## 2. Méthode théorique (Précis de fonderie page 71 et 72) :

### 2.1. Calcul de la section de descente :

C'est le calcul initial de la section de descente  $S_d$  qui conduit à la détermination des autres éléments selon le type d'échelonnement choisi.

$S_d$  : section de descente ( $\text{cm}^2$ ).

$V$  : volume de l'empreinte ( $\text{dm}^3$ ).

$t$  : temps de remplissage (s).

$$S_d = 7,1k \frac{V}{t\sqrt{H}}$$

H : la hauteur métallog statique (dm).

k : coefficient.

On a :  $1,4\sqrt{M} < t < 1,8\sqrt{M}$  avec M : masse de l'alliage coulée est égale 1370 kg (par Solidworks).

Donc :  $51 < t < 66$  on prend  $t = 55$  s.

Et  $V = 164 + 29 = 193 \text{ dm}^3$

On a :  $H_i = 5$  dm et  $H_f = 4$ dm (le même schéma que la 1<sup>ère</sup> méthode)

Et : (1)  $H = \left( \frac{H_i + \sqrt{H_i H_f}}{(1+a)\sqrt{H_i} + (1-a)\sqrt{H_f}} \right)^2 \implies H = 4,8$  dm

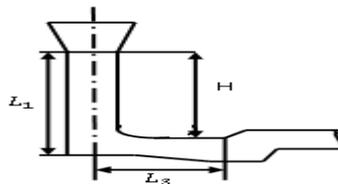
Comme pour la première méthode on choisi un canal dégressif, et on a choisi comme échelonnement : alliage liquide faiblement oxydable (voir Annexe 7).

$$1 - \sqrt{H_i/2} - \sqrt{H_i/2}$$

Soit :  $1 - 1,58 - 1,58$

On a  $H = 4,8$  dm

Alors :  $k = 0,3(L_1 + L_3) + 1,5$  (page 72) avec  $L_1 = 4$  dm et  $L_3 = 1$  dm



Donc :  $k = 3$

Finalement on trouve :  $S_d = 32,5 \text{ cm}^2$  et  $S_d = \frac{\pi d^2}{4} \implies d = 64,5$  mm

### 1.5.2) canal :

On a section de descente :  $S_d = 32,5 \text{ cm}^2$

- Section des deux canaux :  $S_c = S_d \cdot \sqrt{H} = 32,5 \times 1,54 = 50,05 \text{ cm}^2$
- Section d'un canal :  $S'_c = \frac{S_c}{2} = 25 \text{ cm}^2$

### 1.5.3) attaque :

- Section des quatre attaque :  $S_a = S_d \cdot \sqrt{H} = 32,5 \times 1,54 = 50 \text{ cm}^2$
- Section d'un attaque :  $s'_a = \frac{S_a}{4} = 12,5 \text{ cm}^2$ .

### Remarque :

Pour le calcul des dimensions du canal et de l'attaque, on procède à la même méthodologie que la première méthode.

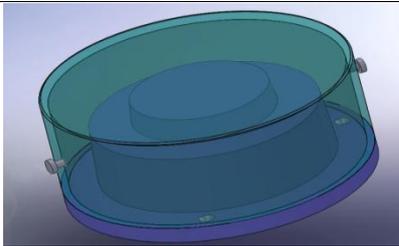
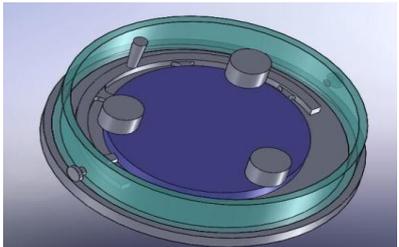
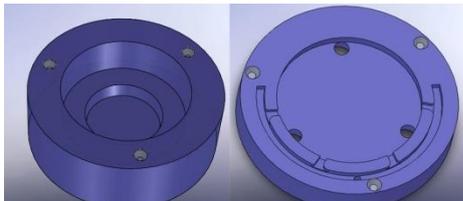
On utilise pour ce procédé un châssis cylindrique de diamètre  $\varnothing 1800$  au lieu d'un châssis cubique de diamètre  $\varnothing 1600$  mm et de hauteur 900 mm, puis on calcule le poids de sable utilisé par rapport au poids du grappe coulée sachant que la masse volumique en vrac de sable chromite utilisé est  $2,7\text{g}/\text{cm}^3$  et pour la fonte blanche est de  $7,8\text{g}/\text{cm}^3$  (Annexe 3). On a optimisé environ 12% de poids de sable.

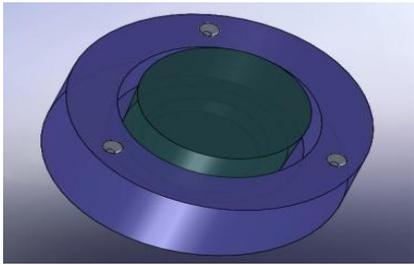
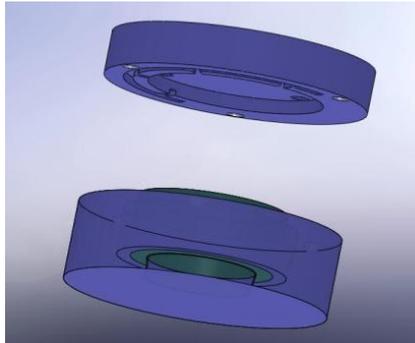
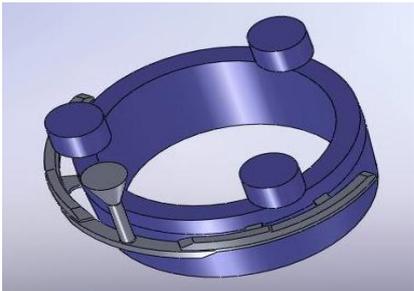
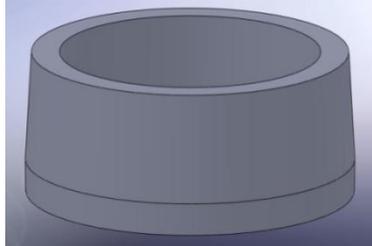
	(1) Poids DE SABLE UTILISE (Kg)	(2) Poids DE GRAPPE (Kg)	RAPPORT (1)/(2)	(3) Poids de pièce (Kg)	Mise en mille (2)/(3)
Paramètre calculé	5680	1578	3,6	1270	1,2
Paramètre réalisé	6361	1507	4,2	1277	1,18

**Tableau 4.2: comparaison des paramètres de la pièce**

### 3-Gamme de moulage de la pièce

On décrit les étapes de moulage pour la pièce étudiée (bouche d'aspiration).

Etapes	Commentaire	Croquis
1	On prépare la partie inférieure du moule, en positionne le châssis sur le modèle de bois, puis on met le sable mélangé avec la résine et le catalyseur (moulage auto durcissant) par un malaxeur.	
2	Comme pour la première on prépare la partie supérieure du moule, on positionne le modèle de la deuxième partie du modèle sur la première. On ajoute dans le modèle le système de remplissage (descente, canaux et les attaques) et le système d'alimentation (cols, manchons), et puis on remplit le châssis avec du sable.	
3	Ensuite on sépare les deux châssis, puis on retire les demi-modèles pour obtenir à la fin l'empreinte qui sera gravé sur les châssis après avoir les bien nettoyer ainsi les peindre puis les brûler afin d'éliminer les impuretés, l'humidité et avoir un bon état de surface.	

4	<p>on place le châssis inférieur, ensuite on pose le noyau qui nous donne la forme intérieur de la pièce sur l'empreinte inférieur après le faire l'opération de peinture de toutes les surfaces qui contact la coulée puis le bruler par le chalumeau.</p>	
5	<p>On fait le positionnement des deux moules par ses repère de moulage.</p> <p>ensuite, on colle les deux moules supérieur et inférieur après les nettoyer des impuretés et de sable détacher lors de remoulage.</p> <p>Puis on met le godet (entonnoir) et la charge sur la moule supérieur.</p>	
7	<p>Une fois la pièce refroidie, le moule est détruit. La pièce est séparée par sciage de son dispositif de coulée et des événements, un meulage supprime les bavures.</p>	
8	<p>La pièce brute de fonderie est alors prête pour le traitement thermique et l'usinage de ses surfaces fonctionnelles.</p>	

#### 4-Gamme et temps d'usinage

On détermine le temps nécessaire pour chaque opération d'usinage de pièce étudié par le chois adéquate des conditions de coupe et d'outillage. On à trois opérations d'usinage : Dressage, Chariotage, Rainurage axial et Perçage.

##### 1. Formule élémentaire

$$V_f = n * f = \frac{v.f.1000}{\pi D} \text{ en mm/min} \quad \text{et} \quad n = \frac{1000V_c}{\pi D} \text{ en Tr/min}$$

TEMPS DE COUPE EN TOURNAGE, TARAUDAGE ET PERÇAGE

$T_t$ : temps réel de coupe en minutes ;  
 $L_c$ : course totale d'usinage en mm ;  
 $V_f$ : vitesse d'avance en m/min.

$$T_t = \frac{L_c}{V_f \cdot 10^3}$$

$V_{fa}$ : vitesse d'avance aller en m/min ;  
 $V_{fr}$ : vitesse d'avance retour en m/min.

$$T_t = \frac{L_c}{10^3} \left( \frac{1}{V_{fa}} + \frac{1}{V_{fr}} \right)$$

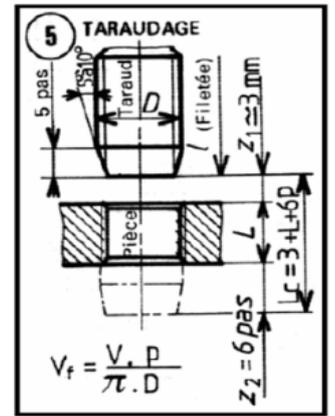
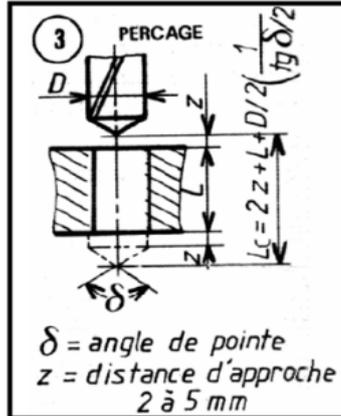
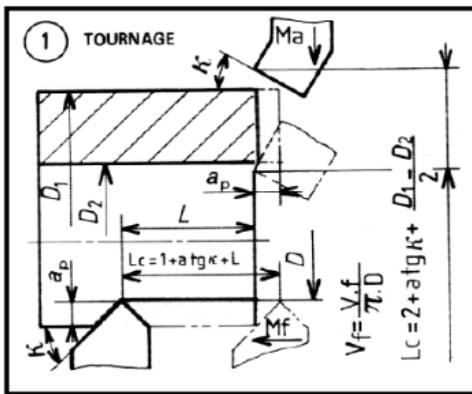


Figure 4.7 : Temps d'usinage

Contrat de phase N° 110 .		Machine: Tour CN Mise en position : mandrin à 4mors à serrage indépendant					Matière usinée: fonte blanche Pièce: bouche d'aspiration			
Désignation des opérations	Outils	Diamètre mm	Avance mm/tr	Vit Coup m/mn	vitesse rot tr/mn	vitesse Avance mm/mn	course axial d'outil mm	Temps Op mn	Temps mnt (Tt)	Temps mnt (Tm)
enlever la pièce										10,00
la mise en position	Mètre, comparateur									50,00
Dressage de A1 (Ebauche)	Outil dress char PCLN	1200	0,2	37	10	2	112	57,03	171,09	
Dressage de A1 (Finition)	Outil dress char PCLN	1200	0,1	30	8	1	112	140,672	281,344	
changement d'outil										10
Gogéage (Ebauche)	Outil Rainurage (r=5mm)	1150	0,2	37	10	2	22	10,73541	85,88	
Gogéage (Finition)	Outil copiage (r=4mm)	1150	0,1	30	8	1	22	26,48067	132,40	
contrôle de la pièce	Mètre, Pied à coulisse									10,00
Desserage de la pièce	Mètre, Pied à coulisse									10,00
totaux								670,72	90,00	
Temps d'usinage (min)								760,72		

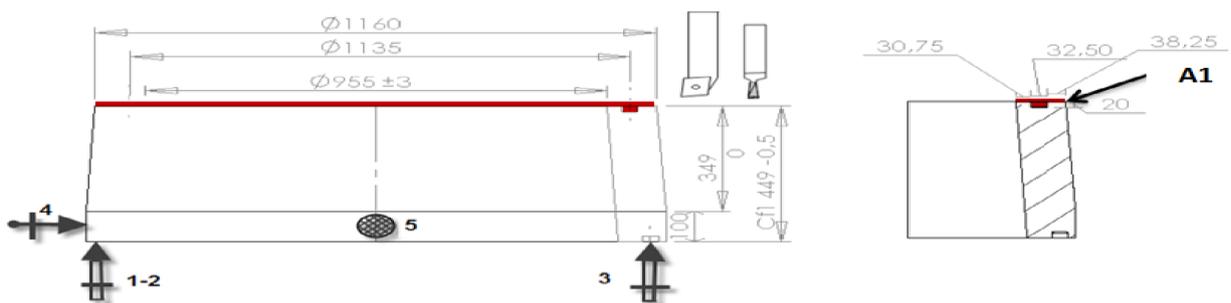
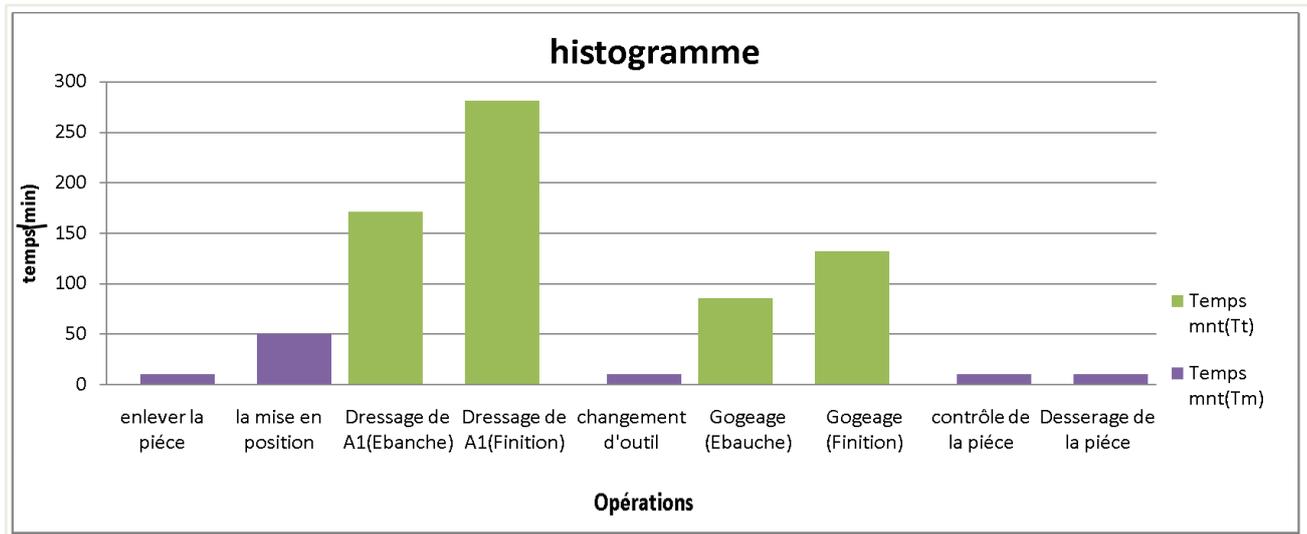


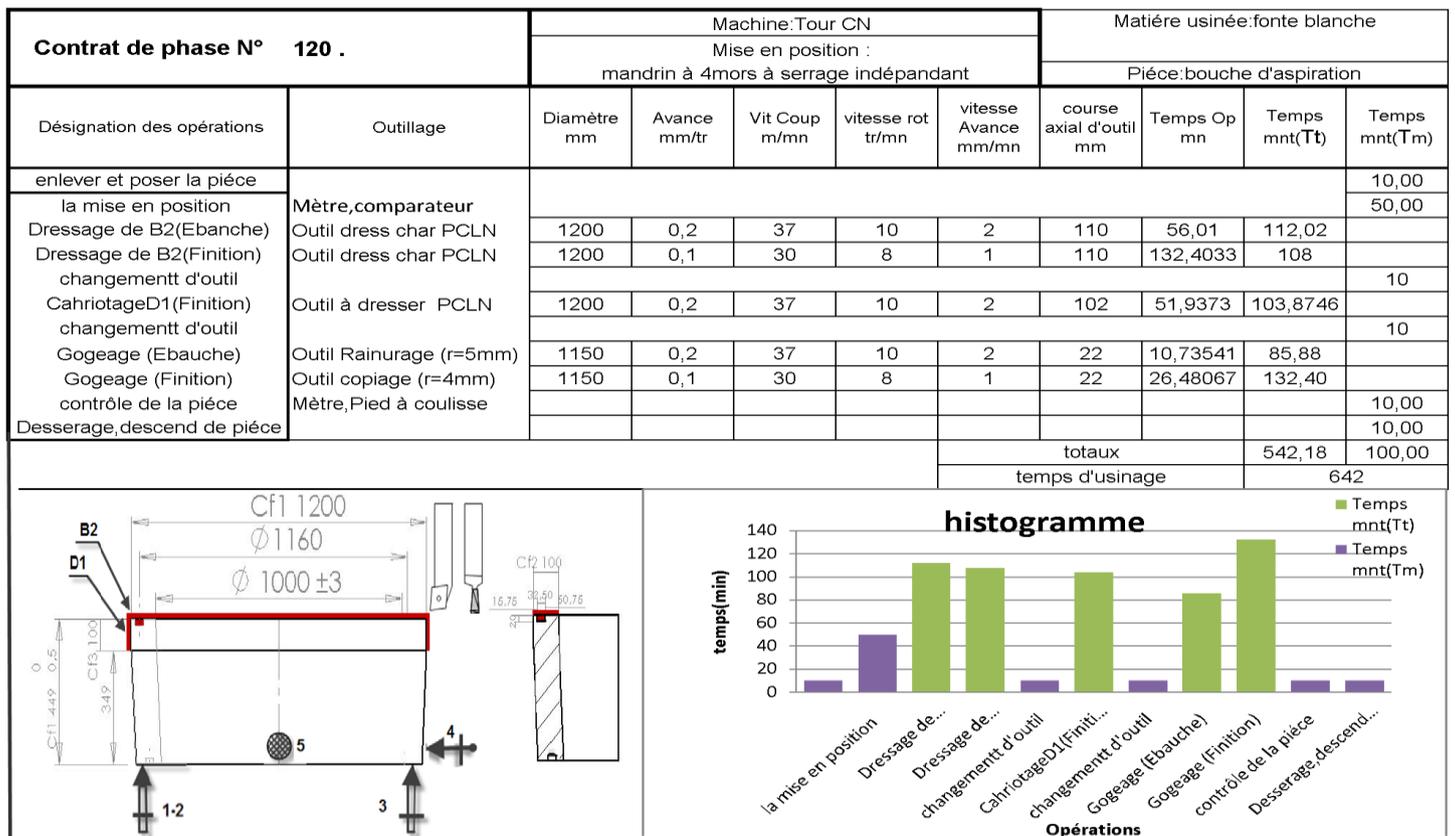
Figure 4.8 : contrat de Phase 110

**Tt : temps technologique :** C'est le temps correspondant au travail de la machine uniquement

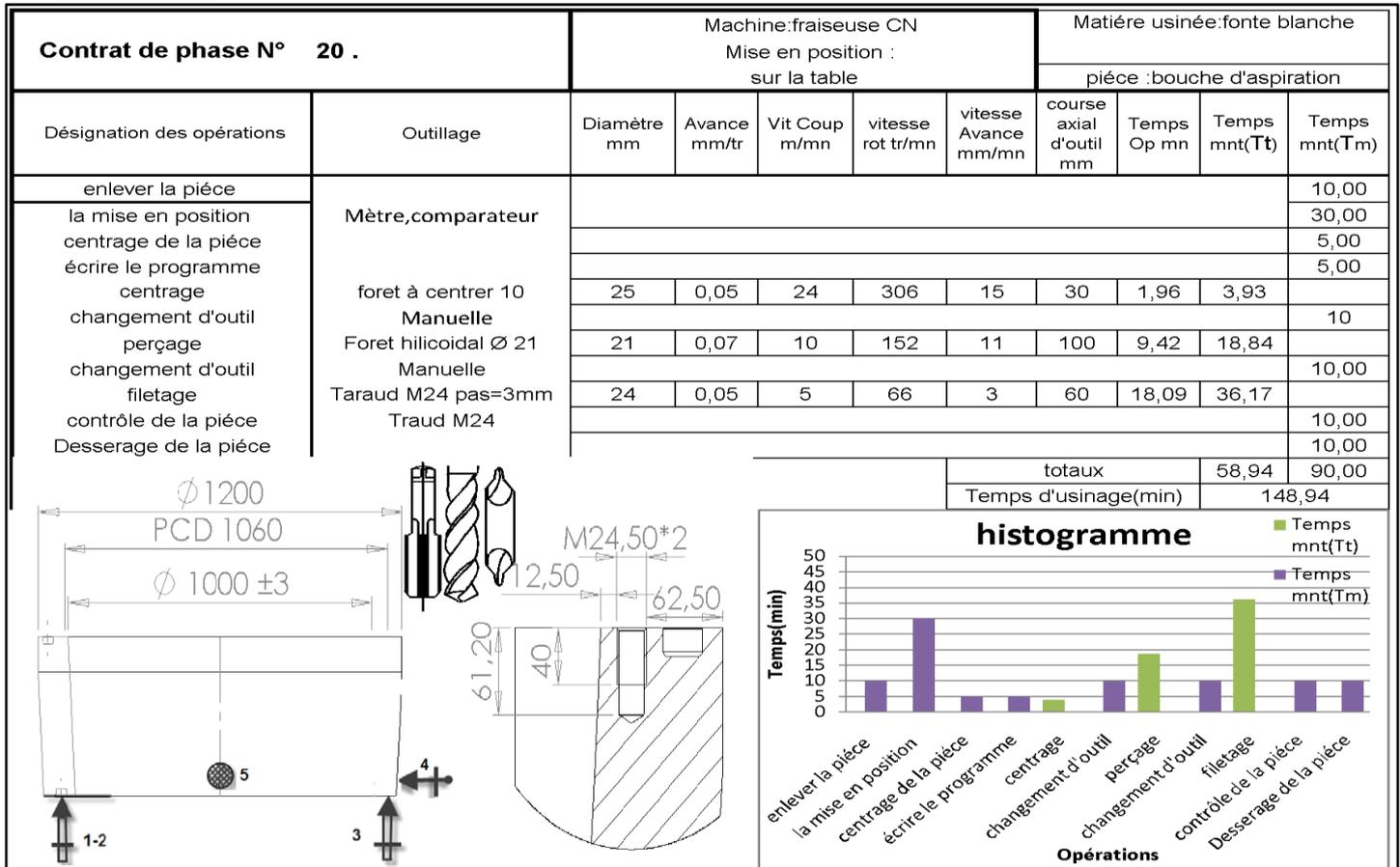
**Tm : temps humain :** C'est le temps correspondant à un travail humain physique ou mental qui dépend uniquement de l'action de l'opérateur.



**Figure 4.9 : histogramme de phase 110**



**Figure 4.10 : contrat de Phase 120**



**Figure 4.8 : contrat de Phase 200**

	Phase 110	Phase120	Phase 200	Total
Temps d'usinage	760min=12 h40min	642min=10h42min	149min=2h30min	26h

Le temps d'usinage calculer est de l'ordre de 26heurs par contre le temps réaliser est de 4 jours (60 heures) et cette différence est à cause de :

- ✓ Grande surépaisseur employé.
- ✓ Haute dureté de la pièce.
- ✓ Disponibilité des machines d'usinage.
- ✓ Variation de pourcentage des conditions de coupe au cours d'usinage de la pièce.
- ✓ Manque de motivation des opérateurs.
- ✓ Disponibilité d'outillage.
- ✓ Changement d'outillage au cours d'usinage à cause des défauts sur la pièce.

### Conclusion

Dans cette partie en établir une conception de système de remplissage et d'alimentation, on minimisant le poids de sable de 12%, et on respectant le rapport de mise en mille inférieur à 1,2

Ainsi la réduction du temps d'usinage et description de procédure de moulage.



# Chapitre V :

## Présentation du processus de fonderie

## 1. Processus de fonderie

À toutes les phases de la fabrication, s'insèrent de nombreuses opérations de mesure et de contrôle (analyse chimique du métal, analyse des sables de moulage, mesures de températures, contrôle tridimensionnel, métallographie ...). La gestion de la qualité est l'une des clés de la réussite industrielle, particulièrement dans les industries de la fonderie, où il faut maîtriser un nombre élevé de paramètres au cours du processus de production.

Le moulage d'une pièce à MAFODER passe par les étapes suivantes :

### ➤ Le bureau des études-méthodes :

Le bureau des études-méthodes réalise l'étude de moulage, prévoit les outillages pour obtenir la pièce et détermine les moyens à employer. Les surépaisseurs d'usinage ainsi que les dépouilles sont également définies sur l'étude de moulage.

### ➤ Modelage (Préparation de l'outillage) :

L'atelier de modelage est chargé de la réalisation des modèles nécessaire à la fabrication des moules. Les modèles sont réalisés en bois.

### ➤ Moulage :

Le moule est réalisé par serrage du sable de moulage dans des châssis métalliques guidés et assemblés. Chaque plan séparateur des châssis est appelé joint de moulage.

### ➤ Noyautage :

Le noyau est constitué de sable réfractaire avec un agglomérant qui permet le durcissement, Après la coulée, le noyau qui a perdu ses qualités de cohésion sera détruit pour obtenir une pièce creuse.

### ➤ Remoulage :

Le noyau est positionné dans le moule à l'aide des portées. Le moule est peint à l'aide d'un enduit d'alcool, séché, fermé et crampé afin de résister aux pressions métallo-statiques.

### ➤ Fusion :

Les opérateurs de la fusion assurent la préparation des charges nécessaires à l'obtention des nuances demandées et la préparation des poches de coulées. Le responsable de la fusion assure le respect des instructions de préparation et de contrôle métallurgique de la nuance.

Le procédé utilisé pour la fusion du métal est le procédé à induction (four à induction).

### ➤ Coulée :

L'alliage liquide est introduit dans l'empreinte par un système d'alimentation constitué d'un jet de coulée avec son entonnoir ; d'un chenal et des attaques. Les dimensions de chacun des éléments de ce système d'alimentation sont définies avec précision. Les rapports des sections conditionnent le débit de coulée qui est variable en fonction des formes de la pièce et de l'alliage.

➤ **Décochage :**

Le sable constituant l'empreinte est désagrégé sur une grille vibrante après.

Après un refroidissement et solidification de la pièce à l'air, les moules sont décochés sur une grille vibrante ou sur une décocheuse de capacité 8 tonnes pour séparer les pièces des moules.

➤ **Grenailage / sablage :**

L'opération de grenailage a pour but de nettoyer les pièces du sable et des impuretés. Cette opération est réalisée sur une grenailleuse ou à l'aide d'une sableuse.

➤ **Ebarbage :**

C'est l'opération de débarrasser des systèmes d'alimentation et des masselottes des pièces grenillées. Le système d'alimentation est séparé de la pièce par sciage ou tronçonnage et refondu. Le rapport poids de la pièce brute / poids de la pièce livrée est un des éléments du prix de revient de la fabrication.

➤ **Traitement thermique :**

Les pièces coulées doivent subir un traitement thermique. Le type du traitement thermique est fonction de la nuance et de la fonction des caractéristiques intrinsèques de la pièce.

➤ **Usinage:**

Les pièces sont usinées et contrôlées selon les spécifications des clients.

➤ **Contrôles et essais :**

Après les opérations de finition et d'usinage les pièces subissent des contrôles et des essais selon les spécifications des clients :

- contrôle dimensionnel.
- contrôle métallurgique.
- essai de charpie.
- contrôle de sable.
- contrôle de dureté.

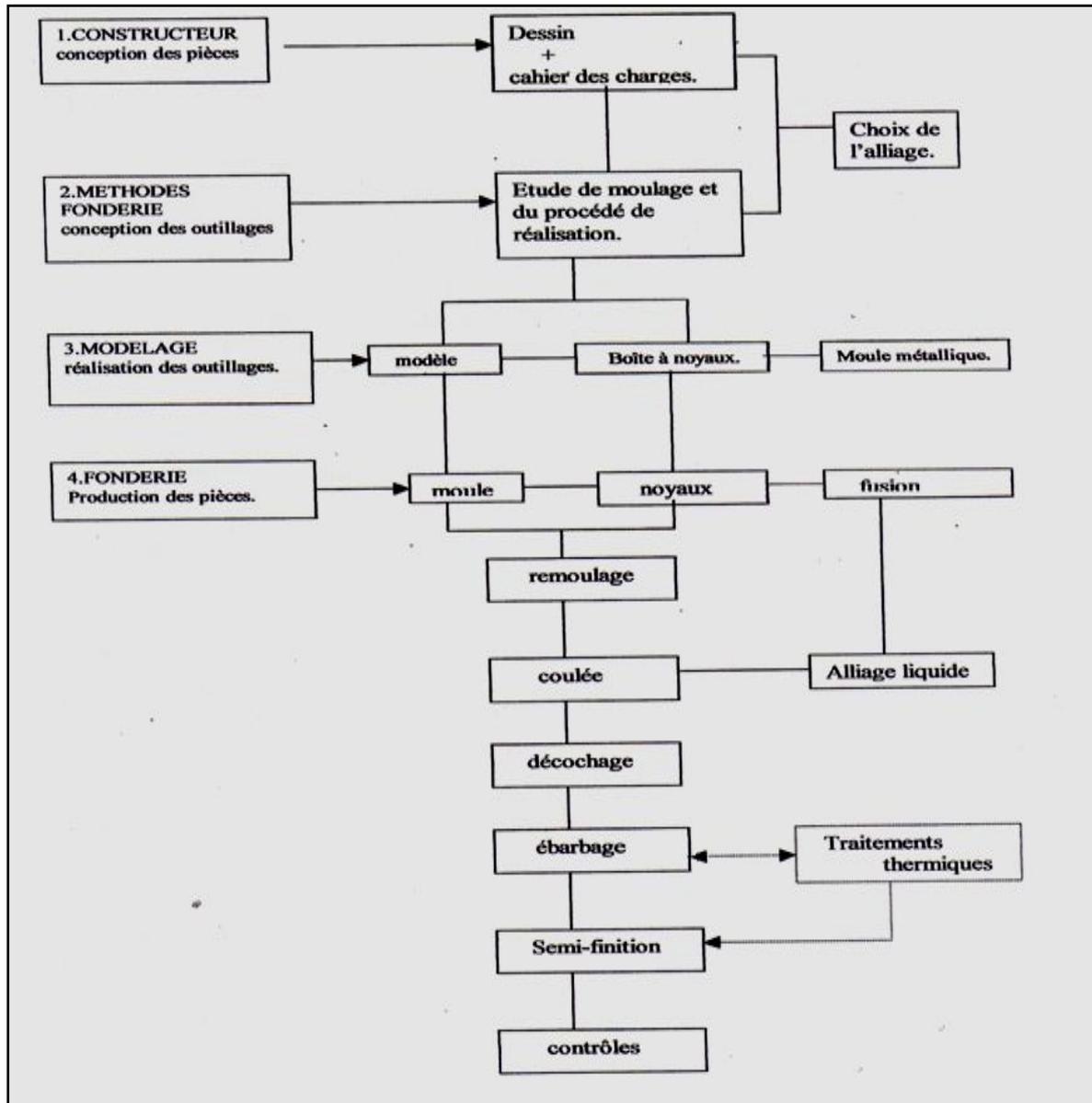
➤ **Peinture et montage :**

Les pièces sont peintes selon la spécification des cahiers des charges des clients. Les surfaces usinées sont peintes avec du verni pour les protéger contre la corrosion.

➤ **Stock :**

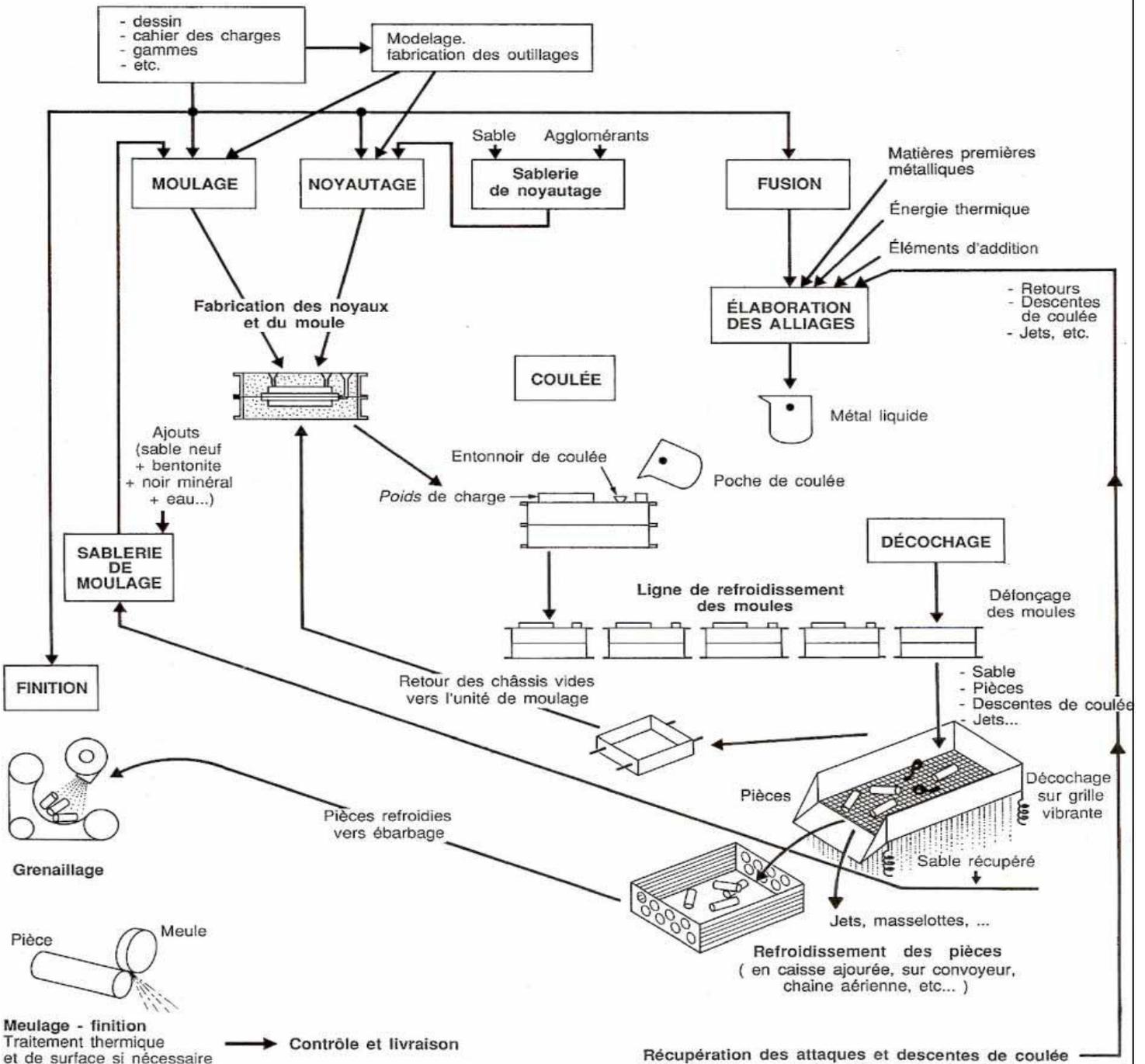
Les pièces fabriquées, à leurs états finales, sont stockés pour les livrer ensuite dans les délais précisés dans le cahier des charges.

Voici un organigramme qui représente les différents processus de fabrication dans une société de fonderie de la conception de produit jusqu'à son contrôle de livraison.



**Figure 5.1 : organigramme représente le processus de fabrication de fonderie**

Dossier de définition  
de la pièce et des outillages



**Figure 5.3 : les étapes de fabrication d'une pièce de fonderie**

## 2. Défauts de fonderie et leurs remèdes

### 2.1 Généralités.

Il s'agit d'exposer les moyens et les méthodes de contrôle de qualité du produit moulé.

Il est bien entendu que pour arriver à ne rebuter qu'un nombre minimum de pièces (pour assurer le prix de revient minimum), il faut contrôler toutes les phases de la fabrication d'une pièce de fonderie à savoir:

- Etude du moulage.
- Fabrication des outillages.
- Elaboration de l'alliage liquide.
- Moulage.
- Coulée.
- Décochage des pièces.
- Parachèvement des pièces.

Pour le contrôle de pièce de fonderie nous examinerons successivement :

- Les principaux défauts de fonderie qui causent le rebut d'une pièce.
- Les contrôles non destructifs des pièces.

### 2.2 Défauts de fonderie

#### a) Retassure.

Ce défaut se caractérise par une cavité interne ou externe à parois rugueuse. La cause principale est le retrait à l'état liquide de solidification.

Le mécanisme de formation de ce défaut est le suivant :

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

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

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

#### b) Crique.

C'est un défaut de surface qui se produit pendant la solidification de la pièce et qui a l'aspect d'une fissure dirigée dans un sens de perpendiculaire à celui du retrait à l'état solide.

La cause principale de est donc le retrait de linéaire, ou à l'état solide des parties déjà solidifiées et qui n'a pu s'effectuer librement par suite d'un obstacle qui est la partie moulante correspondants.

Pour remédier à ce défaut :

- Augmenter la résistance à chaud de l'alliage par action sur la composition chimique.
- Modifier le tracé de la pièce.
- Modifier le tracé du moule et/ou les matériaux de moulage ou leur composition.

#### c) Soufflures et piqures.

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

Les origines peuvent être :

- Alliage gazé pendant l'élaboration et les manutentions et qui libère les gaz pendant la solidification.
- Dégagement de vapeur d'eau du sable.
- Entraînement d'air à la coulée et mauvais tirage d'air dans le moule.
- Réaction moule métal.
- Trace d'humidité.

#### d) Abreuvage et métallisation.

Il s'agit d'une pénétration de l'alliage de dans le sable. Le degré maximum d'abreuvage est la métallisation totale du moule.

Les causes sont :

- Un sable de trop forte granulométrie et pas assez réfractaire.
- Un serrage insuffisant du sable et un système de coulée créant un point chaud.
- Température de coulée élevée.
- Alliage trop fluide par présence d'élément (exemple : le phosphore dans le bronze).

#### e) Reprise.

Ce défaut est le résultat d'une mauvaise soudure de deux veines de métal arrivant de deux directions différentes. Evidement, la pièce peut se rompre à cet endroit précis.

Les causes sont :

- Une température de coulée trop basse.
- Coulabilité insuffisante de l'alliage.
- Mauvais tracé de la pièce.
- Débit d'alliage dans le moule trop faible.

#### f) Gales et dartres.

La silice du sable de moulage se dilate et la couche superficielle de l'empreinte se déforme, se soulève et permet à l'alliage de passer en dessous. Des inclusions de sable dans la pièce sont possibles.

Les causes sont :

- Le sable est trop plastique.
- Le serrage du sable est trop important.
- Surchauffe d'une paroi du moule.
- la température de coulée et le temps de coulée du moule mal définit.
- -a4va5s trac » d4 \*5éce

#### g) Trempe partielle.

Pour les pièces en alliage ferreux, une partie de la structure est blanche. Les causes sont un refroidissement trop rapide d'une partie de la pièce (mauvais tracé ou emplacement défectueux d'un refroidisseur) ou une composition chimique incorrecte (par exemple : taux de silicium trop bas pour une fonte grise).

#### h) Formes incorrectes

La partie intérieure de la pièce est déportée par rapport à la partie extérieure.

Les causes principales sont :

- excès de jeu dans les portées de noyaux.
- mauvais remmoulage par défaut de repérage.

Remèdes possibles

- bien caler les noyaux dans les repères.
- assurer un remmoulage précis par repères détrompeurs.

#### i) Pièces déformées

Trois cas sont envisageables.

**Premier cas :**

La pièce est déformée par rapport aux cotes du dessin d'une façon systématique.

Causes principales :

- modèle déformé de par la nature des matériaux utilisés dans sa construction, de par sa conception et de par les mauvaises conditions de stockage.

Remèdes possibles :

- éviter l'emploi de matériaux de construction sensibles aux températures et aux conditions atmosphériques.
- stocker les modèles sans porte-à-faux.

### **Deuxième cas :**

La pièce est déformée par rapport aux cotes du dessin mais non d'une façon systématique.

Causes principales : il faut chercher ces causes au niveau :

- des conditions de fabrication.
- des manutentions.
- du verrouillage des moules.

Remèdes possibles :

- éviter toute déformation partielle du modèle lors du montage sur la machine.
- renforcer les châssis, pour en augmenter la rigidité;
- assurer un serrage homogène du sable.
- verrouiller les châssis entre eux sans serrage excessif

### **Troisième cas :**

Description du défaut : la pièce présente localement, ou même dans son ensemble, des déformations par rapport au dessin, au moule, et au modèle (sable).

Causes principales

- le retrait est contrarié par le tracé de la pièce, par le masselottage et le système de coulée.
- démoulage prématuré ou trop brutal;
- déformation après usinage, par libération des contraintes.

Remèdes possibles

- reprendre, lorsque c'est possible, le tracé de la pièce.
- bien s'assurer d'un serrage très homogène du sable.
- rechercher une solidification isotherme de la pièce.
- éviter les démoulages trop chauds pour diminuer les risques de déformation.
- stabiliser les pièces de forme complexe à la fin des opérations de parachèvement.

# Chapitre VI :

## AMDEC PROCESSUS



## 1. HISTORIQUE DE L'AMDEC

L'origine de cette méthode remonte aux années 1950 aux États-Unis. Cependant, la véritable mise en application en Europe à un niveau important n'a débuté que dans les années 80. Ce sont principalement les constructeurs automobiles qui ont permis le développement de cette technique en Europe en raison de leur puissance d'achat auprès des sous-traitants et par leurs exigences en matière de qualité.

Aujourd'hui, cette méthode est largement répandue dans tous les secteurs d'activité, et pour toutes les tailles de sociétés. Autrefois centrée sur les produits manufacturés, on la retrouve aujourd'hui dans de nombreuses entreprises de services pour valider un produit immatériel. On peut citer par exemple des organisations telles que les Jeux olympiques ou la Coupe du monde de football qui peuvent utilement avoir recours à l'AMDEC pour valider les différents scénarios mis en place.

La méthode a été créée à partir de la nécessité de valider toutes les étapes de la vie du produit pour obtenir en fin de compte la satisfaction du client. Les différentes étapes à valider sont les suivantes :

**Définition du concept du produit :** Il faut vérifier que toutes les attentes du client seront satisfaites.

**Définition du produit :** Il faut vérifier que la conception du produit garantira les attentes du client.

**Définition du procédé de fabrication :** Il faut vérifier que les spécifications Bureau d'études pourront être réalisées à 100 % par le procédé de fabrication.

**Définition de la gamme de montage :** Le procédé de montage doit garantir les conditions de fonctionnement BE.

**Définition d'une organisation ou d'un service :** Dans le cas d'un service, il faut vérifier que le « procédé » corresponde aux attentes du client et que l'organisation n'engendre pas de défaut.

Pour toutes ces étapes, on trouve différents types d'AMDEC dont les plus répandus sont :

### **AMDEC Produit**

Il permet de verrouiller la conception des produits lorsqu'ils sont encore au stade de la conception. Elle consiste à étudier les plans d'un produit afin de détecter préventivement les situations qui peuvent conduire à une fonction non réalisée ou mal réalisée.

### **AMDEC Processus**

Il permet de valider la gamme de fabrication d'un produit afin qu'elle satisfasse les caractéristiques définies par le bureau d'études. Elle consiste à rechercher dans une gamme de fabrication l'ensemble des situations qui peuvent engendrer des produits défectueux.

### **AMDEC Moyen ou Machine**

Il se focalise sur un moyen de production afin de :

- diminuer le nombre de rebuts.
- diminuer le taux de panne.
- augmenter la capabilité.

### AMDEC Organisation

Il permet de valider l'organisation qui doit fournir un service.

### AMDEC Sécurité

Il est sensiblement la même que l'AMDEC Moyen, mais la gravité des défaillances sera alors centrée sur l'opérateur et non sur le produit.

## 2. AMDEC Processus

L'AMDEC produit/process est utilisé pour chiffrer le risque encouru en cas de défaillance d'un composant couplé à la probabilité d'occurrence et le risque de non détection lors de la fabrication (ou contrôle qualité pièce).

### Sigle

Le signe A.M.D.E.C. signifie « Analyse des Modes de Défaillances et de leur Criticité ».

### Objectif

L'AMDEC processus produit a pour objectif d'obtenir une fiabilité ou une maintenabilité optimale d'un processus (ou d'un produit) en mettant d'abord en évidence les points à risques pour les réduire ensuite par des mesures appropriées.

Il doit se mettre en œuvre en groupe de travail impliquant les différents acteurs concernés par la pièce (fabrication, qualité, client, ...).

### 2.1 Définition PROCESSUS

On appelle "**Processus**", l'ensemble des enchaînements de tâches élémentaires ainsi que les moyens correspondants, nécessaires à l'élaboration d'un produit.

La décomposition fonctionnelle d'un processus peut se présenter graphiquement sous la forme d'un **diagramme flux**.

### 2.2 CRÉATION DU GROUPE DE TRAVAIL

Le groupe est composé:

- d'un animateur garant de la méthode.
- d'un pilote garant de l'analyse et de son aboutissement.
- de représentants des fonctions concernées par l'analyse du processus (études, méthodes, fabrication, qualité, etc...).

### 2.3 CONSTITUTION DU DOSSIER

Avant le démarrage de l'analyse, le groupe doit avoir:

- Le dessin du produit à fabriquer.
- de la gamme de fabrication.
- du schéma opératoire détaillé du processus.
- des contrats de phase.
- La fonction du produit et ses contraintes.
- Son environnement.
- les objectives qualités et fiabilité du produit.

## 2.4 DÉROULEMENT DE LA MÉTHODE

Elle se déroule en 5 étapes:

- Étape 1: Analyse et hiérarchisation des défauts potentiels.
- Étape 2: Recherche des actions correctives.
- Étape 3: Réévaluation des défauts après proposition d'actions correctives.
- Étape 4: Planification et mise en place des actions prévues.
- Étape 5: Confirmation des actions.

### 2.4.1 Analyse et hiérarchisation des défauts potentiels

A partir du diagramme flux, le groupe doit passer en revue toutes les opérations composant le processus:

- rechercher les défauts potentiels sur le produit, imputables à l'opération analysée.
- décrire, avec précision, L'effet pour le ou les clients, de chaque défaut potentiel identifié.
- énumérer toutes les causes possibles du défaut potentiel, pouvant être générées par le processus.

Cette analyse permet:

- **D'EVALUER** les défauts à partir d'une triple cotation

**Note "D"**: Probabilité de non détection du défaut à l'opération, compte-tenu des contrôles et des systèmes anti-erreur (poka-Yokés) prévus.

**Note "O"**: Fréquence d'apparition du défaut engendré par la cause -"O"(occurrence)

**Note "S"**: Gravité de l'effet retenu du défaut, pour le ou les clients.

- **DE CALCULER** l'indice de criticité—"C"

L'indice de criticité de chacune des causes de défaut est obtenu par le produit des notes - **D** - probabilité de non détection, - **O** - probabilité d'occurrence, et - **S** - gravité.

$$C = D \times O \times S$$

Cet indice établit une criticité relative du défaut. Plus il est élevé, plus le défaut considéré est préoccupant.

— **DE HIERARCHISER** les défauts à partir des indices de criticité et de recenser ceux dont l'indice "C" est supérieur à une limite "CL" définie par le groupe.

### 2.4.2 Recherche des actions correctives

Le groupe, pour les notes de criticité prises en compte, désigne les responsables de recherche des actions correctives.

### 2.4.3 Réévaluer les défauts après proposition d'actions correctives.

De la même manière que pour la 1ère évaluation des défauts, une nouvelle note de criticité sera calculée, prenant en compte les actions correctives.

En règle générale, dans le cadre de l'**AMDEC** processus, seules les notes concernant le processus peuvent être modifiées, à savoir: la non détection—"D" et l'occurrence—"O".

Deux cas peuvent se présenter:

- Le nouvel indice de criticité ne montre pas une amélioration sensible du processus, d'autres actions correctives doivent être recherchées, conduisant à un indice amélioré.
- Le nouvel indice de criticité est jugé satisfaisant, les responsables doivent mettre en œuvre les actions prévues.

### 2.4.4 Planification et mise en place des actions prévues.

Le pilote planifie la mise en œuvre des actions prévues.

### 2.4.5 Conformité des actions.

Toutes les actions seront confirmées par des mesures pratiques qui seront incorporées au dossier.

## GRILLE POUR L'ÉVALUATION DE L'AMDEC PROCÉDE

<b>G - GRAVITE</b>	
<b>1</b>	Défaillance minime. Le client ne s'en aperçoit pas.
<b>2 - 3</b>	Défaillance mineure, que le client peut déceler, ne provoquant qu'une gêne légère et remettant en cause l'image de soin apporté à la fabrication.
<b>4 - 5</b>	Défaut provoquant une gêne pour l'usinage ou le montage (litige de conformité).
<b>6 - 7</b>	Défaut provoquant une gêne pour le montage ou l'usinage entraînant un litige de conformité.
<b>8</b>	Défaut provoquant un rebut sans possibilité de retouche avec perturbation importante du flux de production.
<b>9</b>	Défaut provoquant une rupture d'approvisionnement chez le constructeur ou mettant en panne le véhicule du client utilisateur.
<b>10</b>	Défaut entraînant un risque d'accident pour le client utilisateur du véhicule.

### Indice de gravité

<b>F - PROBABILITE D'OCCURRENCE</b>	
<b>1 - 2</b>	Faible : très peu de défaillances.
<b>3 - 4</b>	Modérée : défaillance apparue occasionnellement dans des proportions mineures.
<b>5 - 6</b>	Fréquente : défaillance associée à une conception limite du produit et des moyens, ou à une utilisation abusive des moyens de fabrication, ou à une baisse de sévérité de la procédure de contrôle.
<b>7 - 8</b>	Elevée : défaillance qui a traditionnellement cause des problèmes dans le passé ou qui est due à la malfaçon d'une étape critique de production.
<b>9-10</b>	Très élevée : défaillance récurrente.

### Indice de probabilité d'occurrence

<b>D - PROBABILITE DE NON DETECTION</b>	
<b>1 - 2</b>	Il y a de fortes probabilités de détecter le défaut au poste de fabrication.
<b>3</b>	Le défaut à une forte probabilité d'être détecté. Risque improbable d'atteindre le client.
<b>4</b>	Le défaut est difficile à détecter. Risque improbable vis-à-vis du client
<b>5 - 6</b>	Le défaut risque de ne pas être détecté. Risque possible vis-à-vis du client.
<b>7 - 8</b>	Le défaut atteindra probablement le client Risque probable vis-à-vis du client.
<b>9</b>	Le client détectera certainement le défaut. Risque certain.
<b>10</b>	Le client utilisateur détectera certainement le défaut. Risque certain.

### Indice de non-détection

### 3-Tableaux AMDEC Processus :

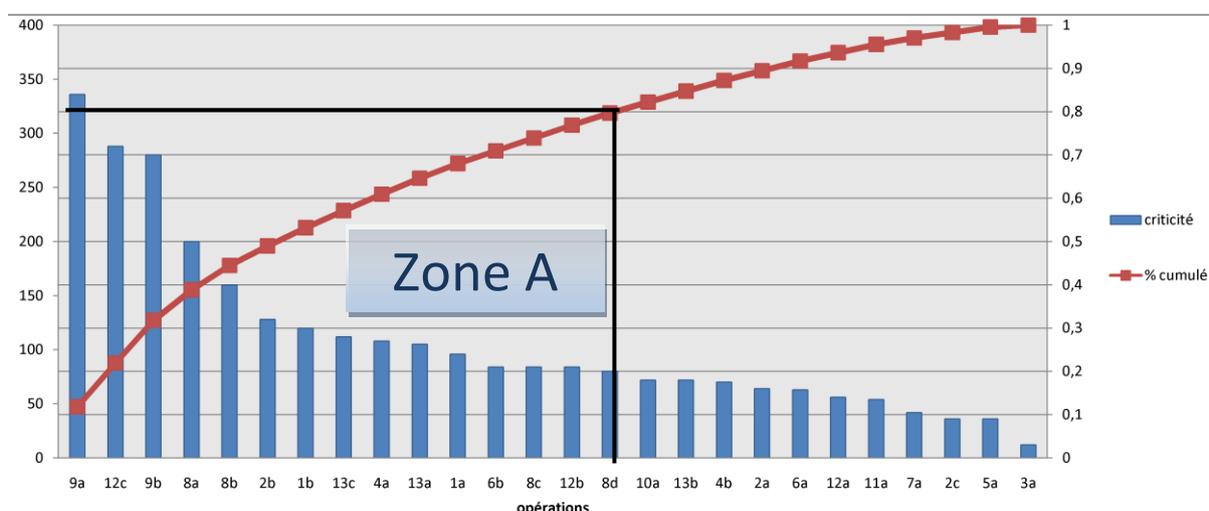
MAFODER		ANALYSE DES MODES DE DEFAILLANCE, DE LEURS EFFETS ET DE LEURS CRITICITES, AMDEC processus							Processus : Fonderie		Client : IHC PARTS & SERVICES BV		Désignation pièce : bouche d'aspiration	
N°	Caractéristiques Système Processus	Participants : M.Sael,Flissat,Gouram,Arbi.			date: 03/04/2012				AMDEC Processus					
		Défaillance potentielle	Causes	Effets	Gravité	Fréquence	Détection	criticité	Action préventif	Gravité	Fréquence	Détection	criticité	
1	Modelage	Mauvais Dimension	les conditions de stockage	pièce non conforme	8	5	6	240	bon stockage	8	2	3	48	
			dimensionnel	pièce non conforme	8	5	3	120	contrôle de modèle	8	4	2	64	
Processus de moulage														
2	Préparation de sable	Hors tolérance de % de résine et catalyseur	probleme de fitre et de pompe	pièce non conforme	8	4	2	64						
		Présence des fines dans le sable	cyclone ,fitre	Soufflures et piqures	7	4	5	140	maintenance de pompe	7	4	2	56	
		Temps de prise très cours	main d'œuvre	Moule cassé	6	3	2	36						
3	remplissage de chassis	Mauvais remplissage	inattention de l'opérateur	dimensionnel	3	2	2	12						
4	Noyautage	Dimensionnel	main d'œuvre	métallisation	6	3	6	108	contrôle des dimensions	6	3	3	54	
		preparation de sable	durée de malaxage	arachement du sable	7	5	2	70						
5	Démoulage	Démoulage mal réalisé	contre Dépouille	Arachement du sable	6	3	2	36						
6	la pienture de moule	la pienture insuffisante	inattention de l'opérateur	Abreuvage	7	3	3	63						
		Brulage insuffisant	inattention de l'opérateur	piqures	7	4	3	84	contrôle visuel	7	4	2	56	
7	Remoulage	Mauvais remoulage	reperage mal défini	NC,Detachement de sable	7	3	2	42						
processus de fusion														
8	Fusion	Température de surchauffe	mal défini	Présence des gazs	8	5	5	200	contrôle température de fusion	8	4	2	64	
		composition chimique	Non respecter	non conforme	8	4	4	128	contrôle de nuance	8	4	2	64	
		Présence des impurtés	Décrassage insuffisante	Hétérogénéité	7	4	3	84	mesure de quantité déccrassant	7	4	2	56	
		la quantité de métal insuffisant	poids de la charge mal calculer	non conforme	8	5	2	80	calcule la quantité du métal employé	8	4	2	64	
9	coulée	Température de coulée	mal calculer	reprise	8	7	6	336	contrôle température de coulée					
		Temps de coulée	mal calculer	reprises,criques	8	6	6	288	contrôle de temps de coulée					
processus de parchèvement														
10	Découchage	Découchage mal fait	opérateur	Cassure	6	4	3	72						
11	Ebarbage	mauvaise manipulation	main d'œuvre	pièce non conforme	6	3	3	54						
processus traitement thermique														
12	chaufage	cycle de traitement	mal calculer	non conforme	7	4	2	56						
			opérateur	non conforme	7	3	4	84						
		mauvais position de pièce dans le four	opérateur	Déformation	8	7	5	280	formation des opérateurs	8	3	3	72	
13	refroidissement	Vitesse de refroidissement	capacite de la machine	non conforme	7	5	3	105	maintenance des machines	7	4	2	56	
			opérateur	non conforme	8	3	3	72						
		la position de la pièce dans le refroidisseur	opérateur	Déformation	7	4	4	112	formation des opérateurs	7	3	3	63	

**Tableau 6.1: AMDEC Processus**

#### 4-Diagramme Pareto

Le *diagramme de Pareto* est un outil graphique d'analyse, de communication et de prise de décision très efficace.

Abréviation	operations	criticité	% criticité	% cumulé
9a	Température de coulée	336	11,25%	11,25%
12c	mauvais position de pièce	288	9,65%	20,90%
9b	Temps de coulée	280	9,38%	30,27%
1a	Mauvais Dimension	240	6,70%	36,97%
8a	Temperature de surchauffe	200	5,36%	42,33%
8b	composition chimique	160	4,29%	46,62%
2b	Présence des fines dans le sable	128	4,02%	50,64%
1b	Mauvais Dimension	120	3,75%	54,39%
13c	la position de la pièce	112	3,62%	58,00%
4a	Dimensionnel	108	3,52%	61,52%
13a	Vitesse de refroidissement	105	8,04%	69,56%
6b	Brulage insuffisant	84	2,81%	72,37%
8c	Présence des impurtés	84	2,81%	75,18%
12b	cycle de traitement	84	2,81%	78,00%
8d	la quantité de métal insuffisant	80	2,68%	80,68%
10a	Découchage mal fait	72	2,41%	83,09%
13b	Vitesse de refroidissement	72	2,41%	85,50%
4b	préparation de sable	70	2,34%	87,84%
2a	Hors tolérance de % de résine et	64	2,14%	89,99%
6a	la pienture insuffisante	63	2,11%	92,10%
12a	cycle de traitement	56	1,88%	93,97%
11a	mauvais position de pièce	54	1,81%	95,78%
7a	Mauvais remoulage	42	1,41%	97,19%
2c	Temps de prise très cours	36	1,21%	98,39%
5a	Démoulage mal réalisé	36	1,21%	99,60%
3a	Mauvais remplissage	12	0,40%	100,00%
total		2986		



**Figure 6:1 représentation graphique de diagramme de Pareto**

On remarque que 80% de défauts de fonderie correspondent à 50% des opérations ce qui nécessite un contrôle rigoureux de différents paramètres du processus durant la fabrication.

### 5-Contrôle process :

Pour viser l'objectif de la qualité totale de ses produits ainsi que leurs conformités aux cahiers des charges, l'industrie de la fonderie doit s'appuyer sur les plus récentes avancées scientifiques et techniques en matière de contrôle et de suivi du processus de production.

Les contrôles de fonderie contribuent directement à une meilleure maîtrise des processus de production et débouchent sur un nouvel état d'esprit fondé sur la qualité totale, la recherche du zéro défaut, ou le bien faire dès la première fois. Ceci se réalise par l'implication de tous les acteurs de l'entreprise.

Ces contrôles permettent de vérifier, à chaque stade du processus de fabrication, la conformité des variables de la production.

Ci-dessous les différentes étapes de contrôle au cours de processus.

Processus	Contrôle	Moyen de contrôle
Modelage	- Contrôle de modèle et de boîte à noyau (retrait, surépaisseur..).	-Mètre à retrait, gabarit
	- Vérifier les bonnes conditions de stockage de modèles.	-Visuels.
Moulage	-Contrôle la qualité de sable : - Humidité. - Granulométrie. - Porte à feu.	- étuve - analyse granulométrie - Four a moufle
	-Contrôle de dureté dans le moule	Durometre
	-Contrôle de mélange sable / catalyseur/ résine pour régler le temps de durcissement de sable.	Visuel

Fusion	-Contrôle de température de fusion.	Canne de pyrométrie
	-Contrôle de charge appliquée et de dégras employé.	Balance
	-Contrôle de temps et de température de coulée.	-Chronomètre et Canne de pyrométrie
	-Contrôle la nuance de l'alliage. -Contrôle de temps entre le remmoulage et la fusion	-Analyse Spectrographique
Traitement thermique	-Contrôle de dureté de la pièce.	-Duromètre
	-Contrôler la position de la pièce dans le four	-visuel

## 6-La traçabilité

La traçabilité du produit permet un suivi dans ses phases de production, mais également pendant sa durée de vie. Ainsi, grâce au marquage des pièces, un événement impliquant la tenue en service d'une pièce moulée de sécurité peut être mis en évidence, et l'on peut, ainsi, remonter toute la filière de production, depuis la fonderie, en amont, au niveau des fournisseurs.

Il permet d'analyser les étapes de production de produit dans le cas d'apparition des défauts sur le produit, puis corriger ce défauts pour qui n'apparaisse pas dans un autre produit . Car pour la pièce étudiée, la société a fabriqué 3 pièces rebutées, donc il va falloir un contrôle précis avec une traçabilité de toutes les étapes et un plan de surveillance du produit pour détecter les défauts s'ils existent et les corriger.

### Marquage des pièces

Il est préférable de définir le marquage des pièces sur les plans, à défaut, il faut donner les modalités du marquage :

- sur une zone restant brute de fonderie.
- par collage d'étiquette sur l'emballage de livraison lorsque les pièces sont trop petites.
- 

Les documents contractuels préciseront les diverses indications qui devront figurer sur la pièce :

- le logo ou le repère du fondeur.



- la nuance de l'alliage (par exemple, sur les pièces de voirie seront mentionnées la nature de l'alliage (acier moulé ou fonte à graphite sphéroïdal) ainsi que la charge maximale supportée par le passage d'engins).
- le numéro de modèle ou de plan.
- le repère de traçabilité : numéro de coulée, d'ordre ou tout autre repère permettant la traçabilité entre les pièces et les documents de contrôle.

### **Archivage**

Pour enrichir son expérience, la fonderie se doit de constituer une base de données réalisée à partir des résultats obtenus lors des contrôles effectués sur les pièces produites, plus particulièrement lorsque leur réalisation a nécessité une étude approfondie.

La fonderie peut se trouver dépositaire d'une pièce type, afin de constituer une référence dans le cas d'avaries impliquant la pièce de fonderie en service, ou encore, plus simplement, pour constituer la référence des prochaines séries de pièces à produire.

L'archivage peut avoir également un cadre réglementaire définissant les modalités de conservation de tous les documents relatifs aux contrôles effectués sur la pièce qui a été livrée et ses paramètres d'élaboration.

# CONCLUSION

---

Ce stage constitue le pivot de ma carrière professionnelle. Il m'a permis de faire une transition progressive entre l'enseignement théorique perçue durant ma formation et l'application directe de l'ensemble de mes acquis et des compétences développées au cours de mes stages antérieurs, dans différents domaines ainsi il m'a donné l'opportunité de confronter le milieu de travail et ses problèmes, dans un domaine très vaste plein de connaissances pratiques : c'est la fonderie qu'est un métier de savoir faire dont la qualité de la fabrication dépend de très nombreux paramètres.

Pour viser l'objectif de la qualité totale des produits ainsi que leur conformité aux cahiers des charges, l'industrie du fonderie doit s'appuyer sur les plus récentes avancées scientifiques et techniques en matière de contrôle et de suivi de processus de production.

Le travail réalisé dans ce projet consiste à remédier aux défauts de fabrication lors du moulage de la pièce : bouche d'aspiration pour les bateaux de braquage.

Pour ce faire on a été amené à

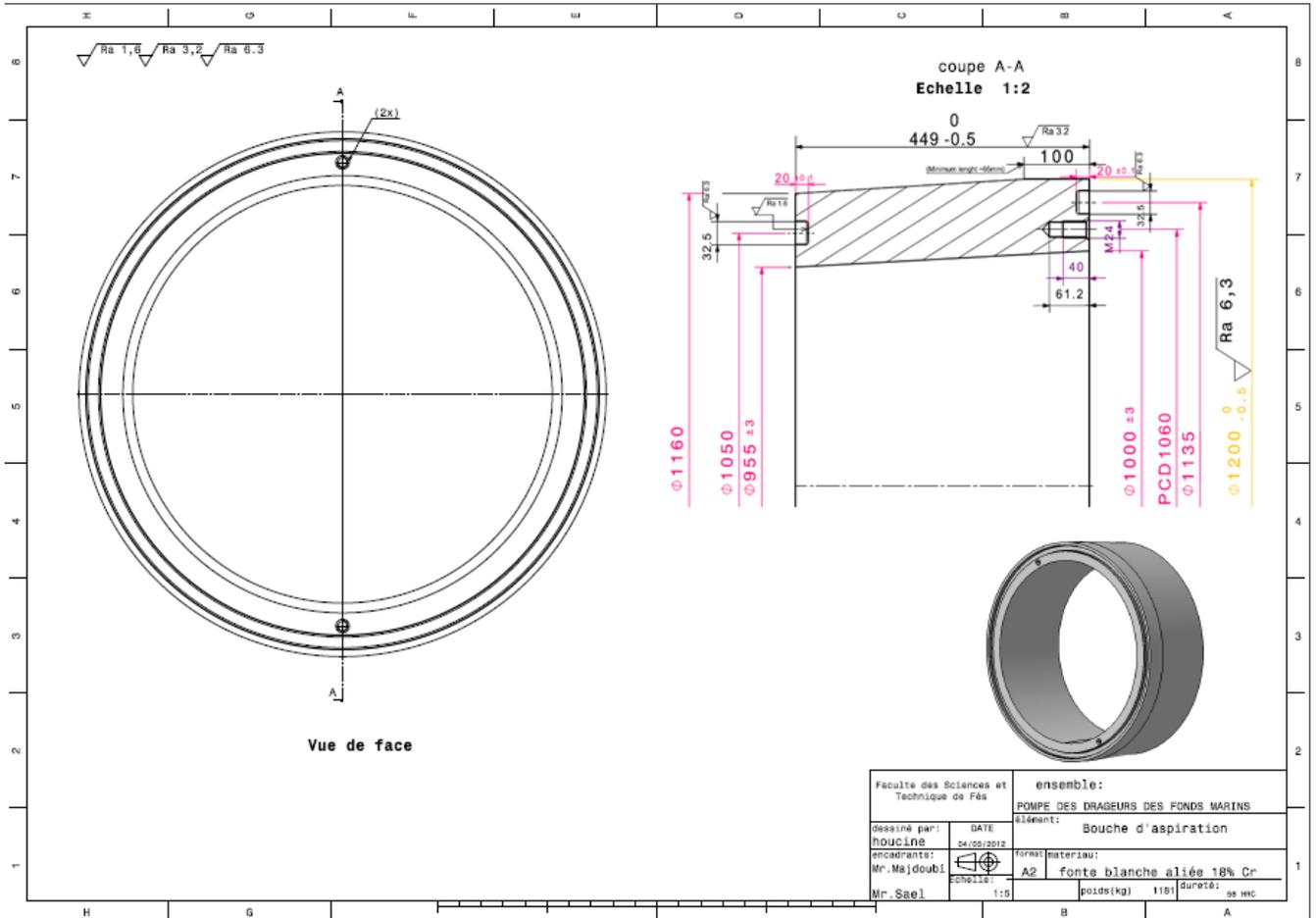
- Améliorer le processus de fabrication en rajoutant un système de remplissage décrit par la CTIF.
- Appliquer une étude AMDEC Processus pour vérifier et améliorer la gamme de fabrication de produit.

À cet effet, la rédaction d'un plan de contrôle définissant les diverses procédures à suivre constituera, pour un fondeur qualifié, un auxiliaire indispensable et un outil de traçabilité pour la production de pièces de qualité, et pour le client, l'assurance d'une démarche de progrès

# ANNEXE

		Wearmet			Maxidur	Max-Plate	
		Wearmet S1	Wearmet S2	Wearmet S3	Maxidur 5	MaXense	MaXtop
Lignes	Les lignes droites				.	.	.
	Coudes de branches	.	.		.	.	.
	La bouche d'aspiration		.	.	.	.	.
Pompes	Turbine	.		.	.		
	Tôles d'usure	.		.	.	.	.
	Bague à épaulement	.			.		
	La bouche d'aspiration				.	.	.
	Bague de roue portant				.		
	Visser une brosse				.		
	Revêtement de décharge				.		
	Revêtement de couverture d'aspiration				.		
Draghead	Tôles d'usure					.	.
	Porter des blocs				.		

*Annexe 1: dessin de définition*



*Annexe 2 : Surépaisseur d'usinage et Tolérance dimensionnelle : NF A 32 011*

cote ou s'applique la surépaisseur	Plus grande dimension de la pièce											
	Surépaisseur d'usinage						Tolérance dimensionnelle ±(en mm)					
	≤100	de 101 à 160	de 161 à 250	de 251 à 630	de 631 à 1600	de 1600 à 4000	≤100	De 101 à 160	De 161 à 250	De 251 à 630	De 631 à 1600	≥ 1600
≤16	2,5	2,5	2,5	4	4,5	5,5	0.5	0.5	0.5	1	1.5	2.5
de 17 à 25	3	3	3	4	4,5	5,5	1	1	1	1	1.5	2.5
de 26 à 40	3	3	3	4	4,5	6	1	1	1	1	1.5	3
de 41 à 63	3	3	3	4,5	5	6	1	1	1	1.5	2	3
de 64 à 100	3,5	3,5	3,5	4,5	5	6	1.5	1.5	1.5	1.5	2	3
de 101 à 160		3,5	3,5	5	5	6,5		1.5	1.5	2	2	3.5
de 161 à 250			4	5	5,5	7			2	2	2.5	4
de 251 à 400				5,5	6	7				2.5	3	4
de 401 à 630				6	6,5	8				3	3.5	5
de 631 à 1000					7,5	8,5					4.5	5.5
e 1001 à 1600					9	10					6	7
de 1601 à 2500						11,5						8.5
de 2501 à 4000						13,5						10.5

### Annexe 3: propriété de l'alliage : fonte blanche

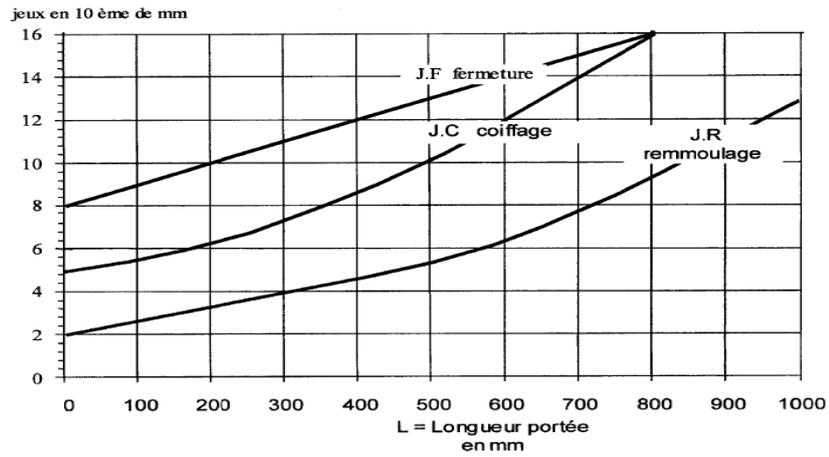
Nuances		Norme (AFNOR)	Propriétés recherchées	Principaux emplois
Blanches	FB Ni4 Cr2	NF A 32-401	Excellente résistance à l'abrasion, même aux températures élevées.	Cimenterie, mines, sidérurgie, travaux publics : bandages de meules, becs de godets, blindages divers, boulets de broyeurs, cames, cylindres de concasseurs et broyeurs, cylindres de laminoirs...
	à FB Cr 26 Mo Ni		Très bonne résistance à l'abrasion et bonne résistance à l'oxydation à chaud.	Fours, métallurgie, papeterie : barreaux de grilles, buses de sableuse et de grenailleuse, cylindres pour l'étréage des tubes, filières, galets de roulement, godets de drague, pales de ventilateur, éléments de pompe.

Nuances	Propriétés Physiques			Caractéristiques mécaniques (2)						
	Masse volumique g/cm <sup>3</sup>	Conductivité thermique W.m <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup>	Dilatation lin. (x 10 <sup>6</sup> .°C <sup>-1</sup> ) (à 20)	R (MPa)	Rp0,2 (MPa)	A (%)	HB	Résist. à la compression (MPa)	Limite de fatigue (MPa) (1)	Module d'élasticité x 10 <sup>4</sup> (MPa)
<b>Fontes alliées</b>										
Austénitiques	S - NM 13 7	7,4	21	14,7	370	170		130	800	11
	à S - NC 35 3			à	à	à		à	à	à
	L - NM 13 7	7,3	38	15	170	1	120	700	8,5	
	à L - N 35			à	1à		à	à		à
Blanches	FB Ni4 Cr2	7,8	25	6,8	280		500	1 600	16,8	
	à FB Cr 26 Mo Ni			à	à		à	à		à

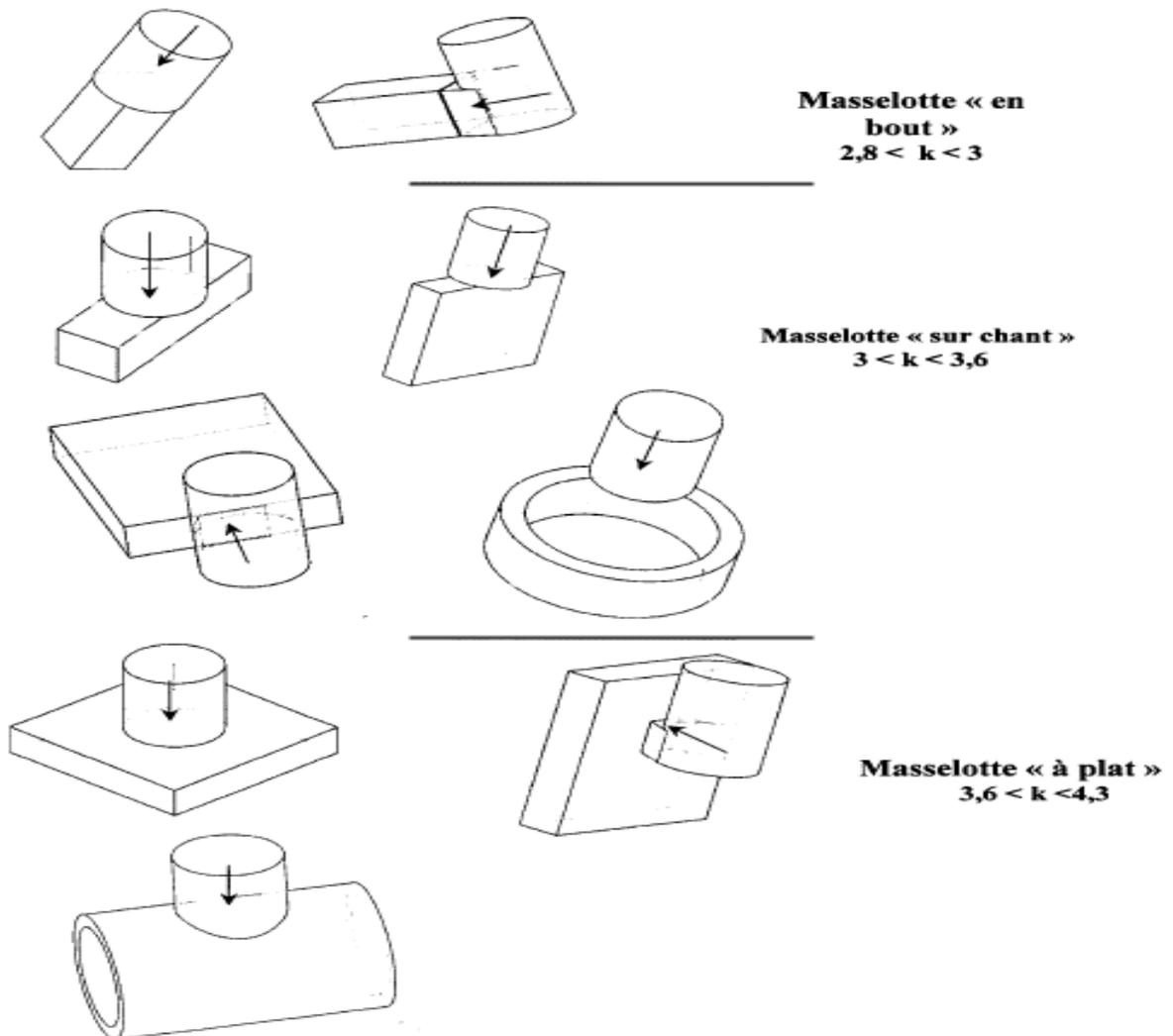
### Abrasion Resistant Cast Iron – BS EN 12513:2000

Material Designation	Symbol	Number	Vickers Hardness HV (Min)	Chemical Composition (%)								
				C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu
EN-GJN-HV350	EN-JN2019		350	2.4-3.9	0.4-1.5	0.2-1.0	-	-	-	Max 2.0	-	-
EN-GJN-HV520	EN-JN2029		520	2.5-3.0	Max 0.8	Max 0.8	Max 0.10	Max 0.10	3.0-5.5	1.5-3.0	-	-
EN-GJN-HV550	EN-JN2039		550	3.0-3.5	Max 0.8	Max 0.8	Max 0.10	Max 0.10	3.0-5.5	1.5-3.0	-	-
EN-GJN-HV600	EN-JN2049		600	2.5-3.5	1.5-2.5	0.3-0.8	Max 0.08	Max 0.08	4.5-6.5	8.0-10.0	-	-
EN-GJN-HV600(XCr11)	EN-JN3019		600	1.8-2.4 2.4-3.2 3.2-3.6	Max 1.0	0.5-1.5	Max 0.08	Max 0.08	Max 2.0	11.0-14.0	Max 3.0	Max 1.2
EN-GJN-HV600(XCr14)	EN-JN3029		600	1.8-2.4 2.4-3.2 3.2-3.6	Max 1.0	0.5-1.5	Max 0.08	Max 0.08	Max 2.0	14.0-18.0	Max 3.0	Max 1.2
EN-GJN-HV600(XCr18)	EN-JN3039		600	1.8-2.4 2.4-3.2 3.2-3.6	Max 1.0	0.5-1.5	Max 0.08	Max 0.08	Max 2.0	18.0-23.0	Max 3.0	Max 1.2
EN-GJN-HV600(XCr23)	EN-JN3049		600	1.8-2.4 2.4-3.2 3.2-3.6	Max 1.0	0.5-1.5	Max 0.08	Max 0.08	Max 2.0	23.0-28.0	Max 3.0	Max 1.2

### Annexe 4: JEUX DES NOYAUX



Annexe 5 : Mode de remplissage



Annexe 6: Retraits volumiques "R%" des fontes blanches et d'aciers

$\Delta\theta$ =surchauffe par rapport au liquidus

Alliage	$\Delta\theta$ 50°C	$\Delta\theta$ 150°C
Fontes blanche C <sub>eq</sub> =3%	4	6
Acier C <sub>t</sub> =0,8	6	7
Acier C <sub>t</sub> =0,8	5	6

*Annexe 7: Echelonnement d'un système de remplissage*

Alliage	Profil des sections du canal	Echelonnement (H <sub>i</sub> , en dm)			Remarques
Oxydable	Dégressif	1	0,95	>1,1	H <sub>i</sub> ≤ 100mm et Tr < 15s
		1	1	1	H <sub>i</sub> ≤ 200mm
		1	$\sqrt{H_i}$	$\sqrt{H_i}$	H <sub>i</sub> > 200mm
Faiblement oxydable	Dégressif	1	0,95	>1,1	H <sub>i</sub> ≤ 100mm et Tr < 15s
		1	1	1	H <sub>i</sub> ≤ 200mm
		1	$\sqrt{H_i/2}$	$\sqrt{H_i/2}$	H <sub>i</sub> > 200mm
Non oxydable	uniforme	1	1	1	Nombre d'attaque ≤ 3
		1	2	1	Nombre d'attaque > 4
	Dégressif	1	0,95	>1,1	
		1	1	1	H <sub>i</sub> ≤ 100mm
		1	$\sqrt{H_i}$	$\sqrt{H_i}$	H <sub>i</sub> > 100mm

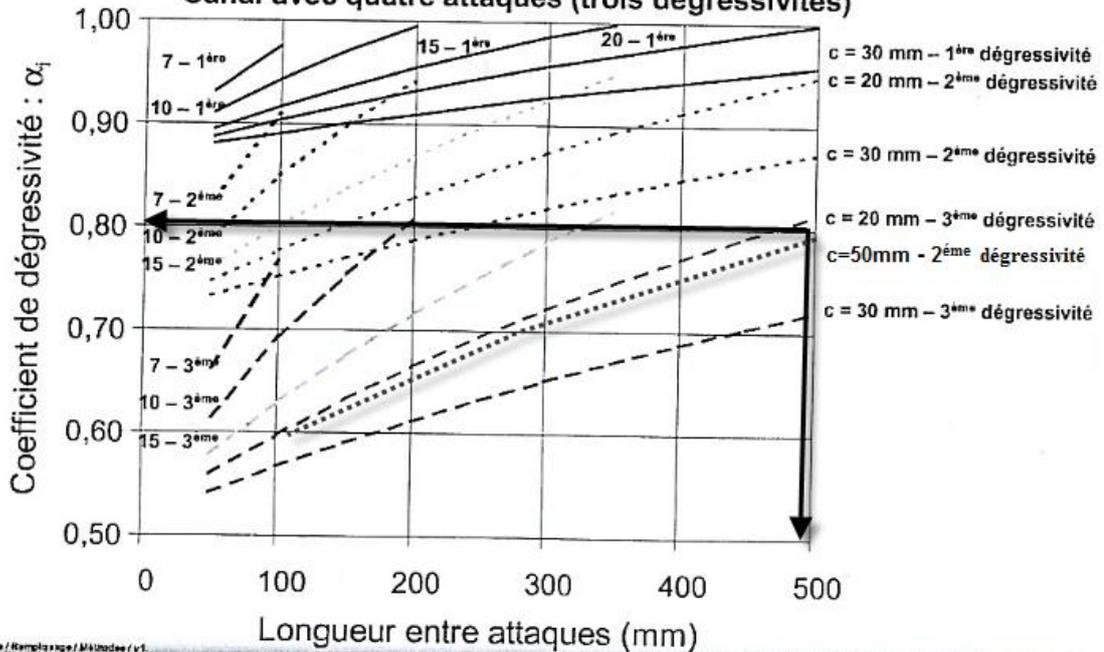
Annexe 8: Coefficient de dégressivité



**Recommandation sur le tracé d'un système**

**Homogénéisation des débits aux attaques**

Canal avec quatre attaques (trois dégressivités)

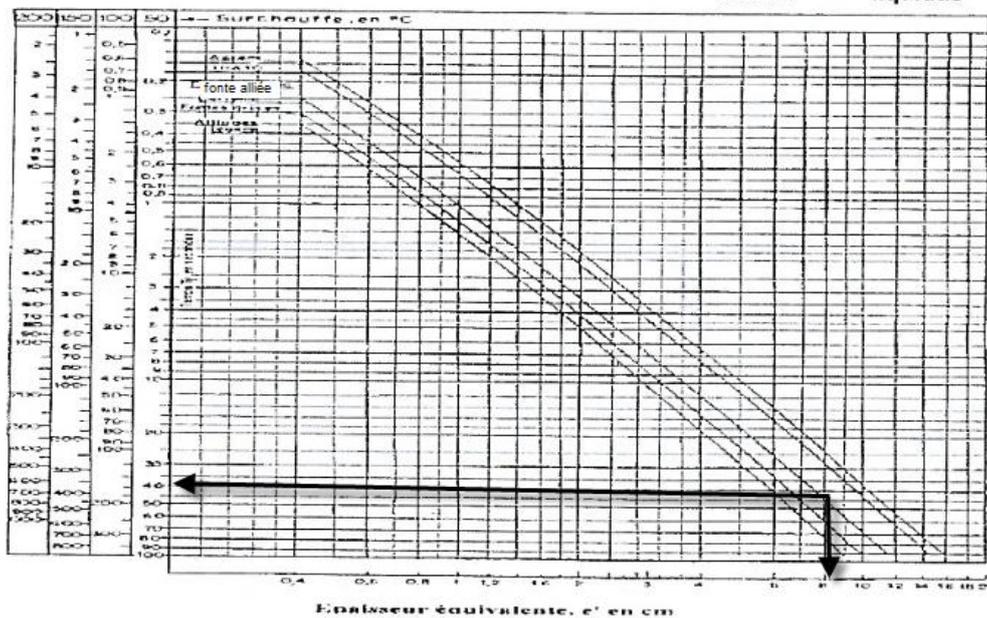


Annexe 9 : Temps de remplissage



**Temps de remplissage**

Temps de refroidissement TI pour passer de  $\theta_{\text{coulée}}$  à  $\theta_{\text{liquidus}} = \Delta\theta$



# BIBLIOGRAPHIE

- HUBERT Devaux «*Etudes de moulage de pièces diverses* » Exemples d'application des méthodes CTIF de masselottage et remplissage. édition 1982
- G.FACY et M.POMPIDOU« *Précis de fonderie. Méthodologie, production et normalisation* »Edition AFNOR 1983.
- [www.ihcmerwede.com](http://www.ihcmerwede.com).
- <http://www.ihcps.com>.
- Techniques de l'ingénieur.
- M. HUBERT Devaux «*Traité pratique de masselottages des pièces moulées en sable*».
- Daniel DURET et Maurice PILLET «*Qualité en production De l'ISO 9000 à Six Sigma*» édition d'Organisation 2005.
- André CHEVALIER Jacques BOHAN, Albert MOLINA «*Guide pratique de la productique* » édition HACHETTE.
- Claude BARLIER et René BOURGEOIS«*Mémotech- productique- conception et dessin*» édition CASTEILLA.
- Cours OFFPT «*détermination des temps de fabrication*».
- Claude BARLIER et Benoit POULET «*Mémotech- Génie mécanique productique- mécanique*» édition CASTEILLA.
- H.LONGEOT et L.JOURDAN «*Construction industrielle* » DUNOD 1988.
- Cours Professeur A. EL BARKANY«*masselottage et remplissage de moule*»
- Cours Professeur A. EL BARKANY «*cours de fonderie* »