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

UNIVERSITE DE MEDEA
Faculté de technologie
Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du Diplôme de Master en Génie Mécanique

Option: ingénierie des matériaux des surfaces

Thème

Conception et réalisation d'un moule d'une médaille en aluminium par procédé d'injection

Préparé et présenté par

Mr MOSSAB Hamza

Proposé et dirigé par :

Pr. ABDELLAH ELHADJ Abdellah

Promotion : 2017/2018

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Toute la famille de mossab

Pour mon père et ma mère et ma grand-mère

A tous mes frères « mohammed , khadija , lamya , maryam ,abdelhake »

Sans oublie à tous qui j’aime et qui m’aime.

Remerciement

En premier lieu, nous tenons à remercier notre Dieu, notreCréateur, pour le courage et la patience qu'il nous donné pour Accomplir ce travail.

Nous remercions notre encadreur mr pr. abdellah elhadj abdellah pour ses orientations et conseils. Nous tenon à notifier un remerciement Spécial à tous mes professeurs qui ont contribué à notre formation de Master.

Nous tenons aussi à exprimer nos profonds remerciements au membres de jury qui ont accepté de jury ce modeste travail.

Nous tenons aussi à remercier nos enseignants de département de Génie mécanique pour la formation que nous avons reçue.

Nos derniers remerciements et qui ne sont pas les moindres, vont

Merci à tous ceux qui m'ont aidé dans cet humble travail charchli mohammed et dr khalili tahar et collègue abdellah elhadj Abderrahmanr

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement De ce travail.

ملخص

تعد صناعة القطع المعدنية من أساسيات الصناعة في جميع مجالات الصناعة وهي تعاني من عدة مشاكل أهمها السرعة في التنفيذ وجودة النوعية. و في هذه الأطروحة نعمل على اقتراح وتصمين نموذج للآلة تعمل على حقن المعدن وتقوم على فتح وإغلاق القالب ذاتيا وتصميم قالب لقطعة.

Résumé

L'industrie métallurgique est l'une des bases de l'industrie Dans tous les domaines de l'industrie et souffre de plusieurs problèmes Le plus important les défauts de fonderie cette thèse nous avons proposé une conception d'une machine d'injection de métal
Ensuite on a essayé la machine sur un moule de médaille coinça par solidworks et fabriqué par machine cnc

Abstract

The metallurgical industry is one of the basics of the industry In all areas of the industry and suffers from several problems The most important foundry defects this thesis we proposed a design of a metal injection machine
Then we tried the machine on a mold of medal wedged by solidworks and manufactured by machine cnc

SOMMIARE

Chapitre I moulage

I.Introduction 13

I.1.Objectif de moulage 15

I.2.Le principe du procédé 16

I.3.Différents types de fonderie avec moule permanent 18

I.3.1.Moulage par gravité 18

I.3.1.1.Caractéristiques du procédé :…… ……..……20

I.3.1.2.Avantages et inconvénients du moulage par gravité……..…….. 21

I.3.2.Moulage a base pression 21

I.3.3.Moulage sous pression 22

I.3.3.1.Caractéristiques du moulage sous pression :…… 24

I.3.3.2.Avantages et inconvénient du moulage sous pression……..... 25

I.4.Origines des règles de tracé 25

I.5.Les matériaux utilisés 26

I.5.1.Les matériaux mis en forme par moulage en coquille : 26

I.5.2.Les matériaux constituant le moule : 28

I.6.poteyage 29

I.7.Technologie de la coquille : 30

I.7.1.Le système de remplissage : 30

I.7.2.Le système d'alimentation : 30

I.7.3.Les évents : 30

I.7.4.Les portées : 30

I.7.5.Mise en position des chapes : 31

I.8.Les Règles de conception 32

I.8.1.Règles de conception d’une pièce moulée pour assurer sa géométrie finale : 32

I.8.1.1.Le remplissage :……32

SOMMIARE

I.8.1.2.Dilatation thermique :……..…….... 33

I.8.1.3Déformations :…….…….... 33

I.8.2.Règles de conception d'une pièce moulée pour assurer son démoulage 33

I.8.3.Règles de conception d'une pièce moulée pour faciliter le remplissage et améliorer sa santé 34

I.8.4.Règles de conception d'une pièce moulée pour réduire les coûts et faciliter la mise en œuvre 34

I.8.5.Règles de conception de l'outillage pour le placement des empreintes 35

I.8.6.Règles de conception de l'outillage pour le placement du système d'alimentation..... 35

I.8.6.1.Déterminer l'ordre de solidification……..35

I.8.6.2.Dimensionner les masselottes……37

I.8.6.2.Dans le cas de l'exemple de la potence :……..37

I.8.7.Règles de conception de l'outillage pour le placement du système de remplissage 37

I.8.7.1.Stratégies de remplissage……..…… 37

I.8.7.2.Dimensionnement des canaux…… ... 38

I.8.7.3.Eléments complémentaires…… 39

Conclusion..... 41

Chapitre II La conception d'une mini machine d'injection d'aluminium

II..Introduction 42

II.1. Principes fondamentaux de l'industrie de la machine..... 42

II.1.1Cycle de processus..... 43

II.1.2.Serrage 44

II.1.3.Injection 44

II.1.4.Refroidissement 45

II.1.5. Éjection..... 46

II.1.6.Garniture..... 46

II.2.Partie Mécanique 48

II.2.2.Fourreau 49
II.2.3.Piston..... 49
II.2.3.1.Tige de piston…….. . 49
II.2.3.2.Caractéristique de piston…… .. 50
II.2.4.Le moule 50
II.2.5.Conception proposée :..... 51
II.3.Partie électrique 52
II.3.1.Introduction..... 52
II.3.2.Vérin électrique..... 52
II.3.2.1.Caractéristiques…… ….53
II.3.2.2.Description…… …...53
II.3.2.3.Caractéristiques technique.....……..54
II.3.2.les capteurs fins de course..... 56

Chapitre III Étude et conception mécanique d'un modèle de moule

III.Introduction 57
III.1.SolidWorks :..... 58
III.1.1.Fonctionnalités Windows : 58
III.1.2.Fenêtres de documents solidworks 58
III.1.3.Processus de conception 58
III.1.4.Méthode de conception..... 59
III.1.4.1.Esquisses…… . 59
III.1.4.2.Assemblages……... 59
III.1.5.Travail effectué par programme solidwork 59
III.2.Le moule..... 60
III.3.Mâtereaux utilisé 61
III.3.1.Acier..... 61
III.3.2.De nombreux types d'acier 61

III.4.Réglage de la plaque 62
III.5.La Machine-outil à commande numérique 63
III.5.1.Défauts 64
III.5.2.Programmation de commande numérique 64

Chapitre IV la coulé de la pièce

IV.1.Généralités 66
IV.1.1.Historique de l'aluminium 67
IV.1.2.Propriétés de l'aluminium 68
IV.2.Température de coulée 68
IV.4.La coulabilité 68
IV.3.Température inutile du moule 68
IV.4.1.Essai de coulabilité 68
IV.5.L'aboration aluminium 69
IV.5.1.Affinage et modification des alliages d'aluminium 70
IV.5.1.1.Contexte…….. 70
IV.5.1.2.Principe de ces traitements…….. …...70
IV.5.1.3.Principe de l'Affinage…….71
IV.5.1.4.Principe de la Modification……..... 71
IV.5.2.Écrouissage 71
IV.6.Défauts de fonderie 72
IV.6.1.Retassures 72
IV.6.1.1.Retassure majeures…… 72
IV.6.1.2.Micro retassure…….. . 73
IV.6.2.Criques 73
IV.6.3.Tensions internes 73
IV.6.4.Piqures et soufflures 74
IV.6.5.Mal venues 74

IV.6.6.Porosité 75

IV.6.6.1.Type de porosité ……..... 75

IV.7 Testez la pièce de coulée. ……..... 76

IV.7.1Coulée par gravite …….. 76

IV.7.2 Coulée par injection sous pression… …….. 77

conclusion générale…….. …….. 79

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 Matériaux de la coquille en fonction du matériau coulé[4] 28

Tableau II.1 **:** caractéristique technique de vérin [11]..... …….. …. 28

Figure I.1 Exemple de coquille [1].....15

Figure I.2 Le principe du procédé[1] 16

Figure I. 3 Pièce en alliage d'aluminium (Al Si9 Cu3 Mg) moulée en coquille[2] 17

Figure I. 4 Moulage par gravité en coquille (a) coulée, (b) pièce, images SECODIR sarl[2] 18

Figure I.5 moule par gravite [2] 19

Figure I.6 Moule a base pression [3] 22

Figure I .7 Moule sous pression [3] 24

Figure I. 8 Relations Produit-Procédé-Matériau [3] 26

Figure I.9 (a) coulée de l'alliage d'aluminium en fusion, (b) sortie de la pièce (photo en insert : la pièce dans la coquille ouverte), images Fonderie Aluminium Sesam[2] 27

Figure I.10 représente Mise en position des chapes [3] 32

Figure I.11 Exemple traitée la potence [6] 36

Figure I.12 illustrations de coulées en chute [7] 38

Figure I.13 Lors de multiples attaques d'une pièce il faut penser à réduire progressivement la section des canaux [8]. 38

Figure I.14 Bassin de décantation placé au niveau du trou vde coulée [8] 39

Figure I.15 Bassin de décantation placé en bas du canal de descente [8] 40

Figure I.116 La coulée en source à tous les points bas [8] 40

Figure. II.1 Présentation de la machine à chambre froide coulée sous pression [8] 43

Figure II.2 Serrage de moule [4] 44

Figure II.3 méthode injection le métal [4] 45

Figure II.4 schéma 'un éjecteur [9] 46

Figure II.5 Pièce moulée sous pression [9] 47

Figure II.6 représenté la machine innovante notation 48

Figure II.7 schéma du fourreau 49

Figure II.8 schéma du piston 50

Figure II.9 le moule d'une meedaille 51

Figure II.10 Conception proposée de la mini-machine 52

Figure II.11 vérin électrique utile [11] 53

Figure II.12 structure d'un vérin électrique [11] 55

Figure II.13 dimension de vérin électrique [11] 55

Figure II.14 capteur de fin de course [11] 56

Figure III.1 la médaille conçu par solidworks 57

Figure III.2 conception du moule de la médaille (a) empreinte1(b) empreinte2 60

Figure III.3 le moule et la médaille 61

Figure III.4 découpage de la plaque 63

Figure III.5 La machine commande numérique en utilise 64

Figure III.6 le deux partie du moule réalisé 65

Figure IV.1: Bloc d'aluminium 66

Figure IV.*2*: Diagramme binaire al si 68

Figure IV.3: Image de la microscopie d'aluminium 70

Figure IV.4 : les deux types de retassure 73

Figure IV.5 : Impact des retassures sur les propriétés mécaniques 73

Figure IV.6 : la réalisation de pièce par gravité……76

Figure IV.7:(a) et (b) Schéma la pièce coulée par injection ……..77

Figure IV.8: schéma la pièce fine…….78

INTRODUCTION GENERALE

Depuis plusieurs siècle passés en virons (2500 ans) l'homme avait besoin aux plusieurs outils pour viore et développer sa vie. Pour cela, il était obligé d'inventer des nouvelles méthodes pour produire ces outils avec ses différents types et matière

Son basion aux outils qui ont des formes et mesures différentes l'a poussé à la production des techniques comme la technique de moulage et plusieurs types parmi d'elles : moulage en sable et moulage en coquille.

Cette technique se caractérise des autres techniques par les caractéristiques de son moule métallique pour cela elle est spéciale pour les métaux qui ont une dégrée baisse de fusion comme (pb,Al) et le moulage en coquille qui a différentes méthode : moulage sous pression ; moulage base pression ; moulage par gravité .

Moulage sous pression est une nouvelle méthode développée qui permet d'injection un métal avec des grandes faces et vitesses dans le moule et cela nous aide à obtenir un morceau métallique qu'a des dimensions réciproques et exactes et une surface réciproque et il permet continuité et la vitesse de la production et cela les nécessite de l'industrie dans notre époque

Dans ce mémoire, nous aborderons le moulage général et le moulage de l'injection particulière et nous travaillerons sur

- Voir tout à propos de Concept moulage en coquille.
- Présentation du Principe de l'injection aluminium la conception mécanique des pièces.
- moulées Description générale des machines d'injection aluminium.
- Etude et conception des différentes pièces d'une mini-machine d'injection aluminium.
- La réalisation de la mini-machine.
- Réalisation d'un modèle de médaille par ce procédé.
- Enfuir une conception générale.

Chapitre I

moulage

I. Introduction [1]

Procédé très ancien, le moulage en coquille consiste à obtenir une pièce à partir d'un moule métallique, appelé coquille, constitué d'éléments assemblés dans lesquels une cavité ayant la forme extérieure de la pièce a été réalisée Dans cette cavité dénommée empreinte, l'alliage liquide est versé par l'intermédiaire d'un orifice de remplissage. Le remplissage de la coquille se fait sous la seule action du poids de l'alliage soit par coulée directe, de haut en bas, dite en chute ou par gravité, soit, suivant le principe des vases communicants, de bas en haut, di dite en source.

Cette ressource présente le procédé de moulage en coquille (principalement en coulée par gravité), les matériaux concernés par ce mode d'obtention ainsi que les technologies de réalisation des coquilles. Les règles de conception et les bonnes pratiques de ce procédé d'obtention sont présentées dans la ressource « Le moulage en coquille par gravité : règles de base»

Pour la fonderie avec moule permanent, celui-ci est réalisé en métal (acier ou fonte). On appelle souvent ce moule « coquille » [1].

Contrairement au moulage sable, il n'y a pas de décochage de la pièce, mais un démoulage. C'est donc toujours le même moule qui est utilisé pour réaliser toutes les pièces d'une série. Le moule est en :

- acier (5 % de chrome) ou en fonte en moulage coquille gravité (ou basse pression)
- acier (5 % de chrome) de type X38 CrMoV5 (désignation normalisée) en moulage sous pression. L'acier, après usinage, subit un traitement thermique constitué d'une trempe et de deux (ou trois) revenus. La dureté finale visée est de 45 à 55 HRC environ .Le moule est constitué : [1].
- de la carcasse (en acier moins noble) qui a pour rôle de maintenir les empreintes et d'assurer le bridage sur le plateau de la machine à mouler.
- des empreintes en contact avec le métal liquide. Ces empreintes sont traités thermiquement et peuvent faire l'objet de traitements de surface (carbonitruration et traitement de surface type PVD TiAlN pour les broches et noyaux).
- d'un système d'éjection (pour sortir des pièces) constitué d'éjecteurs et d'une batterie d'éjection (plaque, contreplaque...) [1].

Les moules en fonderie sous pression peuvent être très complexes, coûter entre 30 000 € et 500 000 €, et représenter entre 10 et 15 % du prix final des pièces brutes réalisées (hors usinage).
Les empreintes ont une durée de vie de :

- 150 000 injections (pour les alliages d'aluminium)
- 500 000 à 1 million d'injections pour les alliages de zinc (*zamak*)
- 20 000 à 40 000 injections pour les alliages de cuivre (laiton 60/40)

Les empreintes « meurent » par fissurations progressives résultant des chocs thermiques (chauffage brutal lors de l'injection de l'alliage et refroidissement causé par le poteyage). [1]



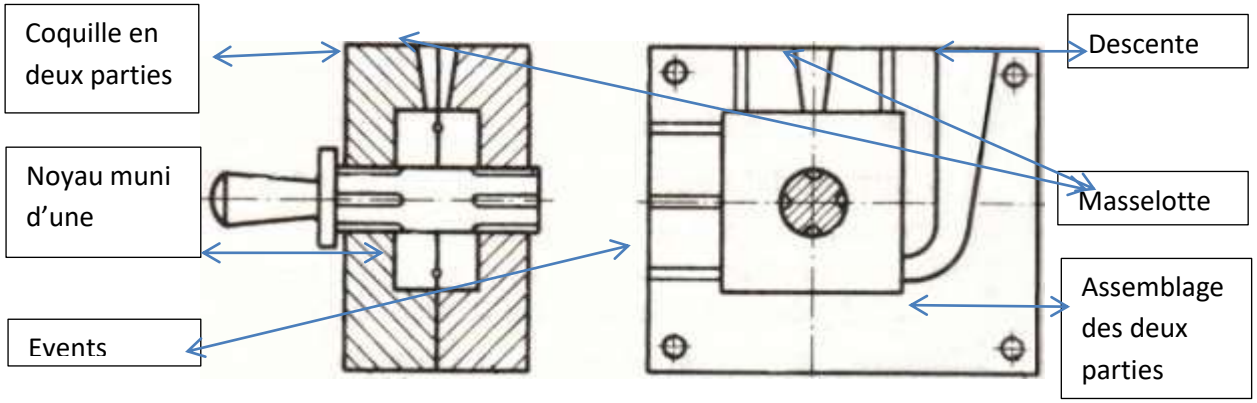
FigureI.1: Exemple de coquille [1]

I .1.Objectif de moulage

La technique du moulage vise le plus souvent la fabrication d'objets en série plus ou moins importante. Dans la coulée sous-pression, l'objet une fois solidifié peut être libéré (démoulage) sans détérioration du moule, et dans le moulage sable, on fabrique autant de moules que de pièces (cas de la fonderie au sable) [1].

I.2.Le principe du procédé

La forme de la pièce à obtenir est donnée par l'empreinte constituée par la surface interne du moule. Les formes intérieures de la pièce sont obtenues à l'aide de noyaux en sable, ou encore de noyaux ou broches métalliques



FigureI.2 : Le principe du procédé [1]

Le plus souvent, cette cavité comporte également le, ou les canaux d'alimentation, appelés « descentes » et, le ou les canaux d'évacuation de l'air, appelés « évents ». Le métal qui se solidifie dans ces canaux est séparé ultérieurement de la pièce proprement dite au cours de l'ébarbage.

Au cours de la solidification, le métal subit généralement une contraction dite contraction de solidification. La réduction de volume correspondante doit être compensée par un apport de métal : cet apport est réalisé par des « masselottes » qui constituent des réserves de métal liquide au-dessus des parties à nourrir. La position de ces réserves liquides, en charge au-dessus des pièces, leur donne la possibilité de vaincre certaines résistances à l'écoulement en fin d'opération (figures 3 et 4). Cette action est toutefois de faible intensité et beaucoup plus restreinte qu'on ne le croit parfois. La charge est à déterminer pour chaque pièce et en fonction du métal coulé [2].



Figure I.3: Pièce en alliage d'aluminium (Al Si9 Cu3 Mg) moulée en coquille [2]

Après solidification de l'alliage, la pièce est extraite de la coquille aussi celle-ci doit être composée de parties démontables et séparables de la pièce coulée. Chaque partie de la coquille en contact avec la pièce, doit être munie d'un angle de dépouille afin d'assurer le démoulage. L'étanchéité du moule est réalisée par la juxtaposition d'éléments à surface de joint rectifiée, maintenus appliqués les uns contre les autres par des systèmes de fermeture efficaces [2].

Le moulage d'une pièce métallique est donc réalisée par les chapes du moule, autrement dit les blocs constituants l'empreinte, et par là les formes extérieures de la pièce. Les chapes sont mobiles et nécessitent un positionnement relatif. Les formes intérieures de la pièce moulée sont réalisées par des noyaux généralement métalliques, ils sont mobiles ; il faut prévoir leur guidage et centrage et s'assurer qu'ils restent en place durant la coulée. Pendant la coulée du métal en fusion, il est nécessaire de maintenir les chapes en position pour éviter leur déplacement sous l'action de la poussée du métal.

La coulée en coquille par gravité offre des possibilités importantes, en particularité la réalisation des pièces aux formes complexes. Cependant dans la pratique cette technique est limitée par les tracés des pièces : épaisseurs très faibles ou très fortes, formes très complexes… Les principales règles de tracé sont présentées dans la ressource « Le moulage en coquille par gravité : règles de base » [2].



(a) (b)

FigureI.4: Moulage par gravité en coquille (a) coulée, (b) pièce, images SECODIR Sarl [2]

I.3.Différents types de fonderie avec moule permanent :

On distingue plusieurs procédés en fonction de la pression à laquelle on coule le métal. Pour les alliages d'aluminium, par exemple, la norme EN 1706 distingue trois types de Fonderies utilisant des moules permanents :

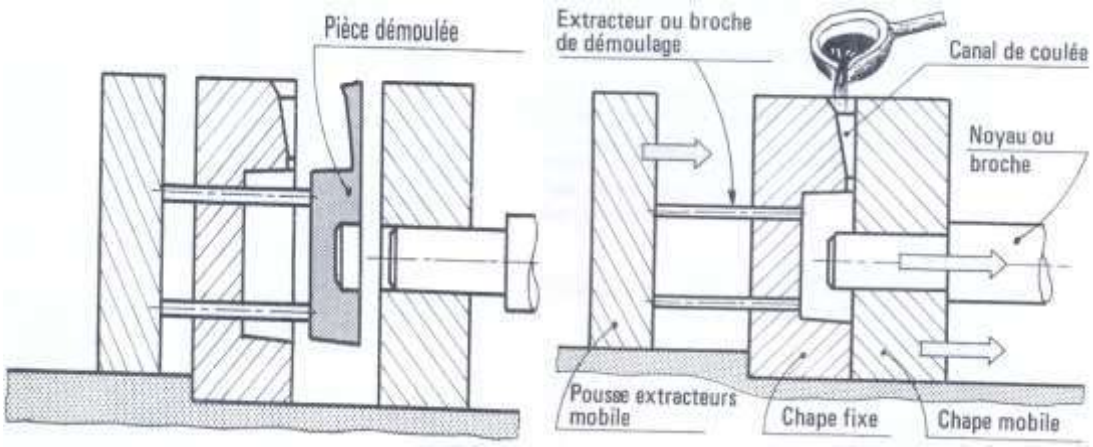
- ❖ le moulage en coquille par gravité ;
- ❖ le moulage base pression en coquille
- ❖ le moulage sous-pression. [2]

I.3.1.Moulage par gravité

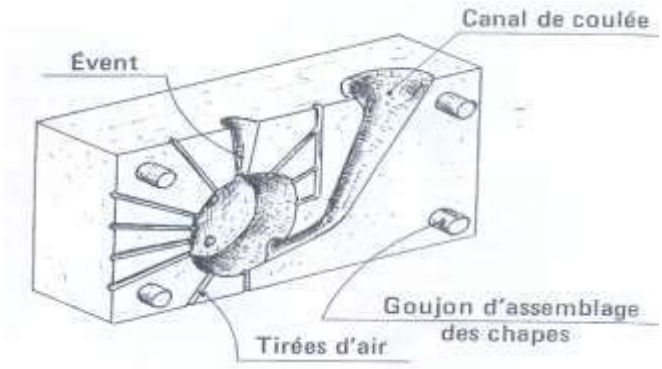
Dans le cas du moulage en coquille par gravité, le métal (Al Si7Mg, Al Si12, Al Si7Cu3, Al Mg10…) est coulé à la pression atmosphérique (comme pour le moulage sable) dans un moule métallique, On distingue :

- ❖ le moulage coquille conventionnel (statique) ;
- ❖ le moulage en coquille basculant (dans lequel la machine et le moule pivotent, garantissant ainsi un remplissage plus calme et une santé pièce améliorée), le procédé de coulée basculante a été inventé par Durville en 1910 ;
- ❖ le procédé Cobapress (St Jean Industries) qui combine deux phases, la première de moulage d'une ébauche et une deuxième de forge, permettant de donner un fibrage à l'alliage (Al Si7Mg) et d'améliorer les caractéristiques mécaniques (en fatigue en particulier).[2]

Type de moulage utilisé dans l'industrie automobile pour la fabrication principalement des pistons et des culasses.



Moule ouvert Moule fermé



Perspective de la chape fixe

FigureI.5 : moule par gravite [2]

Le moulage en coquille par gravité offre plusieurs avantages, comme une production rapide et constante dans le temps, la possibilité de grandes séries à de grandes cadences, et une mise en forme de pièces aux formes complexes, au plus près de la pièce finie. En respectant des règles de tracé, le procédé de moulage en coquille permet une précision et une constance dans les dimensions des pièces, la simplification et la réduction de l'usinage, la réalisation de pièces aux formes internes complexes.

Cette ressource présente les règles essentielles lors de la conception d'une pièce moulée par coquille, du tracé de la pièce à la conception du moule, et les bonnes pratiques de ce procédé d'obtention. Le moulage en coquille, les matériaux concernés par ce mode d'obtention ainsi que les technologies de réalisation des coquilles sont présentés dans la ressource « Le moulage en coquille : procédé d'obtention de pièces métalliques ».

Note

- Afin d'éviter tout choc thermique des 2 parties du moule, ce dernier est chauffé à environ350°C.
- Afin d'éviter l'attaque du moule par le métal en fusion, les surfaces en contact avec l'alliage
  - Coulé sont enduites d'un produit appelé "poteyage": la nature de ce dernier permet d'agir sur
  - L'intensité des échanges thermiques entre la pièce et le moule et par suite il permet d'élever
  - La Ténacité des surfaces intérieures qui entrent en contact avec la matière. Ce produit est porté sur
  - Les surfaces du moule par pulvérisation ou par pinceau.
  - Ainsi les opérations à effectuer pour chaque coulée sont:
- Chauffage du moule,
  - Poteyage du moule (un produit de poteyage peut être composé d'un mélange de plomb, d'eau
  - Et de silicate de soude) Fermeture du moule et mise en place de la broche,
  - Coulée du métal,
  - Extraction de la broche et ouverture du moule après solidification du métal
  - Démoulage de la pièce. [2]

I.3.1.1.Caractéristiques du procédé :

- Aspect : Bon état de surface.
- Tolérances : ± 0,25 (sur dimensions inférieures à 25mm).
- Diamètres minima des trous venant par broches : 4mm.
- Séries minimales de 103 pièces pour amortissement outillage (possibilités 40*103 moulages).
- Cadences : Fonction des épaisseurs et dimensions pièces, du processus :
  - Coquilles manuelles ou mécanisées pour séries moyennes.
  - Coquilles automatisées pour grande séries [2]

I.3.1.2. Avantages et inconvénients du moulage par gravité

- ❖ Ce type de moulage convient pour une production élevée et pour des petites pièces qui ont

Des épaisseurs uniformes et des trous simples

- ❖ Avec ce procédé, on ne peut pas concevoir des trous de diamètre inférieurs à 6mm.
- ❖ Avec ce procédé, on ne peut pas mouler des filets extérieurs ou intérieurs ainsi que de rainures.
- ❖ -Par rapport au moulage en sable, ce procédé favorise l'obtention des pièces plus uniformes et des tolérances serrées, un état de surface meilleur et des coûts de fabrication moindres.
- ❖ Une coquille supporte de 5 000 coulées pour les métaux lourds jusqu'à 20 000 pour les Métaux légers.
- ❖ prix de revient des coquilles chers.
- ❖ La fabrication des pièces à prix concurrentiels, par ce procédé de moulage, se limite aux Métaux non ferreux.

Les dimensions des pièces moulées sont limitées [2].

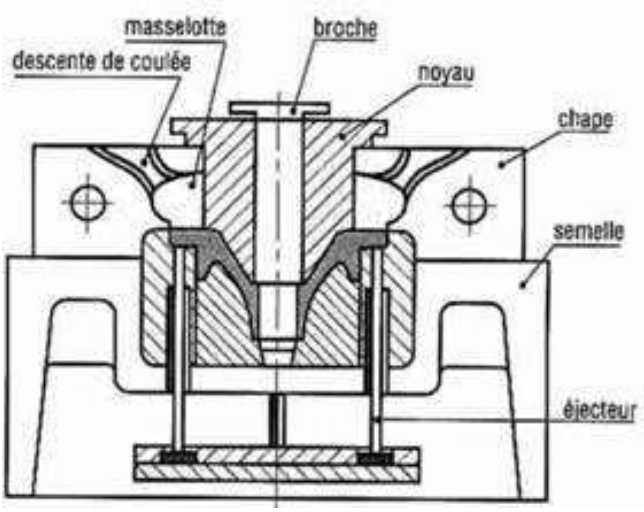
I.3.2.Moulage a base pression

La méthode de la coulée consiste à l'injection sous basse pression d'un alliage liquide dans un moule métallique ou semi-métallique monté sur une machine spéciale qui permet la mise en mouvement des éléments mobiles. Un four étanche de maintien alimente le moule en alliage liquide. Pour cela on soumet la surface du bain à une pression d'air de 0,1 à 0,2 bar qui pousse l'alliage de bas en haut. Une fois le remplissage est terminé on applique une surpression de masselottage de 0,4 à 0,5 bar. Lorsqu'on supprime la pression, l'alliage liquide restant retombe dans le four et l'éjection de la pièce peut se faire.

Il faut signaler que par rapport à la coulée en coquilles et sous pression le procédé de coulée sous basse pression présente les caractéristiques essentielles suivantes:

- ❖ cadence de coulée plus élevée qu'en coquille ;
- ❖ temps de remplissage du moule compris entre 3 et 8 secondes ;
- ❖ précision dimensionnelle des pièces se rapproche de celle de la coulée base pression vu que les conditions de remplissage et d'alimentation sont semblables à la coulée base pression ;
- ❖ caractéristiques mécaniques des pièces coulées améliorées de 10 % environ.

Globalement, le processus peut être répété et peut être automatisé. L'ébavurage peut-être incorporé à la pièce avec l'utilisation de noyaux de sable. Les cadences de production sont bonnes, mais pas aussi bonnes que la haute pression. L'épaisseur minimale de la paroi sont d'environ 2 à 3 mm La coulée sous basse pression offre des rendements élevés . En termes de finition et d'épaisseur, la coulée sous basse pression est largement supérieure par rapport à la coulée par gravité mais reste en deçà de ce que peut apporter la coulée sous haute pression [3].



FigureI.6: Moule a base pression [3]

I.3.3.Moulage sous pression

Dans le cas du moulage sous pression, la pression d'injection du métal liquide (Al Si9Cu3Fe) peut aller jusqu'à 700 bar et la vitesse d'injection dans le moule jusqu'à 50 m/s. À noter que la Du prix des pièces.

Un cycle traditionnel en fonderie sous pression aluminium se décompose ainsi :

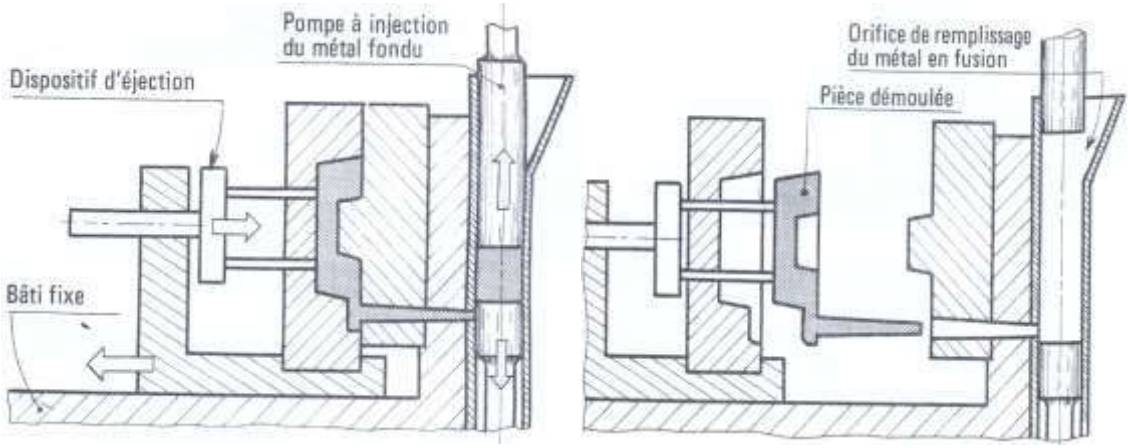
- ❖ dosage du métal dans une louche automatique (four de maintien à proximité de la machine) ;
- ❖ versement du métal dans le conteneur ;
- ❖ phase lente d'injection ;
- ❖ phase rapide d'injection ;
- ❖ phase de compactage de l'alliage ;
- ❖ solidification de la grappe ;
- ❖ ouverture du moule (partie mobile) ;

- ❖ recul des tiroirs (si présents) ;
- ❖ éjection de la grappe (avance de la batterie d'éjection) ;
- ❖ prise de la grappe en automatique (bras robot) et évacuation vers un bac d'eau (refroidissement) et un outil de découpe (presse à découper dans la cellule) ;
- ❖ descente d'un bras de poteyage et poteyage (eau et agent démoulant) ;
- ❖ phase de soufflage (pour éliminer l'eau résiduelle en surface) et sortie du bras de poteyage ;
- ❖ fermeture des tiroirs et du moule partie mobile [3].

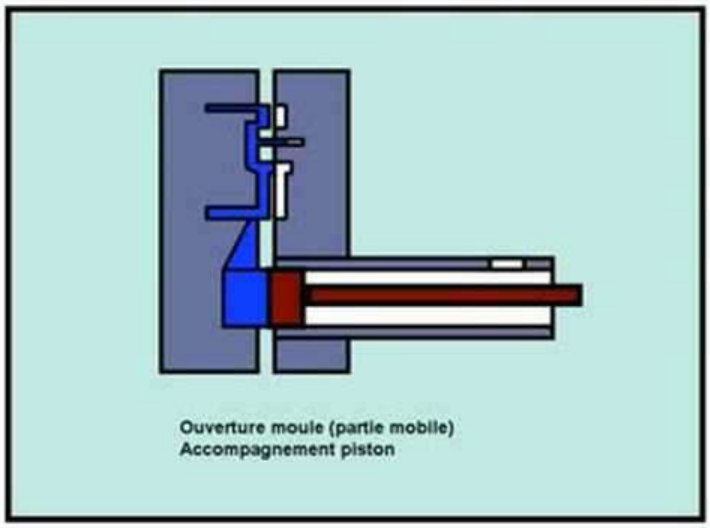
Lors de la conception du moule par le fondeur, des outils métiers (Salsa 3D) peuvent être utilisés pour positionner et dimensionner le système d'alimentation (canaux, attaque tangentielle et éventail) et obtenir la bonne venue de la pièce et le respect des contraintes client (dimensionnel, santé interne et externe, tenue mécanique, étanchéité…). Les tirages d'air (évents), talons de lavage et système de refroidissement (canaux d'eau) et éventuellement de thermorégulation doivent être également tracés. Une phase de simulation numérique est souvent utilisée pour optimiser la conception du moule et réduire la mise au point (et les délais) ultérieures. Des logiciels de simulation spécialisés dans la fonderie (Pam Cast, Procast, Magma…) sont couramment utilisés de nos jours [3].

La durée du cycle varie de 40 secondes (machine de 400 tonnes) à deux minutes environ (machines 2 000 t) pour les alliages d'aluminium et de 10 s à 50 s pour les alliages de zinc (pièces plus petites). De très nombreuses pièces de taille réduite ou moyenne sont réalisées en moule multi-empreintes (2, 4 ou 8 pièces), ce qui permet de réduire les coûts de fabrication.

En fonderie sous pression, la santé interne des pièces est contrôlée en visuel à 100 % et par radioscopie par échantillonnage. Les lots douteux sont rebutés ou contrôlés à 100 % avant livraison. [3]



Moule fermé Moule ouvert



FigureI.7 : Moule sous pression [3]

I.3.3.1. Caractéristiques du moulage sous pression :

- ❖ Alliages coulés sensiblement les mêmes qu'en moulage Coquille.
- ❖ Tolérances : ± 0,05 mm sur dimensions I 25 mm.
- ❖ Aspect des pièces excellent.
- ❖ Réduction ou suppression totale de l'usinage.
- ❖ Poids des pièces coulées : 20 Kg. [3]

I.3.3.2.Avantages et inconvénient du moulage sous pression

- Ce procédé peut se faire sans dépouille.
- Ce procédé permet de couler des filets extérieurs ou intérieurs ainsi que des roues dentées, des cornières, des pièces d'horlogerie, des jouets, d'appareils électroménagers, etc.
- Ce procédé favorise la production d'un grand nombre de pièces moulées avec précision (tolérances serrées)
- Il permet le moulage des pièces minces
- Il permet de reproduire des détails fins

La fabrication des pièces à prix concurrentiels, par ce procédé de moulage, se limite aux métaux non ferreux.

Les dimensions des pièces moulées sont limitées

Le moulage en coquille consiste à obtenir une pièce à partir d'un moule métallique constitué de plusieurs parties, dans lequel est coulé un alliage en fusion.

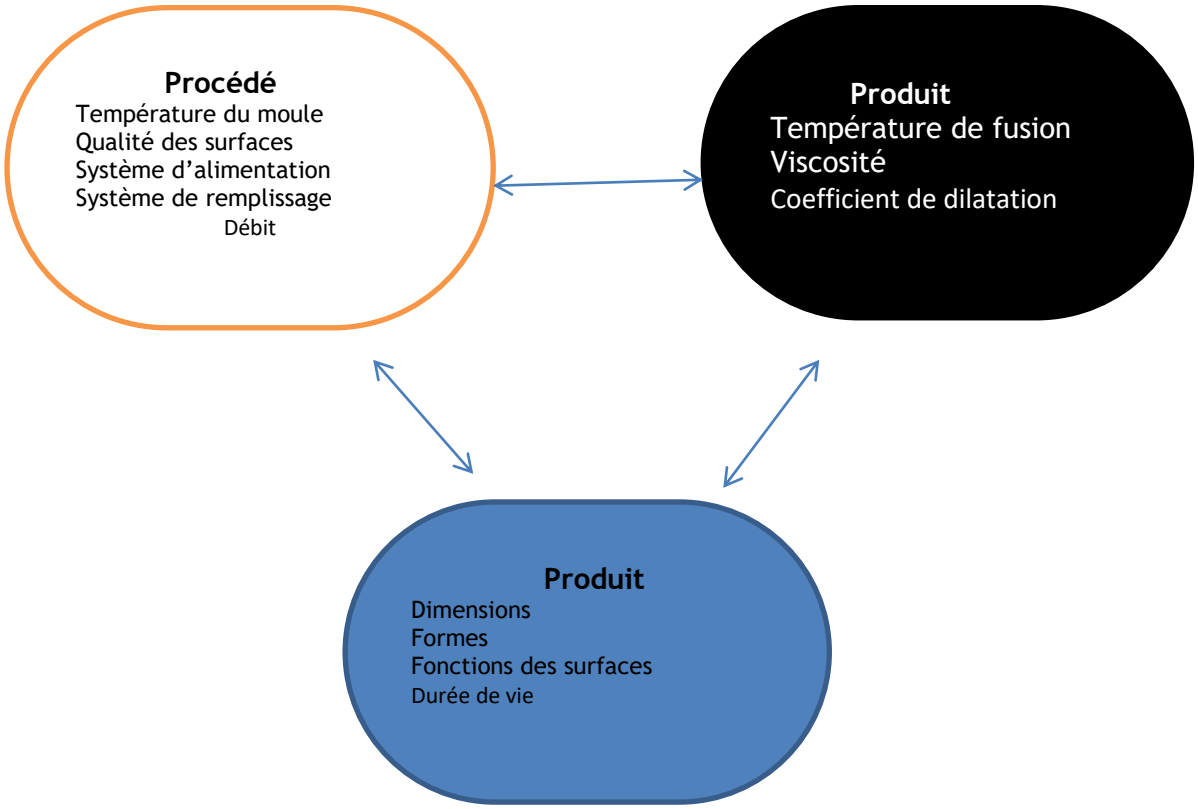
Les formes intérieures de la coquille déterminent les formes extérieures de la pièce, éventuellement complétées de noyaux et broches. Le remplissage de la coquille se fait sous la seule action du poids de l'alliage soit par gravité ou coulée directe, soit en source, de bas en haut suivant le principe des vases communicants. [3]

I.4.Origines des règles de tracé

L'ensemble des règles qui sont exposées ont toujours un objectif triple :

- Permettre le remplissage complet de l'empreint
- Garantir la qualité géométrique de la pièce après démoulage
- Garantir la santé du matériau et l'absence de défauts.

Les règles sont le fruit d'une liaison très forte (figure 7) entre le produit, le procédé et le matériau en sachant que : [3]



FigureI.8 : Relations Produit-Procédé-Matériau [3]

La première partie de cette ressource s'intéresse à la forme de la pièce moulée, et à son optimisation dans le but de faciliter et réduire le coût de la réalisation. Ces règles seront organisées en fonction des enjeux à respecter, et par ordre d'importance. [3]

I.5.Les matériaux utilisés

I.5.1.Les matériaux mis en forme par moulage en coquille :

L'aluminium et ses alliages sont les matériaux les plus employés par le moulage en coquille. Voici quelques exemples :

Les alliages présentant une bonne aptitude au moulage obtenu par l'apport de silicium : Al Si 13 - Al Si 10 Mg - Al Si 5 Cu

Les alliages traités thermiquement à hautes caractéristiques mécaniques obtenues par l'apport de magnésium : Al Cu 5 Mg T1 - Al Si 7 Mg - Al Si 10 Mg Le zinc et ses alliages sont fréquemment moulés par ce procédé, à savoir :

- ❖ Zamak - Zn Al4 Mg (principalement en fonderie sous pression)
- ❖ Zn Al12
- ❖ Zn Al Cu

Mais également le cuivre et ses alliages :

- ❖ Laiton - Cu Zn39 Pb2
- ❖ Bronze - Cu Sn7
- ❖ Cupro-aluminiums
- ❖ Cupro-nickels7
- ❖ Le zinc et ses alliages sont fréquemment moulés par ce procédé, à savoir :
- ❖ Zamak - Zn Al4 Mg (principalement en fonderie sous pression)
- ❖ Zn Al12
- ❖ Zn Al Cu



c

(a) (b)

FigureI. 9 : (a) coulée de l'alliage d'aluminium en fusion, (b) sortie de la pièce (photo en insert : la pièce dans la coquille ouverte), images Fonderie Aluminium Sesam [2]

I.5.2.Les matériaux constituant le moule :

Les diverses pièces constituant les coquilles de fonderie sont soumises à des sollicitations qui varient considérablement selon leur fonction et l'alliage coulé. Il convient en général de prévoir la réalisation de chacun dans le matériau le mieux adapté et ayant subi le traitement thermique susceptible de lui assurer une tenue en service aussi longue que possible (figure 9)

Tableau I.1 : Matériaux de la coquille en fonction du matériau coulé [4]

Matériau coulé	Matériaux	État	Remarques
Alliages d'aluminium	Fonte grise parlitique Aciers faiblement alliés	Recuit Trempé et revenu	Coquille Noyaux sollicités
Laiton	Fonte grise parlitique Aciers faiblement alliés	Recuit Trempé et revenu	Coquille Noyaux sollicités
Cuivreux	Aciers faiblement alliés	trempé et revenu	

Cependant dans le cas de petites séries non renouvelables, il peut être judicieux de minimiser le prix de revient de la coquille en employant pour sa construction les matériaux les mieux adaptés mais également les moins onéreux, tant par leur prix d'achat brut que par la plus grande difficulté que peut présenter leur usinage.

D'autres impératifs peuvent également influencer le choix du matériau de la coquille, on citera :

- ❖ Précision dimensionnelle attendue,
- ❖ Le système de fermeture (automatique ou manuel),
- ❖ Les moyens d'usinage possibles pour la réalisation du moule.

Les coquilles utilisées pour les moyennes séries sont souvent réalisées en fonte grise politique. Ce matériau s'usine facilement et a une bonne tenue à la température [4].

I.6.poteyage

Afin de satisfaire aux différents attendus par le poteyage , celui-ci doit posséder plusieurs qualités :

- ❖ Etre un isolant thermique plus ou moins puissant suivant l'endroit où il est appliqué.

- ❖ Une granulométrie permettant d'obtenir un état de surface satisfaisant.
- ❖ Posséder un bon pouvoir d'accrochage à la surface de la coquille afin de tenir lors de la coulée du métal.
- ❖ Etre économique et d'un emploi facile.
- ❖ Posséder un bon pouvoir de lubrification mais non oxydant.

Toutes les qualités citées ne se retrouvant pas dans un seul type de produit, il existe différents types de poteyage dont l'emploi judicieux permettra d'obtenir le résultat attendu. Les poteyages peuvent être classés en deux groupes principaux :

- ❖ Les poteyages isolants,
- ❖ Les poteyages conducteurs.

Les poteyages isolants, généralement de couleur blanche, possèdent un pouvoir isolant élevé, ils sont employés dans les zones où le métal doit se solidifier en dernier (trou de coulée, masselottes) et dans les parties de l'empreinte où le métal a tendance à figer trop rapidement ainsi que pour la protection générale de l'empreinte. On les utilise également pour l'isolement des outillages : louches de coulée, écumoires ... Ils sont à base de blanc de Meudon, de kaolin, de silicate de soude, d'eau et parfois d'éthanol. En jouant sur la quantité d'eau, on ajuste la fluidité du poteyage.

Les poteyages dits conducteurs sont moins isolants que les précédents. Ils sont employés dans les zones de l'empreinte correspondant aux parties massives de la pièce dont ils facilitent également l'extraction grâce à un bon pouvoir lubrifiant. Ainsi, ils sont employés fréquemment pour le poteyage des broches [4]

I.7.Technologie de la coquille :

Afin d'assurer la conformation de la pièce, la coquille doit contenir en plus de l'empreinte, un certain nombre d'éléments importants

I.7.1.Le système de remplissage :

Au minimum composé d'un trou de coulée, d'un bassin de coulée et de canaux, son rôle est d'acheminer le métal liquide du trou de coulée à l'empreinte. Il est préférable d'assurer via ce système une veine fluide non perturbée et une alimentation homogène de l'empreinte. Enfin il est possible d'ajouter dans le bassin de coulée ou les canaux, des filtres céramiques et des bassins de décantation pour retenir les impuretés. [5]

I.7.2. Le système d'alimentation :

Communément appelé masselotte, son objectif est d'assurer l'alimentation de la pièce en métal fondu après l'arrêt de la coulée, lors de sa solidification. En effet la diminution du volume du métal en se solidifiant pourrait générer des pièces incomplètes (retassures) si le système d'alimentation n'est pas efficace. Il consiste donc en des réserves de métal fondu, généralement disposées au-dessus de la pièce. Lors du moulage en coquille par gravité, le système de remplissage peut faire office (au moins pour une partie) de système d'alimentation. [5]

I.7.3. Les évents :

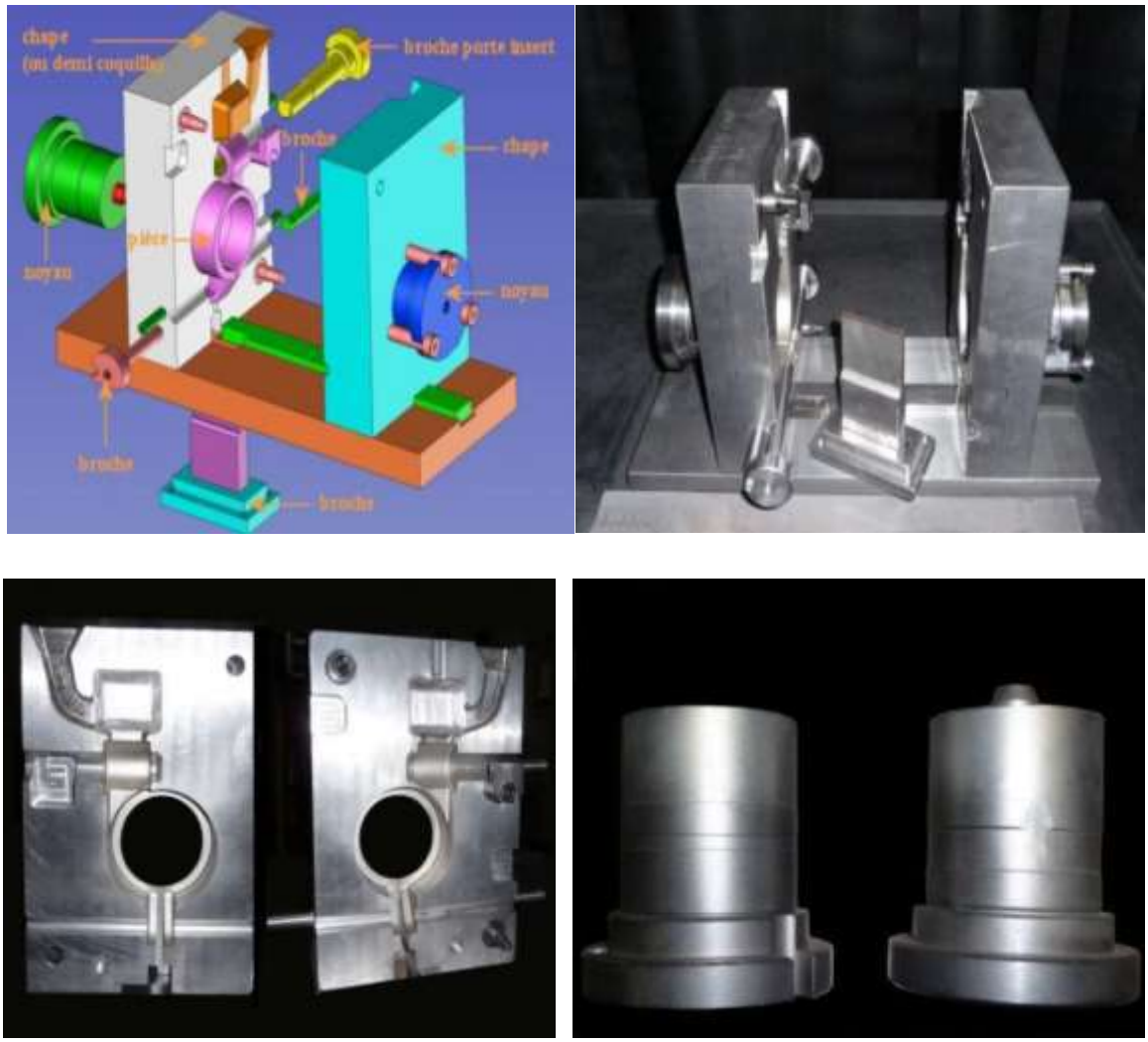
Ces trous généralement fins dans la coquille permettent l'échappement de l'air lors du remplissage et évitent ainsi les incomplets et les bulles d'air diminuant les propriétés mécaniques de la pièce coulée. [5]

I.7.4. Les portées :

Lors de l'utilisation de noyaux en sable ou de broches métalliques afin de réaliser les formes intérieures de la pièce, il est important d'ajouter des portées. Ces liaisons noyau-coquille, broche-coquille ou broche-broche, assurent la mise en position des éléments dans la coquille et la résistance de cette mise en position aux efforts de la coulée (chute du liquide et pression hydrostatique) [5]

I.7.5.Mise en position des chapes :

La coquille et les empreintes n'étant jamais monobloc il est nécessaire d'ajouter entre chaque liaison une mise en position précise (goupille de centrage ...) et un maintien en position efficace (crampe de fermeture, goupille d'arrêt...). Sans ces éléments, ou avec des éléments mal dimensionnés, des écarts géométriques importants peuvent apparaître, voire une fuite de métal si le plan de joint n'est pas correctement maintenu fermé.[5]



FigureI.10 : représentations de la mise position des chaps [3]

I.8. Les Règles de conception

I.8.1. Règles de conception d'une pièce moulée pour assurer sa géométrie finale :

Lors de la conception du brut de fonderie un certain nombre d'éléments sont à prendre en compte afin de s'assurer l'obtention d'une pièce aux cotes :

- ❖ Le bon remplissage de l'empreinte
- ❖ La dilatation thermique du matériau
- ❖ Les déformations possibles après ouverture du moule [5]

I.8.1.1. Le remplissage :

Lors du remplissage du moule, l'avancée du métal fondu peut être arrêtée prématurément par deux phénomènes :

- ❖ Insuffisance de la pression exercée pour contrer les pertes de charges dues à la viscosité du fluide
- ❖ Refroidissement et solidification du métal prématurés

Ces deux phénomènes imposent ainsi une section minimale dans la pièce fonction de la température de la coulée, de la température du moule et de la viscosité du matériau. Il est possible d'estimer la section minimale d'un canal de manière théorique en découplant les phénomènes thermiques et de mécanique des fluides. Cela nous donne bien entendu des valeurs grossières mais qui ont l'avantage d'être analytiques et donc utiles en pré-dimensionnement.

D'un point de vue thermique, le rayon minimal Rmin d'un canal cylindrique pour remplir une longueur L est donné par :

Où h est le coefficient de transfert avec le moule est le coefficient de conduction thermique de l'alliage, et Tm, T0 et Tf sont respectivement les températures du moule, de coulée et de fusion.

Du point de vue de la mécanique des fluides, on peut estimer le rayon minimal Rmin pour remplir un canal de longueur L situé à une profondeur H sous le trou de coulée

Où sont la viscosité et la masse volumique du fluide.

Afin d'avoir des estimations plus réelles de la longueur maximale qu'il est possible d'alimenter par un canal réduit, il existe un essai normalisé, l'essai de coulabilité, qui consiste à remplir une spirale [5]

I.8.1.2. Dilatation thermique :

Comme le métal est conformé à haute température il est important sous peine d'avoir des écarts géométriques de prendre en compte la dilatation thermique de la pièce lors de la conception du brut. Il faut ainsi augmenter toutes les dimensions du brut par une valeur dépendant du matériau et de la température de coulée :

- 3 à 6% pour les fontes
- 5 à 7% pour les aciers
- 4 à 7% pour les alliages légers
- 5 à 6% pour les bronzes [5]

I.8.1.3Déformations :

La solidification différentielle entre les parties de la pièce ainsi que la dilatation après ouverture du moule peuvent causer des déformations de la pièce lors du retour à température ambiante. Ainsi, il est important de respecter certains tracés [5]

I.8.2. Règles de conception d'une pièce moulée pour assurer son démoulage

La technologie du moulage par coquille impose la présence d'un plan de joint et d'une cinématique d'ouverture du moule par rapport à ce dernier. Les règles liées au choix du plan de joint sont expliquées (Règles de conception de l'outillage pour le placement des empreintes). Afin de permettre le démoulage de la pièce il est primordial d'ajouter des dépouilles à toutes les surfaces perpendiculaires au plan de joint, c'est-à-dire d'ajouter de la matière afin d'assurer un angle minimal de 3% entre la surface et la normale au plan de joint

En effet toutes ces surfaces sont non-seulement sources de frottements entre le moule et la pièce, mais les effets de dilatation peuvent venir exercer des efforts sur ces surfaces (la matière vient se contracter autour d'une excroissance de la coquille par exemple).

De même, il est très important de laisser le moins possible de contre-dépouille c'est-adire d'angle négatif (rentrant) avec le plan de joint. En effet cela bloque la cinématique d'ouverture du moule, et impose d'ajouter des noyaux ou tiroirs augmentant le coût de réalisation de la pièce. [6]

I.8.3. Règles de conception d'une pièce moulée pour faciliter le remplissage et améliorer sa santé

La santé de la pièce (inclusions d'oxydes, présences de bulles d'air, de micro-retassures) est très dépendante de l'écoulement de la matière lors du remplissage de l'empreinte ainsi que de son refroidissement une fois l'empreinte remplie.

Si comment éviter au maximum les retassures macroscopiques (manque de matière du au retrait lors de la solidification) est évoqué dans le paragraphe (Règles de conception de l'outillage pour le placement du système d'alimentation), il n'est pas possible d'apporter de la matière à tous les endroits de la pièce. Il faut donc faire attention à éviter au maximum les points chauds isolés du reste de la pièce.

Afin d'éviter les micro-retassures, la meilleure stratégie est d'uniformiser le temps de solidification sur toute la pièce. Ainsi nous cherchons au maximum à éviter les croisements ou autres bossages (comme vu précédemment).

Un des moyens de lutter contre les bulles d'air et les inclusions d'oxydes dans la pièce et d'assurer un écoulement laminaire dans l'empreinte et pour cela il est conseillé d'éviter au maximum les angles vifs. Dans le paragraphe (Règles de conception de l'outillage pour le placement du système de remplissage) d'autres leviers sur lesquels jouer sont évoqués.

Par ailleurs les angles vifs auront tendance, en plus de générer un écoulement turbulent, à détériorer la santé de la pièce en générant des criques lors du refroidissement [6]

I.8.4. Règles de conception d'une pièce moulée pour réduire les coûts et faciliter la mise en œuvre

Une grande partie des règles vues précédemment auront pour effet secondaire de réduire les coûts de fabrication ou d'entretien de l'outillage. En plus de ces règles certains conseils, lorsqu'ils peuvent être mis en place, permettent une diminution conséquente des coûts ou améliorent la productivité en réduisant les temps de traitements de la pièce.

Lors de la réalisation d'une pièce par moulage en coquille, il est très intéressant d'orienter les difficultés (écart de géométries, formes complexes) vers l'extérieur de la pièce (figure 8). Cela impliquera un usinage de la coquille plutôt qu'un assemblage de noyau ; en effet les noyaux subissent des contraintes lors du refroidissement de la pièce. Logiquement la durée de vie de l'outillage augmente avec la diminution des contraintes subites.

De même, lors de l'utilisation de noyaux en sable il est important de prévoir des espaces suffisant pour réaliser le dessablage, donc des orifices suffisamment grands vers l'extérieur de la pièce La seconde partie de cette ressource s'intéresse à la conception de l'outillage, c'est à dire la coquille qui comprend les empreintes de la pièce et les systèmes de remplissage (trou de coulée, canaux) et d'alimentation (masselottes).[6]

I.8.5. Règles de conception de l'outillage pour le placement des empreintes

Comme évoqué plus haut, le premier point à déterminer est le(s) plan(s) de joint de la coquille. Celui-ci n'est pas nécessairement unique ou même plan mais sa simplification aura des effets très positifs sur le coût, la manutention et la productivité de fabrication.

Le plan de joint est normalement choisi comme :

- Un plan de symétrie de la pièce s'il y en a un
- Le plan contenant les plus grandes dimensions de la pièce, cela permet de réduire la profondeur et donc la taille des coquilles
- Préférer un plan brisé plutôt que plusieurs plans ou l'ajout de noyaux (lorsque cela est possible) [7]

I.8.6. Règles de conception de l'outillage pour le placement du système d'alimentation

Le système d'alimentation a pour charge de garantir un apport de matière aux parties se solidifiant en dernier, évitant ainsi l'apparition de retassure sur ces zones. Le système d'alimentation est généralement composé de masselottes (parties uniquement destinées à servir de réservoir de métal placées au-dessus de la pièce afin que la gravité force le métal à alimenter la partie masselotte) mais on peut aussi utiliser le système de remplissage (comme le trou de coulée) pour alimenter la pièce. Placer et dimensionner ces masselottes [6]

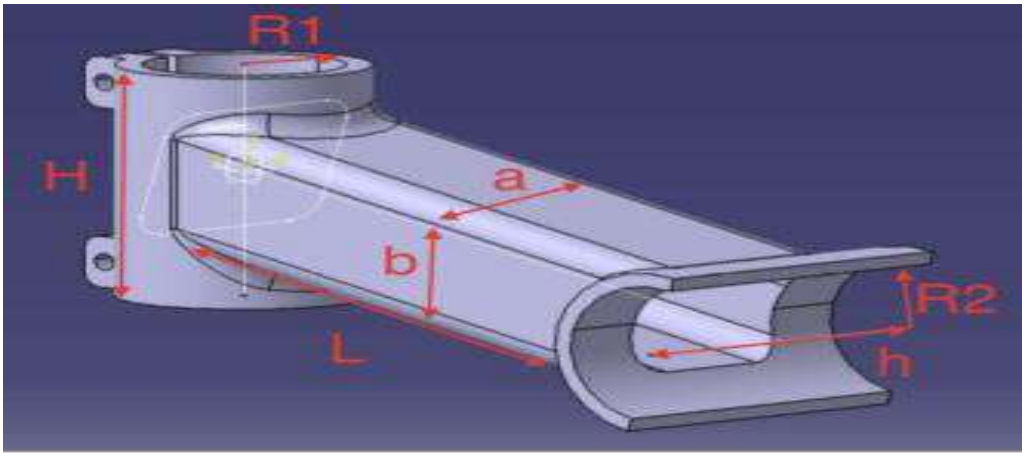
I.8.6.1. Déterminer l'ordre de solidification

Afin de placer les masselottes sur une pièce, la première étape consiste à découper la pièce en zones élémentaires de formes simples (cylindre, pavé, sphère...) et à estimer leurs ordre de solidification. Pour cela nous allons calculer le module de chaque partie.

Le module est le rapport entre volume de matière à solidifier et surface d'échange (surface de contact entre la matière et le moule). En première approximation, le module est directement proportionnel au temps de solidification d'une partie. Il possède une unité

(homogène à une dimension). Il est donc important d'assurer l'homogénéité des calculs en utilisant une seule unité dimensionnelle (habituellement le millimètre).

Exemple : Soit une potence (figure 11) possédant une épaisseur uniforme e. L'ensemble des surfaces intérieures seront réalisées grâce à un noyau en sable, bien moins conducteur de la chaleur que la coquille métallique. Nous négligerons les échanges thermiques avec celui[6]



FigureI.11: Exemple traitée la potence [6]

Pour estimer les modules, la potence est découpée en trois zones :

- 1Un cylindre creux (R1-H)
- 2. Un tube rectangulaire creux (a-b-L)
- 3. Un demi-cylindre creux (R2-h)

Calculs des différents modules :

V1 = 2πR1eH, S1=2πR1H-(ab). On retire à la surface extérieure le rectangle occupé par le tube rectangulaire.

V2 = 2(a+b) eL, S2= (a+b)L. On ne compte ici que la surface latérale extérieure.

V3 = πR2eh-abe, S3=2(πR2h-ab). Pour le volume et la surface, on considère le trou avec le tube comme un rectangle de côté a et b.

On peut donc calculer les modules comme le rapport du volume sur la surface. L'application numérique nous donne alors : M1=3.6, M2=6 et M3=1.5. L'ordre de solidification sera donc a priori 3 [7]

I.8.6.2. Dimensionner les masselottes

Afin d'être efficace, les masselottes doivent respecter deux critères :

Se solidifier après la partie à alimenter. Cela se vérifie en imposant que le module de la

- masselotte est supérieure à celui de la partie à alimenter.
- Comporter une réserve de métal suffisante pour compenser les retraits. On impose en général que le volume de la masselotte doit être supérieur à 0.3 fois le volume masselotte [7]

I.8.6.2. Dans le cas de l'exemple de la potence :

La masselotte devra avoir un module d'au moins 6. Cela peut se vérifier très facilement en prenant une masselotte cylindrique avec un rayon minimum de 12 mm.

Elle doit contenir le métal pour alimenter l'ensemble de la pièce (elle alimente la partie centrale, qui elle-même alimente les deux cylindres). Elle doit donc avoir un volume d'au moins 0.3 fois le volume de la pièce.

En général, les masselottes sont cylindriques et possède un élancement de 2(H/D=2). **[7]**

I.8.7. Règles de conception de l'outillage pour le placement du système de remplissage

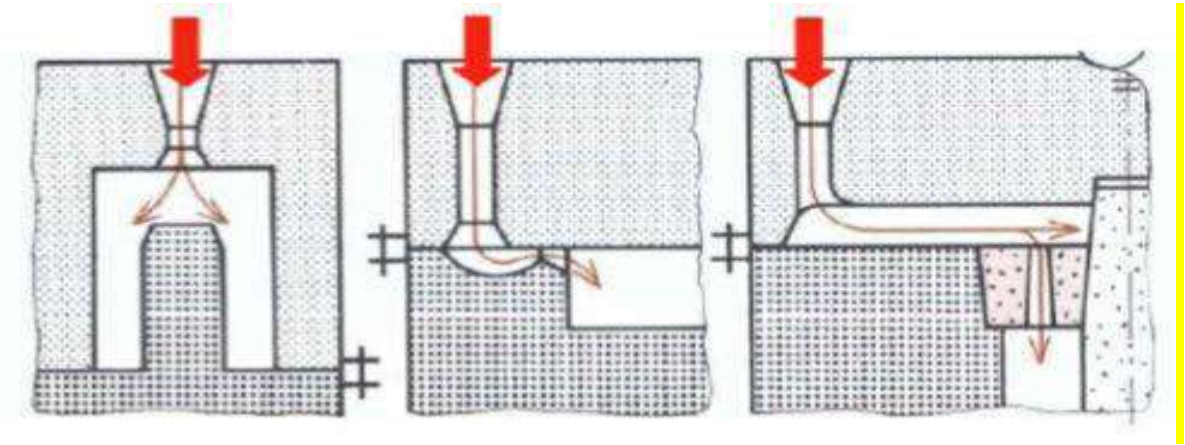
Le système de remplissage a pour mission d'apporter la matière jusqu'aux empreintes pour assurer le remplissage de ces dernières. Il est habituellement constitué d'un trou de coulée et d'une série de canaux.

Dans un premier temps, sont vus les différentes stratégies de remplissage, le dimensionnement des canaux et des attaques, et par la suite, les différents éléments pour améliorer la coulée sont abordés.[7]

I.8.7.1. Stratégies de remplissage

Il existe deux principales stratégies de remplissage : en chute ou en source

La coulée en chute (figure. I.12) à l'avantage de réduire la mise au mille (volume hors pièce) mais créer de fortes turbulences.



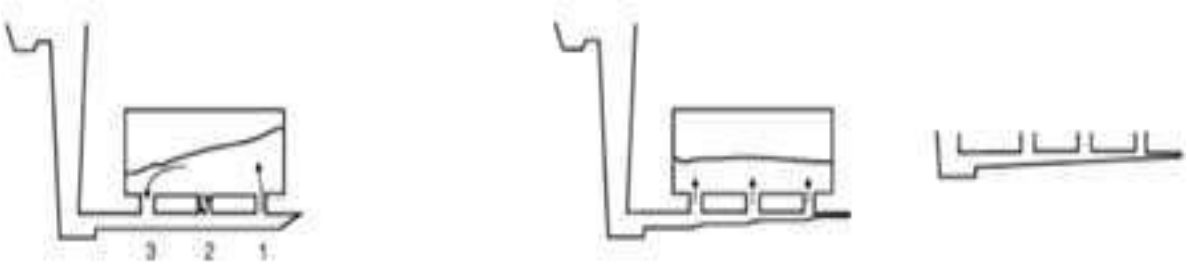
FigureI.12 : Illustrations de coulées en chute [7]

La coulée en source (figure 12) permet un approvisionnement doux mais augmente la mise au mille (plus de canaux). Il convient cependant d'assurer la source à tous les points bas pour éviter les chutes dans l'empreinte. C'est la stratégie la plus couramment adoptée.

I.8.7.2. Dimensionnement des canaux

Afin d'éviter au maximum d'amener de l'air dans l'empreinte, les canaux ont souvent une structure convergente, c'est-à-dire que la section cumulée diminue au fur et à mesure de l'avancée vers les empreintes (figure I 13). Classiquement la surface des canaux est égale à la moitié de la surface de la descente.

Il est possible, lorsque la vitesse du fluide est trop importante, d'utiliser une structure divergente mais on a alors un risque de décollement de la veine fluide.



FigureI.13 : Lors de multiples attaques d'une pièce il faut penser à réduire progressivement la section des canaux. [8]

Le point dimensionnant l'ensemble des canaux est le calcul de la surface de descente c'est-à-dire la surface horizontale du trou de coulée. Pour le calculer, on doit tout d'abord estimer le temps de remplissage Tr. Celui-ci est limité d'une part par le risque de mal venue s'il est trop grand, ou le risque de turbulence s'il est trop petit.

✓ **Méthode**

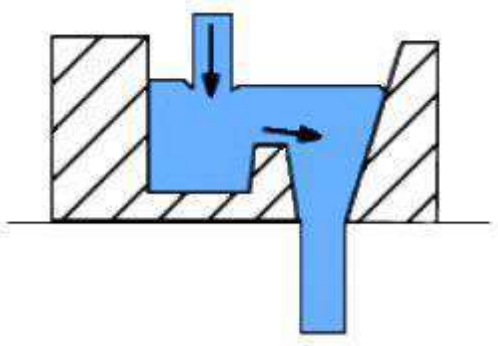
Pour dimensionner le système de remplissage on procède dans l'ordre.

- ❖ On estime le temps de remplissage Tr 2. On calcule la section de descente par les formules ci-dessous, où B est un coefficient de perte de chargeV est la vitesse du fluide et H la hauteur moyenne par rapport au trou de coulée
- ❖ .3. On applique l'échelonnement convergent ou divergent choisi.
- ❖ 4. On répartit les attaques sur la pièce en fonction de sa taille et de sa géométrie [8]

I.8.7.3. Eléments complémentaires

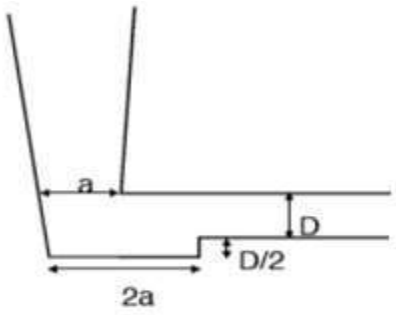
Une fois connus la structure et les tailles du système de remplissage, un certain nombre d'éléments sont à ajouter afin d'éliminer au maximum les oxydes et autres impuretés inévitables dans le bain de fusion. Le but global est d'éviter que les impuretés se retrouvent dans la pièce finale, soit en les bloquant avant l'entrée de la pièce soit en les dirigeant vers les parties résinées ou les masselottes.

Afin d'éviter d'amener les impuretés jusqu'à l'empreinte on peut placer des bassins de décantations (figure 14) à divers endroits du système de remplissage. Au niveau du trou de coulée, il bloquera le laitier (déchet mélange d'oxydes formé durant la fusion du métal) et les grosses particules. Il permet en plus d'éviter les turbulences. [8]



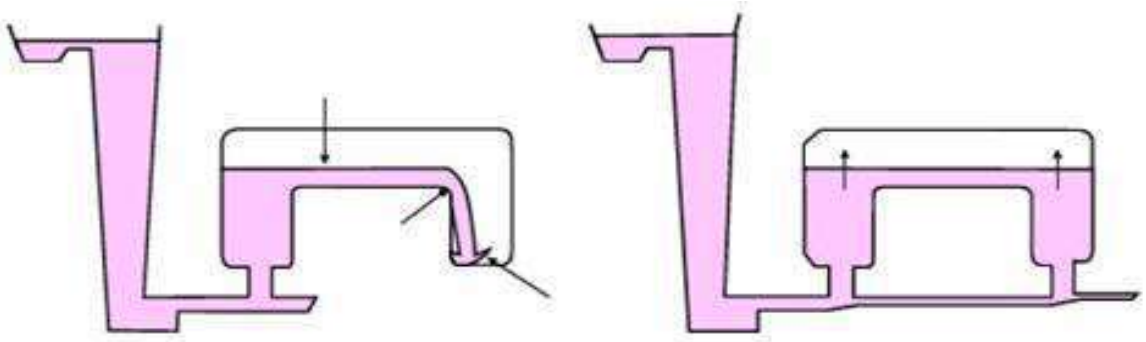
FigureI.14 : Bassin de décantation placé au niveau du trou vde coulée [8]

En bas du canal de descente (figure) il permettra d'éviter la formation de nouveaux oxydes lors de la chute du métal. [8]



FigureI.15: Bassin de décantation placé en bas du canal de descente [8]

À chaque extrémité de canal (figure 16) après la dernière attaque, il récupérera les petites impuretés entraînées avec le métal. [8]



FigureI.16 : La coulée en source à tous les points bas [8]

Conclusion

Le moulage en coquille permet une production rapide et constante dans le temps de pièces aux formes complexes, et au plus près de la pièce finie. En respectant des règles de tracé de la pièce, le procédé de moulage en coquille permet une précision et une constance dans les dimensions des pièces, la simplification et la réduction de l'usinage, la réalisation de pièces aux formes internes complexes. La conception de la coquille, moule métallique constitué de plusieurs éléments, répond à des règles qui permettent à l'alliage en fusion versé dans l'empreinte de circuler correctement et obtenir la pièce souhaitée. Concevoir une coquille consiste non seulement à placer l'empreinte et le plan de joint, mais aussi, à positionner et dimensionner les systèmes d'alimentation et de remplissage. Cette ressource a présenté les bonnes pratiques et les règles de conception de la pièce et du moule de ce procédé d'obtention

Chapitre II La conception d'une mini machine d'injection d'aluminium

Dans ce chapitre, nous allons présenter composants de la machine modifie sous pression du laboratoire de l'Université de Médéa. Nous essayons de proposer un nouveau design pour minimiser les Problèmes et défauts de la conception actuelle de l'appareil.

II. Introduction [8].

Le moulage sous pression est un procédé de fabrication capable de produire des pièces métalliques géométriquement complexes grâce à l'utilisation de moules réutilisables, appelés matrices. Le processus de moulage sous pression implique l'utilisation d'un four, métal, machine de moulage mécanique sous pression, et meurent. Le métal, typiquement un alliage non ferreux tel qu'aluminium ou zinc, est fondu dans le four et ensuite injecté dans les matrices dans la coulée sous pression machine. Il existe deux types principaux de machines de moulage sous pression: les machines pour les alliages à basse température de fusion, tels que le zinc) et les machines à chambres froides (utilisés pour les alliages avec des températures de fusion élevées, telles que l'aluminium Les différences entre ces machines sera détaillée dans les sections sur l'équipement et l'outillage. Cependant, dans les deux machines,

Le métal fondu est injecté dans les matrices, il se refroidit rapidement et se solidifie dans la partie finale, appelée fonderie. Les étapes de ce processus sont décrites plus en détail dans la section suivante [8].

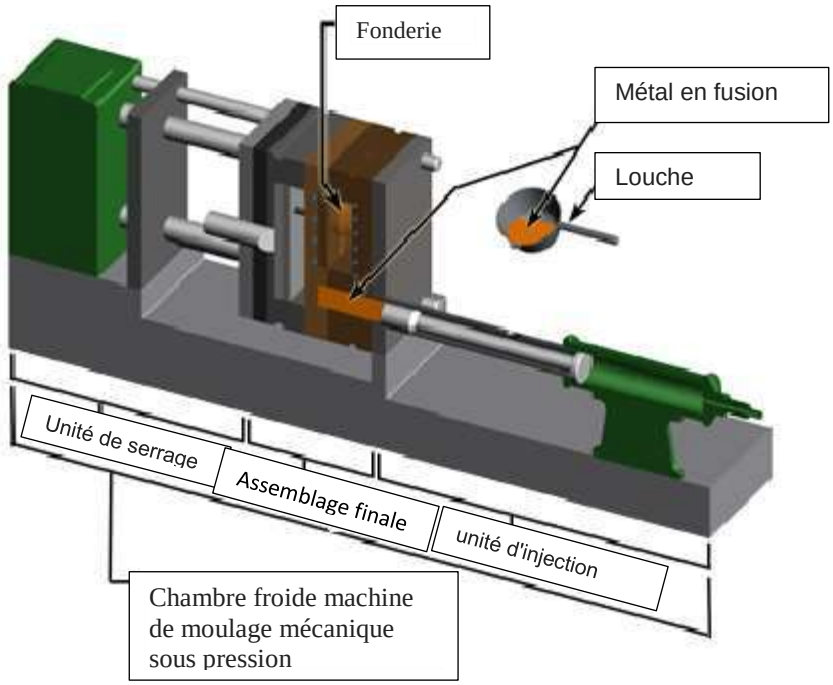


Figure. II.1: Présentation de la machine à chambre froide coulée sous pression [8]

Les moulages qui sont créés dans ce processus peuvent varier considérablement en taille et en poids, allant de quelques onces. Une application courante des pièces moulées sous pression sont les boîtiers - boîtiers à paroi mince, nécessitant souvent de nombreuses nervures et bossages à l'intérieur Les boîtiers métalliques pour une variété d'appareils et d'équipements sont souvent moulés sous pression. Plusieurs composants automobiles sont également fabriqués en moulage sous pression, y compris des pistons, des culasses et des blocs-moteur. Les autres pièces moulées sous pression courantes comprennent les hélices, les engrenages, les bagues, les pompes et les soupapes. [8]

II.1 principes fondamentaux de l'industrie de la machine

II.1.1 Cycle de processus

Le cycle de processus pour le moulage sous pression se compose de cinq étapes principales, qui sont expliquées ci-dessous.

La durée totale du cycle est très courte, généralement comprise entre 2 secondes et 1 minute [8]

II.1.2.Serrage

La première étape est la préparation et le serrage des deux moitiés de la matrice. Chaque moitié de matrice est d'abord nettoyée de l'injection précédente, puis lubrifiée pour faciliter l'éjection de la partie suivante. Le temps de lubrification augmente avec la taille des pièces, ainsi que le nombre de cavités et de cœurs latéraux. En outre, la lubrification peut ne pas être nécessaire après chaque cycle, mais après 2 ou 3 cycles, selon le matériau. Après la lubrification, les deux moitiés de filière qui sont fixés à l'intérieur de la machine de moulage sous pression, sont fermées et solidement serrés ensemble. Une force suffisante doit être appliquée à la matrice pour la maintenir solidement fermée pendant l'injection du métal. Le temps nécessaire pour fermer et serrer la matrice dépend de la machine - les machines plus grandes (celles qui ont des forces de serrage plus importantes) auront besoin de plus de temps. Cette durée peut être estimée à partir du temps de cycle de séchage de la machine [8]



Figure II.2: Serrage de moule [4]

II.1.3 Injection

- Le métal fondu, qui est maintenu à une température définie dans le four, est ensuite transféré dans une chambre où il peut être injecté dans la filière. Le procédé de transfert du métal fondu dépend du type de machine de coulée sous pression, qu'il s'agisse d'une chambre chaude ou d'une machine à chambre froide. La différence dans cet équipement sera détaillée dans la section suivante. Une fois transféré, le métal fondu est injecté à haute pression dans la filière. La pression d'injection typique varie de 68,9 à 1379 bar. Cette pression maintient le métal fondu dans les matrices pendant la solidification [9].

La quantité de métal qui est injectée dans la matrice est appelée tir. Le temps d'injection est le temps nécessaire pour que le métal fondu remplisse tous les canaux et toutes les cavités de la filière. Ce temps est très court, typiquement inférieur à 0,1 seconde, afin d'empêcher une solidification précoce d'une partie quelconque du métal. Le temps d'injection approprié peut être déterminé par les propriétés thermodynamiques du matériau, ainsi que par l'épaisseur de la paroi de la pièce coulée. Une plus grande épaisseur de paroi nécessitera un temps d'injection plus long. Dans le cas où une machine de coulée sous pression à chambre froide est utilisée, le temps d'injection doit également inclure le temps de mise en poche manuelle du métal fondu dans la chambre de tir [9].

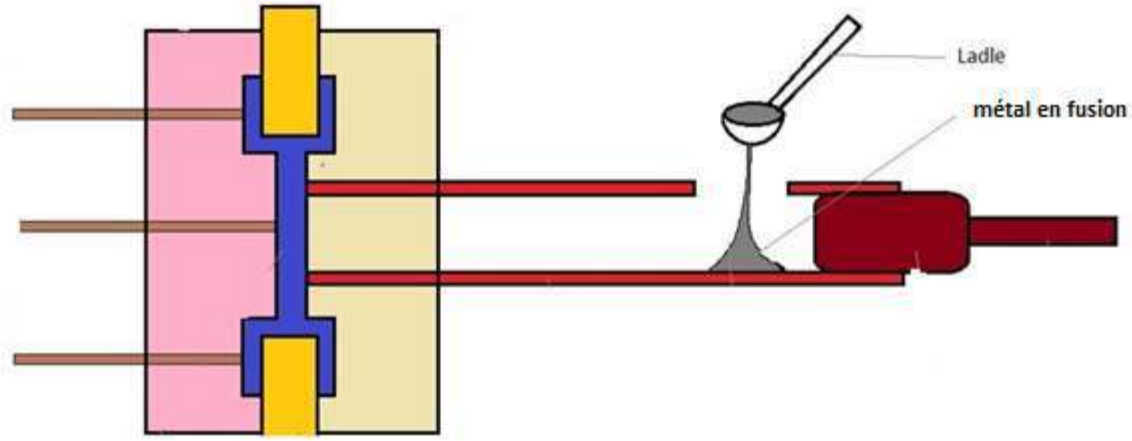


Figure II.3 : méthode injection du métal [4]

II .1.4 Refroidissement

Le métal en fusion qui est injecté dans la matrice commence à refroidir et à se solidifier une fois qu'il pénètre dans la cavité de la filière. Lorsque toute la cavité est remplie et que le métal fondu se solidifie, la forme finale de la pièce coulée est formée. La matrice ne peut pas être ouverte avant que le temps de refroidissement ne se soit écoulé et que la pièce moulée ne soit solidifiée Le temps de refroidissement peut être estimé à partir de plusieurs propriétés thermodynamiques du métal, de l'épaisseur maximale de la paroi de la pièce et de la complexité de la matrice. Une plus grande épaisseur de paroi nécessitera un temps de refroidissement plus

long. La complexité géométrique de la matrice nécessite également un temps de refroidissement plus long car la résistance supplémentaire au flux de chaleur [9].

II.1.5 Éjection

Après que le temps de refroidissement prédéterminé a passé, les moitiés de filière peuvent être ouvertes et un mécanisme d'éjection peut pousser la pièce coulée hors de la cavité de filière. Le temps d'ouverture de la matrice peut être estimé à partir du temps de cycle de séchage de la machine et le temps d'éjection est déterminé par la taille de l'enveloppe de la pièce coulée et doit inclure le temps pour que la coulée se libère de la matrice. Le mécanisme d'éjection doit exercer une certaine force pour éjecter la pièce car pendant le refroidissement, la pièce se rétracte et adhère à la matrice. Une fois le moulage éjecté, la matrice peut être fermée pour l'injection suivante [9].

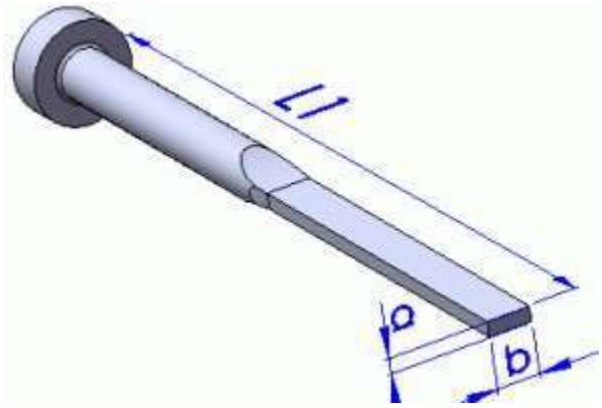


Figure II.4 : schéma 'un éjecteur [9].

II.1.6 Garniture

Pendant le refroidissement, le matériau dans les canaux de la matrice va se solidifier attaché à la coulée. Cet excès de matériau, ainsi que tout éclair qui s'est produit, doivent être découpés manuellement dans la pièce coulée par découpage ou sciage ou à l'aide d'une presse à rogner. Le temps nécessaire pour couper le surplus de matériau peut être estimé à partir de la taille de l'enveloppe de la coulée Les rebuts qui résultent de cette coupe sont jetés ou peuvent être réutilisés dans le processus de coulée sous pression. Le matériau recyclé peut devoir être reconditionné à la composition chimique appropriée avant qu'il puisse être combiné avec du métal non recyclé et réutilisé dans le processus de moulage sous pression

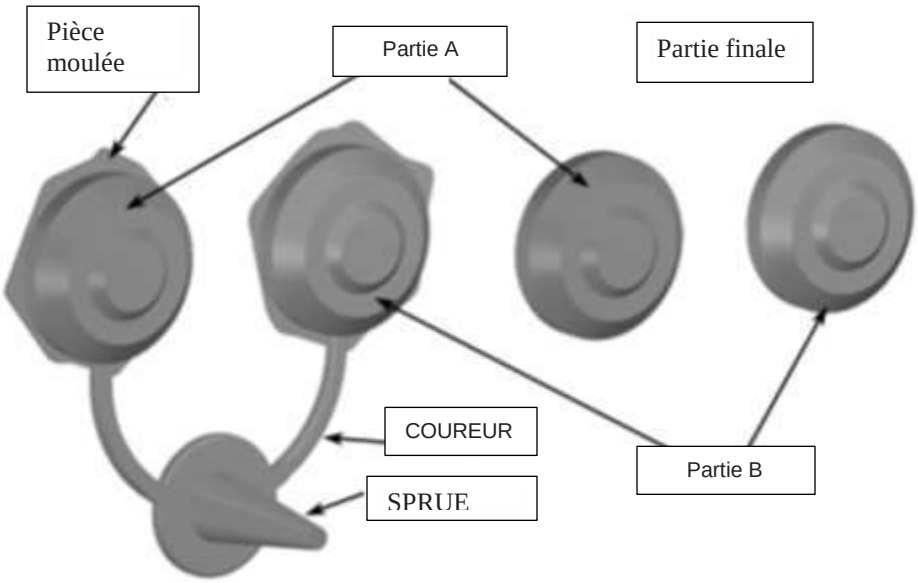


Figure II.5 : Pièce moulée sous pression [9].

II .2.Partie Mécanique

Machine innovante notation



Figure II.6 : représenté la machine innovante notation

II .2.2.Fourreau

Le fourreau est la pièce qui entoure le piston d'injection

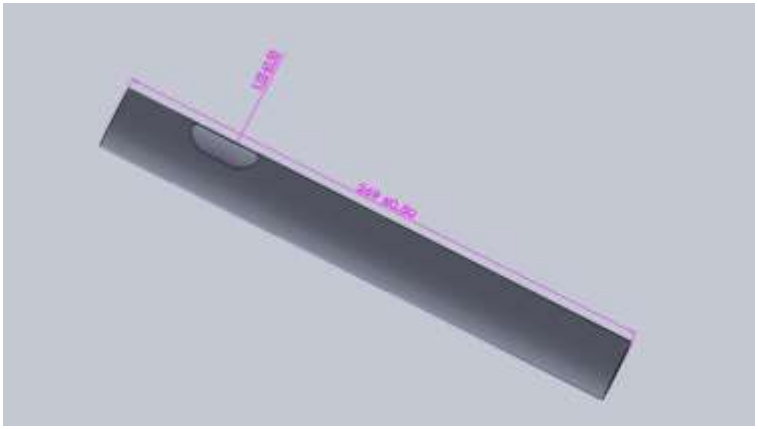


Figure II.7: schéma du fourreau

II .2.3.Piston

La fonction principale du piston est de séparer les zones de pression à l'intérieur du canon. Le piston est usiné avec des rainures pour s'adapter aux joints élastomères ou métalliques et aux éléments de palier. Ces joints peuvent être à simple effet ou à double effet. La différence de pression entre les deux côtés du piston provoque l'extension et la rétraction du cylindre. Le piston est fixé avec la tige de piston au moyen de filetages, de boulons ou d'écrous pour transférer le mouvement linéaire. [9]

II 2.3.1. Tige de piston

La tige de piston est typiquement une pièce d'acier laminée à froid, chromée et dure, qui se fixe sur le piston et s'étend du cylindre à travers la tête d'extrémité de tige. Dans les cylindres à deux extrémités de tige, l'actionneur comporte une tige s'étendant des deux côtés du piston et sortant des deux extrémités du cylindre. La tige de piston relie l'actionneur hydraulique au composant de la machine effectuant le travail. Cette connexion peut être sous la forme d'un filetage de machine ou d'un accessoire de montage. La tige de piston est fortement rectifiée et polie afin de fournir une étanchéité fiable et éviter les fuites [9]

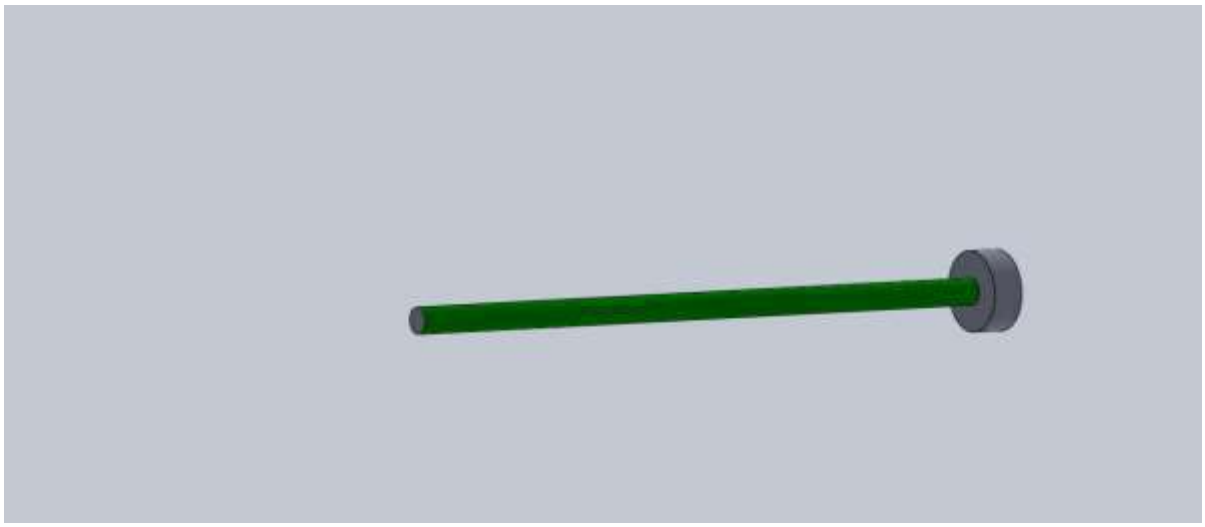


Figure II.8 : schéma du piston

II .2.3.2.Caractéristique de piston

- Acier allie
- Masse:2.55449kg
- Volume:0.000184m^3
- Masse volumique:7700kg/m^3
- Poids : 25.034 N

II .2.4. Le moule

Le moule contient la forme de l'objet que l'on désire obtenir, elle est composée d'un assemblage de pièces, d`une empreinte qui forme la partie femelle du moule et d`un noyau dans lequel la matière à mouler prend sa forme. Elle possède une force de fermeture importante qui nécessite donc l'utilisation d'un vérin électrique de grande section et d'une course importante. Le moule est constitué aussi d'un éjecteur qui permet d'arracher la pièce refroidie après l'ouverture du module. De plus une porte de protection est montée face au moule pour mettre l'opérateur à l'égard d'un éventuel danger. [9]



Figure II.9: le moule d'une meedaille.

1. plateau mobile

2. colonnes de guidage : c'est une colonne pour guider le délassement de moule

3. bague de guidage : c'est un bague pour facilite le glissement de moule

4. moule mobile : le moule mobile est déplacé vers le moule fixe guidage

5. moule fixe

6. ressort

7. plateau d'injection

8. plateau fixe avant

9. genouillère mobile

11. plateau fixe arrière

12. moule mobile : le moule mobile est déplacé vers le moule fixe à l'aide de colonne de guidage

II .2.5 .Conception proposée :

Afin d'améliorer la conception de la machine, nous proposons une autre structure comme illustrée dans la figure pour cela, on a :

- ❖ Un vérin d'injection
- ❖ Adapter la nouvelle structure

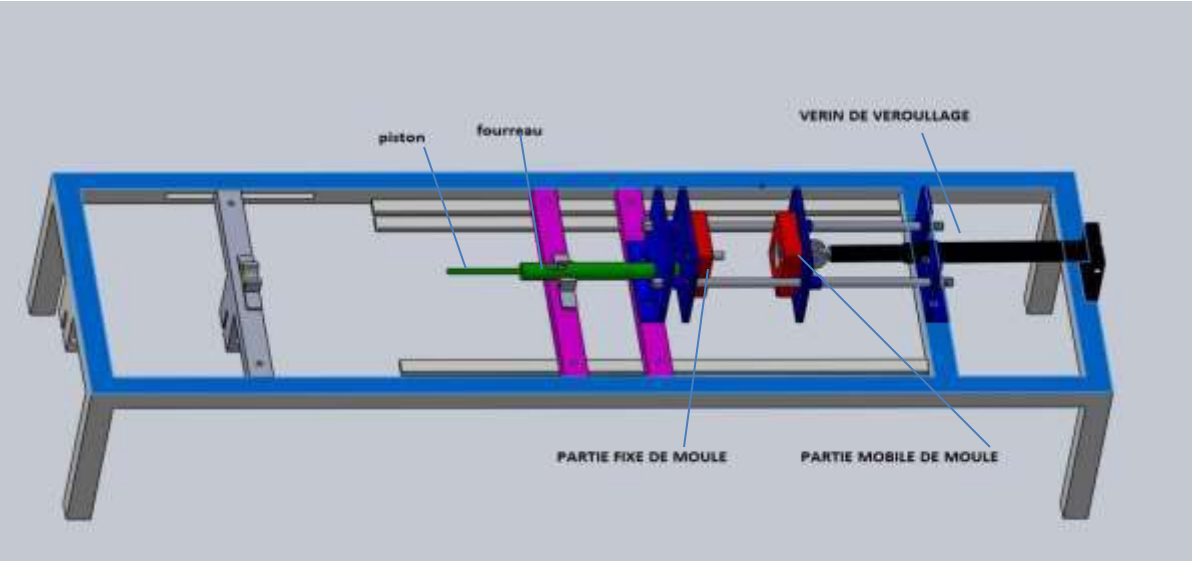


Figure II.10: Conception proposée de la mini-machine

II.3. Partie électrique

II.3.1Introduction

Dans cette partie, nous avons tenté de présenter de manière simple mais rigoureuse les principaux concepts électrique et électronique intervenants dans la machine. [11]

II.3.2 .Vérin électrique

Le vérin Super Jack III est un vérin silencieux de haute performance. Il peut être utilisé pour des antennes paraboliques et garantissent une durée de vie plus longue [11]



Figure II.11 : vérin électrique utile [11]

II .3.2.1.Caractéristiques:

Bonne protection contre la rouille:

- Peinture-poudre époxy.

❖ Excellente protection contre l'eau:

- Avec 2 joints et 3 trous de drainage.

❖ Super ILS:

- Les contacts en Ruthénium assure une longue durée de vie à ILS.
- Enfermé hermétiquement pour éliminer les effets du à la corrosion et à l'oxydation.
- Noyé dans du plastique, cela permet de le changé facilement et sans risque. [11]

II .3.2.2.Description

Unités d'entraînement linéaires compactes qui accomplissent leur entraînement au moyen de l'axe à filetage trapézoïdal et du moteur robuste DC. Déconnexion automatique en position enclenchée/désactivée à l'aide d'interrupteurs de fin de course intégrés. La vitesse peut être modifiée par la tension de fonctionnement comme habituellement sur les moteurs DC et le mouvement/la rotation en avant et en arrière est obtenu(e) par l'inversion de la polarité de la tension de fonctionnement. [11]

II .3.2.3.Caractéristiques techniques

- Force de rétention statique: jusqu'à 2000 Nm
- Boîtier: alliage de zinc
- Durée d'enclenchement : 25% à 10 Min. représente une durée d'enclenchement de 2,5 Min.

Référence DSZY1-24-40-A-025-IP65

Vitesse 8 mm/s

Indice de protection IP65

Type de cylindre électrique Vérin électrique

Tension nominale 24 V/DC

Longueur de course 25 mm

Courant nominal 1.6 A

Effort tranchement/cisaillement 1000 N. [11]

Tableau II.1 : caractéristique technique de vérin [11]

Référence	DSZY1-24-40-A-025-IP65
Vitesse	8 mm/s
Indice de protection	IP65
Type de cylindre électrique	Vérin électrique
Tension nominale	24 V/DC
Longueur de course	25 mm
Courant nominal	1.6 A
Effort tranchement/cisaillement	1000 N

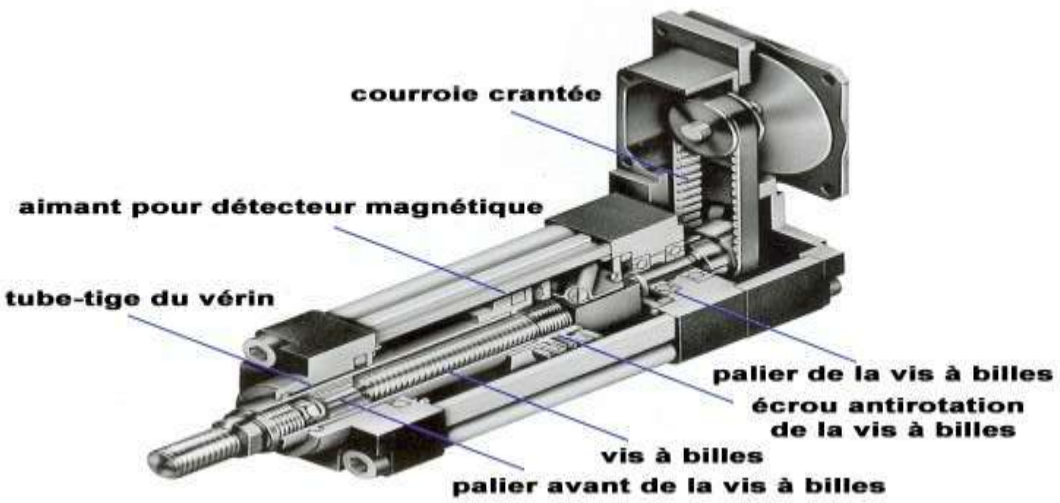


Figure II.12 : structure d'un vérin électrique [11]

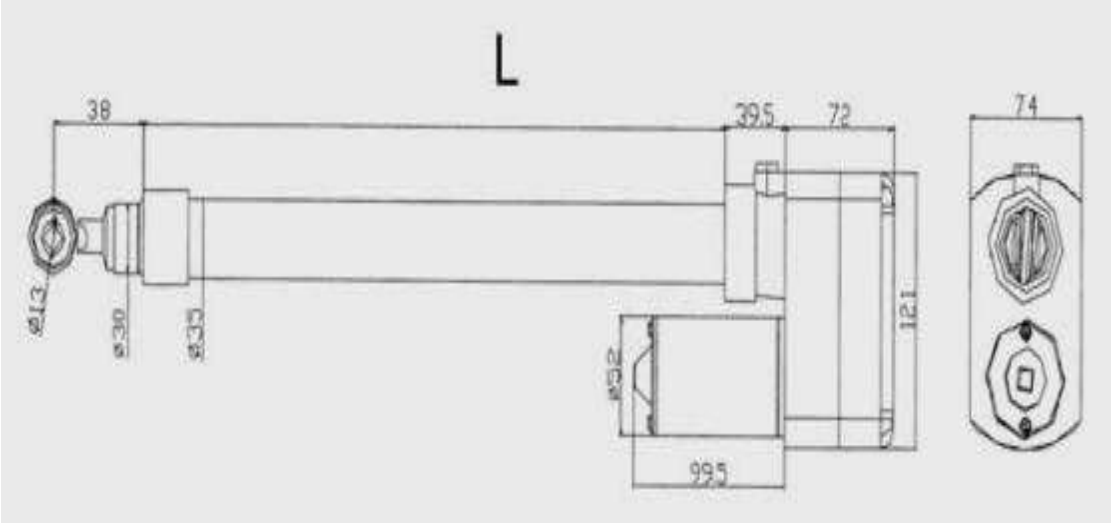


Figure II.13 : dimension de vérin électrique [11]

II.3.2. les capteurs fins de course

Un détecteur de position est un capteur mieux connu sous le Nom d'interrupteur de fin de course. Puisque c'est un détecteur, par définition Il fournit en sortie un signal logique évoluant entre deux états (tout ou rien).

Le capteur de fin de course exige un contact avec l'objet a détecté. Ce contact a lieu au niveau de l'organe de commande. Divers types d'organes de commande sont disponibles sur le marché.

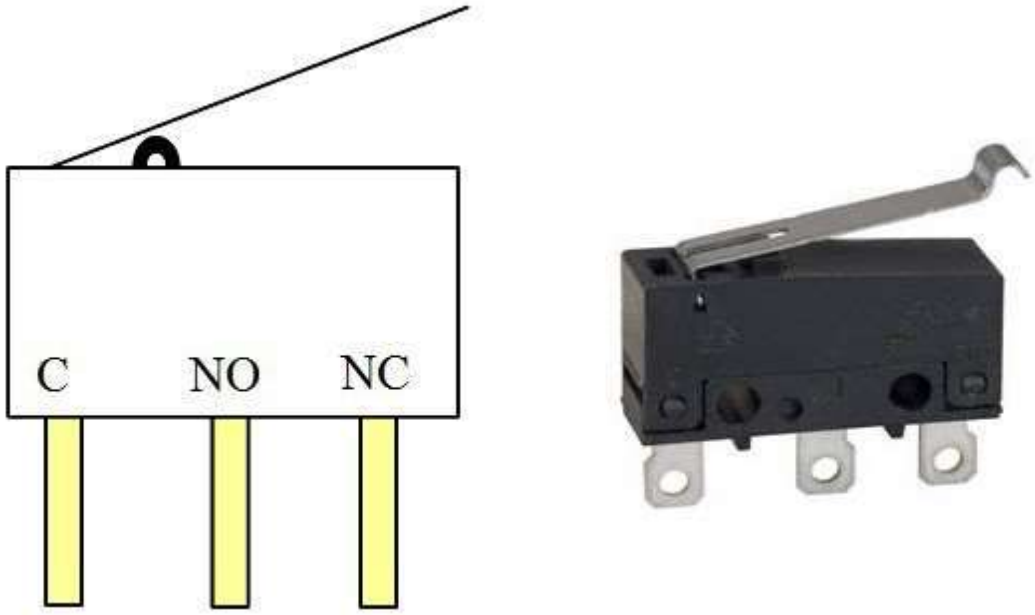


Figure II.14 : capteur de fin de course [11]

Chapitre III Étude et conception mécanique d'un modèle de moule

III. Introduction :

dans ce chapitre, nous allons réaliser un moule en métal pour fabriquer une pièce d'aluminium métallique, qui est une médaille

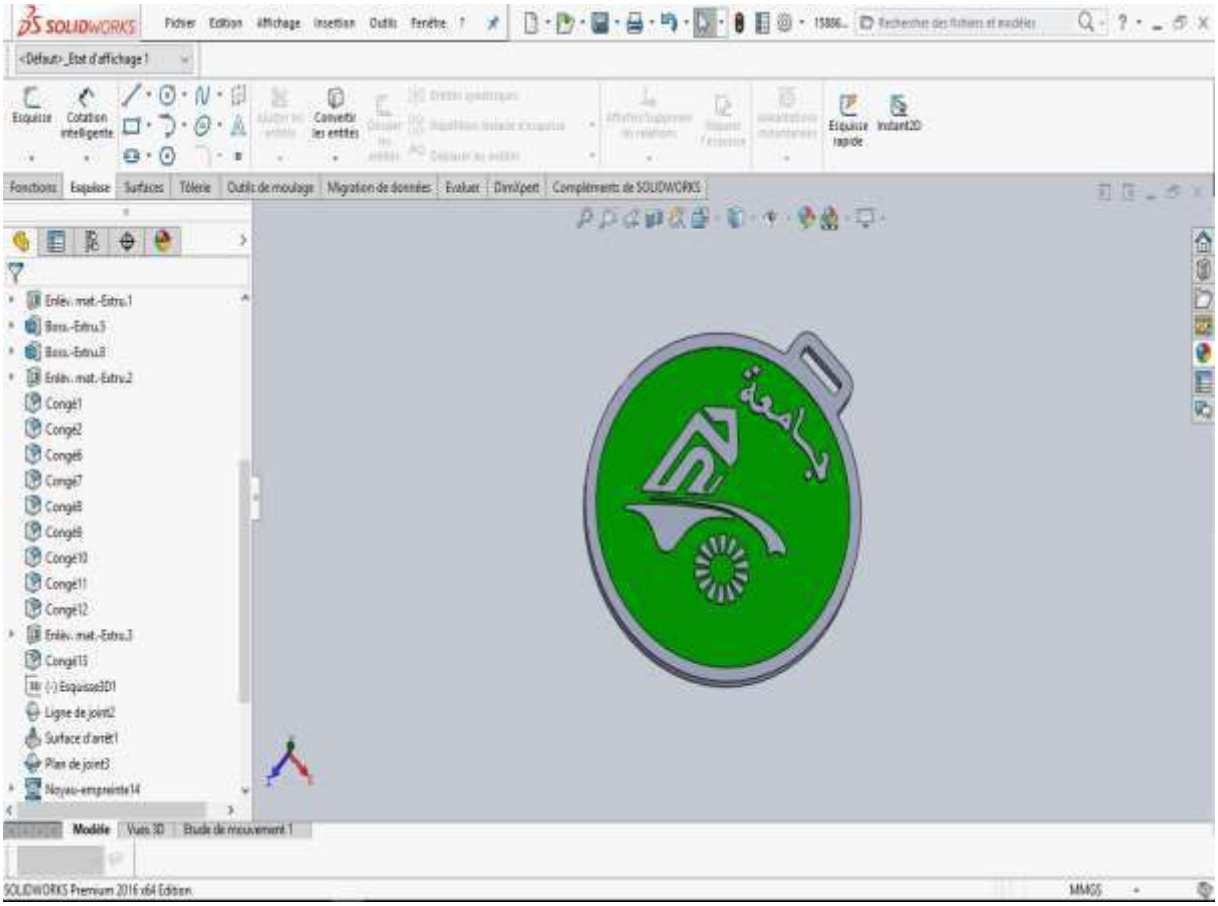


Figure III.1 : la médaille conçu par solidworks

III .1. SolidWorks :

Le logiciel de CAO SolidWorks est une application de conception mécanique 3D paramétrique qui permet aux concepteurs d'esquisser rapidement des idées, d'expérimenter des fonctions et des cotes afin de produire des modèles et des mises en plan précises.

Le présent document explique les concepts et la terminologie de l'application SolidWorks et a pour but de vous familiariser avec les fonctionnalités les plus utilisées de SolidWorks. [14]

Interface utilisateur

L'application SOLIDWORKS offre des outils et des fonctionnalités d'interface utilisateur Qui vous aident à créer et à éditer efficacement les modèles, notamment [14]

III .1.1.Fonctionnalités Windows :

L'application SOLIDWORKS offre des fonctionnalités Windows connues, comme le glissement et le redimensionnement des fenêtres. Un bon nombre de ces fonctionnalités, Comme imprimer, ouvrir, enregistrer, couper et coller, etc., sont représentées dans SOLIDWORKS par les mêmes icônes.

III.1.2. Fenêtres de documents SOLIDWORKS :

Les fenêtres de documents SOLIDWORKS sont constituées de deux panneaux. Le panneau de gauche, ou Manager Pane, contient [14]

III.1.3.Processus de conception

Le processus de conception passe par les étapes suivantes :

- Identification des spécifications du modèle
- Conceptualisation du modèle sur la base des besoins identifiés
- Développement du modèle sur la base des concepts élaborés
- Analyse du modèle
- Prototypage du modèle
- Construction du modèle
- Edition du modèle[14]

III.1.4. Méthode de conception

Avant de procéder réellement à la conception du modèle, il est utile de planifier sa méthode de création.

Une fois les besoins identifiés et les concepts appropriés élaborés, vous pouvez développer le modèle [14]

III.1.4.1.Esquisses

Créez les esquisses et décidez du mode de cotation et des emplacements d'application des relations.

Sélectionnez les fonctions appropriées, comme les extrusions et les congés, déterminez les meilleures fonctions à appliquer et l'ordre de leur application. Fonctions [14]

III.1.4.2.Assemblages

Sélectionnez les composants à contraindre et les types de contraintes à appliquer

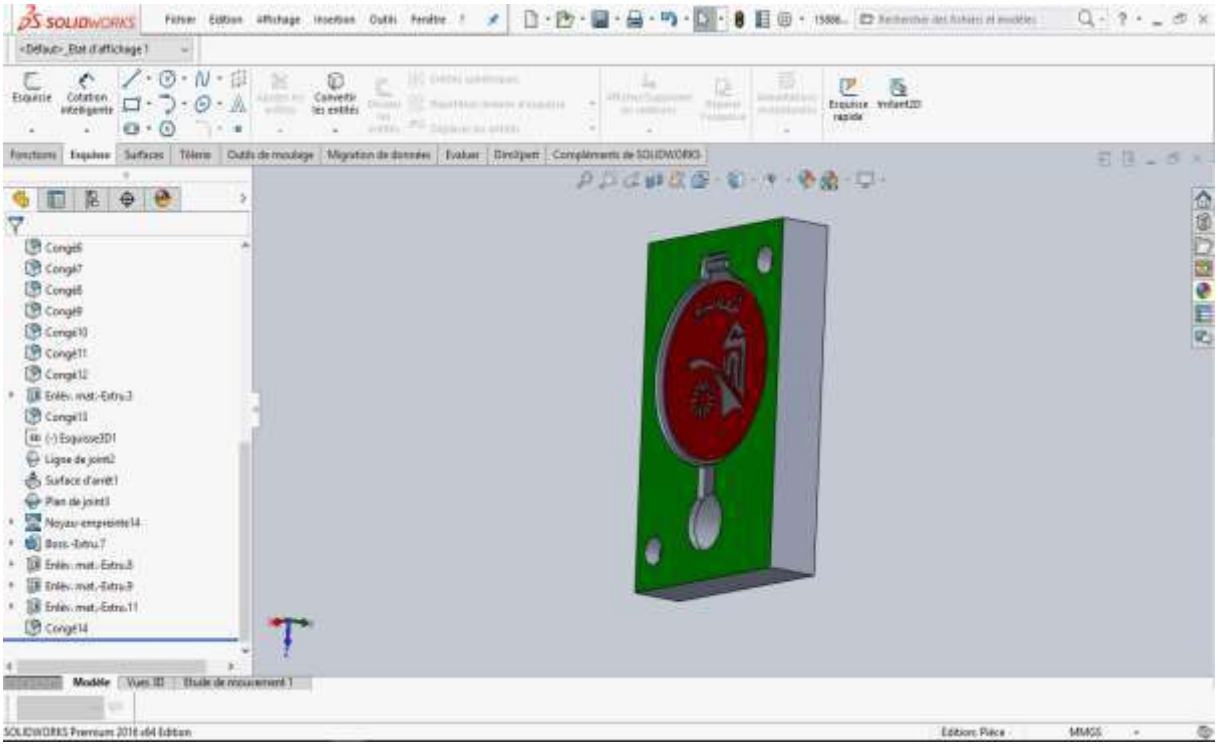
III.1.5.Travail effectué par programme solidworks

En utilisant un programme solidworks, nous dessinons ou formons un certain nombre de formes, y compris simples et complexes au début étaient des formes simples et en trois dimensions était un cercle, puis Nous avons pris les deux côtés et en tirant sur chacune des deux formes différentes et différentes formes en utilisant plusieurs outils sur le programme pour former dans la dernière forme la suivant

Après avoir terminé la pièce, nous utilisons plusieurs autres méthodes pour obtenir les deux plaques principales dans l'industrie du moule afin que nous puissions prendre les dimensions appropriées et mettre le lieu d'entrée du métal dissous pour obtenir les formes



(a)



(b)

Figure III.2 : conception du moule de la médaille (a) empreinte1(b) empreinte2

III.2.Le moule

Le moule se compose ici de deux parties principales du mouvement et le joint dur sont tous les deux essentiels dans le moule où ils ferment le cœur et ensuite nous pouvons mettre le liquide dissous et après les avoir ouverts nous pouvons enlever la pièce et ceci après plusieurs techniques

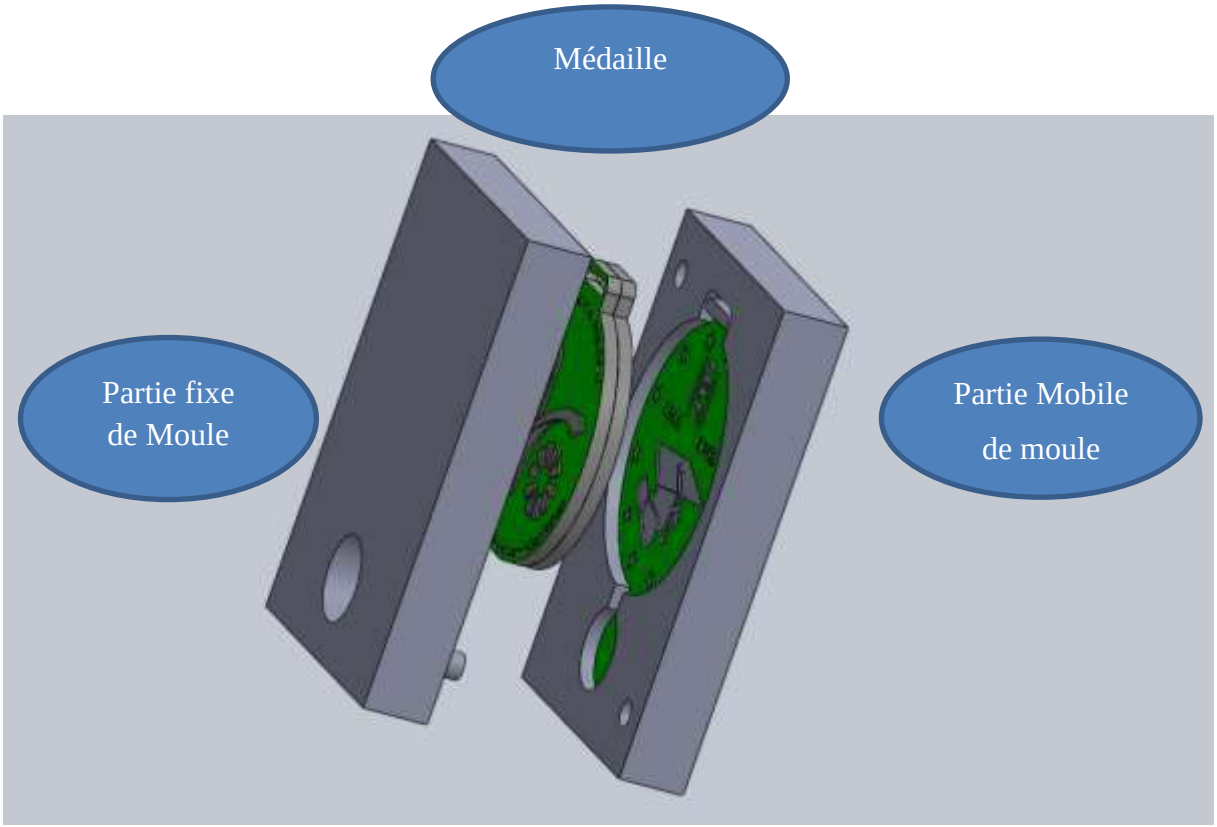


Figure III.3 :le moule et la médaille

III.3.Mâtériaux utilisé

III.3.1.Acier

L'acier est un alliage métallique ferreux, qui est d'ailleurs principalement composé de fer, l'élément additionnel étant le carbone, qui n'est présent qu'à l'état de traces infimes. Selon les aciers, la teneur en carbone est comprise entre environ 0,005 % et 1,5 % en masse. Elle monte très rarement jusqu'à 2 %.

Pourtant, c'est bien cette teneur en carbone, si infime soit-elle, qui confère à l'acier — de manière assez complexe

III.3.2. De nombreux types d'acier

Et, comme c'est le cas pour d'autres alliages, il n'existe pas un acier, mais des aciers. On en répertorie même quelque 3.000 nuances, sans compter celles qui sont créées au jour le jour, sur mesure.

On distingue deux grandes familles d'acier :

- Les aciers non alliés, composés uniquement de fer et de carbone ;
- les aciers alliés, qui intègrent d'autres éléments chimiques tels que le silicium, le molybdène ou le chrome.

Les aciers traités, quant à eux, correspondent à des aciers de l'une de ces familles qui ont subi des traitements thermiques (trempe, cémentation, etc.).

La diversité des aciers fait que l'alliage est utilisé dans de nombreuses applications, de la construction de ponts et de bâtiments au secteur automobile, du secteur de la santé à celui de l'énergie en passant par la fabrication de boîtes, de pots ou de conserves alimentaires

III.4.Réglage de la plaque

La tôle a été mesurée et coupée afin d'obtenir les dimensions appropriées pour la fabrication d'un moule adapté à la machine et à votre scie électrique

En fraisage conventionnel, on travaille « en opposition » : en raison du jeu dans la vis d'entraînement, un travail « en avalant » provoquerait des chocs pouvant nuire à la précision de l'usinage voire détériorer la machine.

Dans le domaine de la fabrication mécanique, le terme « commande » désigne l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil



Figure III.4: découpage de la plaque

III.5. La Machine-outil à commande numérique

En fraisage conventionnel, on travaille « en opposition » : en raison du jeu dans la vis d'entraînement, un travail « en avalant » provoquerait des chocs pouvant nuire à la précision de l'usinage voire détériorer la machine.

Dans le domaine de la fabrication mécanique, le terme « commande » désigne l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil



Figure III.5: La machine de commande numérique utilisée

III.5.1.Défauts

N'est pas rare de voir apparaître des défauts « erreur de positionnement d'axe », également appelés « erreur de poursuite » sur une commande numérique d'une machine-outil, et ce, quelle qu'en soit la marque (Ge Fanuc, Heidenhain, etc.). Ce type de défaut peut générer deux problématiques :

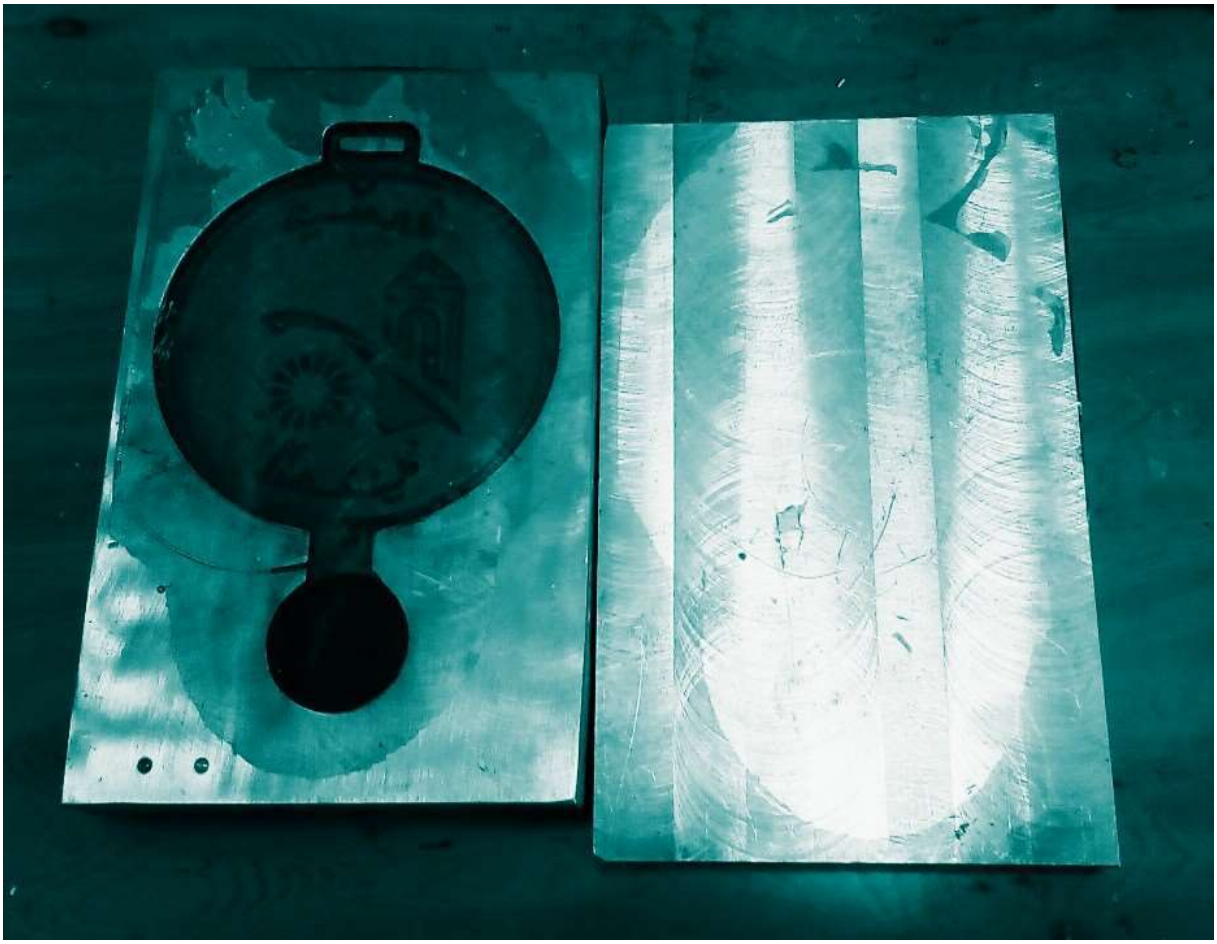
- Problème de lecture d'une règle de mesure incrémentale
- Problème de jeu dans la mécanique de déplacement

III.5.2.Programmation de commande numérique

La programmation de commande numérique (CN) permet de définir des séquences d'instructions permettant de piloter des machines-outils à commande numérique. Cette programmation est actuellement fortement automatisée à partir de plans réalisés en CAO.

Dans le cas d'une commande numérique physique, c'est le directeur de commande numérique (DCN) qui interprète les instructions contenues dans les séquences, reçoit les informations des capteurs et agit sur les actionneurs.

On trouve aussi des pilotes de commande numériques qui sont des programmes (logiciels) informatiques s'exécutant sur un PC, avec éventuellement une délégation partielle des calculs vers une carte spécialisée.



FigureIII.6 : le deux partie du moule réalisé

Chapitre IV

la coulé de la pièce

INTRODUCION

Dans ce chapitre, nous allouer présenter la partie réalisation de la pièce coulée aussi que les différâtes difficultés rencontrés

IV.1 Généralités

Des feuilles alimentaires aux cadres de certains vélos, l'aluminium est partout dans la vie quotidienne. C'est aussi le métal le plus abondant dans la croûte terrestre.



Figure IV.1: Bloc d'aluminium [13]

- Symbole : Al
- Numéro atomique : 13
- Électrons par niveau d'énergie : 2, 8, 3
- Masse atomique : 26,98 u
- Isotopes les plus stables : ^{27}Al stable avec 14 neutrons (100 %)
- Série : métal pauvre
- Groupe, période, bloc : 13 (IIIA), 3, p
- Densité : 2,7
- Point de fusion : 660 °C
- Point d'ébullition : 2.519 °C [13]

IV.1.1 Historique de l'aluminium

Les recherches d'Humphry Davy sur l'alun (*alumen* en latin) en 1807 lui font postuler la présence d'un métal autre que le sodium et le magnésium dans sa composition, qu'il baptise « aluminium ». Hans Christian Ørsted en isole une forme impure en 1825, puis Friedrich Wöhler l'isole sous forme de poussière grise. Il met aussi en évidence les propriétés de cet élément. [13]

IV.1.2 Propriétés de l'aluminium

Métal mou et léger, l'aluminium est néanmoins résistant avec un aspect gris mat. Celui-ci provient d'une mince couche d'oxydation (cinq à dix nanomètres) qui se forme spontanément quand il est exposé à l'air. Cette couche empêche la corrosion de progresser dans des conditions normales.

À la différence de la plupart des métaux, il est utilisable même s'il est oxydé en surface. D'ailleurs, sans cette couche d'oxyde, il serait inadapté à la plupart de ses applications. L'anodisation permet d'augmenter artificiellement l'épaisseur de cette couche d'oxydation, afin d'accroître la protection et de décorer les pièces (par coloration de la couche d'oxyde). Contrairement à l'aluminium qui est un très bon conducteur, l'oxyde d'aluminium est un excellent isolant.

La densité de l'aluminium est trois fois plus faible que celle de l'acier ou du cuivre. Deuxième métal le plus malléable et sixième plus ductile, l'aluminium est facilement usiné ou moulé. Il est paramagnétique et ne provoque pas d'étincelles. L'aluminium devient transparent dans les ultraviolets extrêmes quand il est bombardé par un laser à électrons libres.

Utilisation de l'aluminium

La légèreté et la bonne conductivité thermique et électrique de l'aluminium en font le deuxième métal le plus utilisé après le fer, aussi bien en tonnage qu'en valeur. On ajoute au métal pur fragile et mou d'autres éléments comme le cuivre ou le silicium pour former des alliages aux utilisations variées : automobile, emballage, construction, électronique, feux d'artifice, etc. [13]

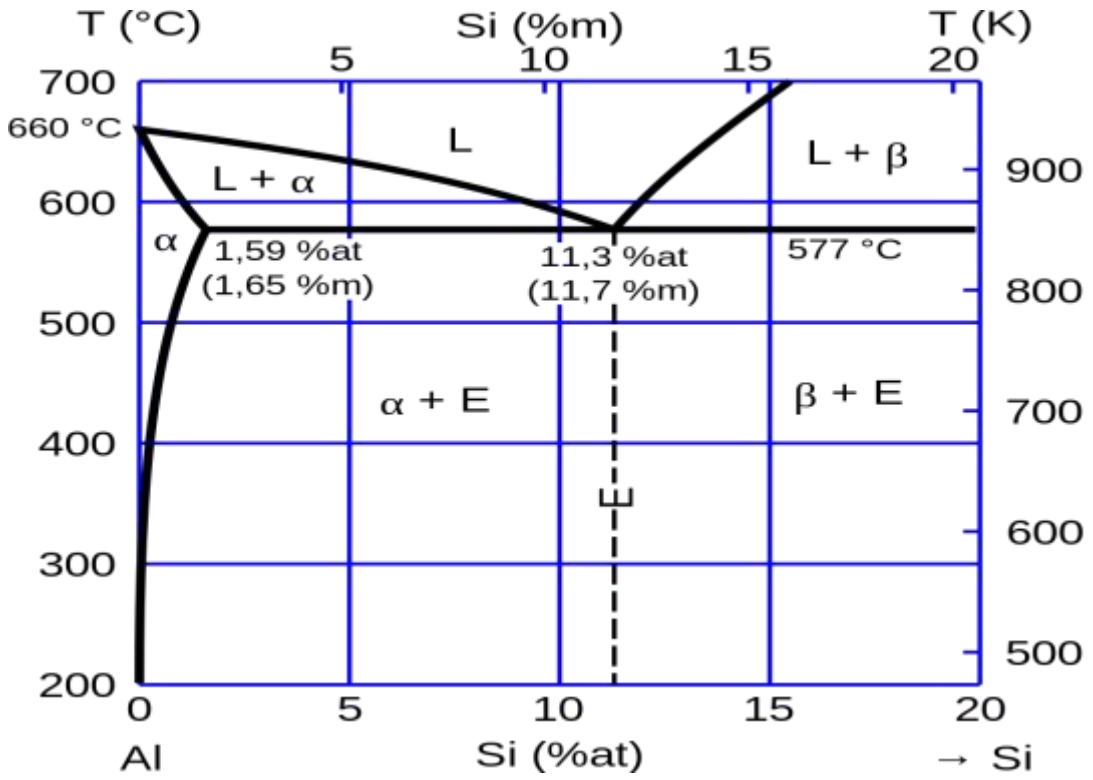


Figure IV.2: Diagramme binaire al si [13]

IV.2 Température de la coulée

Plus la température de coulée est élevée plus la température de moule augment et plus il se dilate. [12]

Dans le cas d'une surchauffe importante du métal liquide coulé la solidification est retardée et

IV.4 La coulabilité

Se produit dans une empreinte légèrement agrandie.

Inversement lorsque l'on coule à une température plus basse le moule se dilate moins.

La valeur du retrait tend donc a diminues lorsque pour un alliage déterminé la température de coulé augmente c'est la toutefois un facteur de faible importance [12]

IV.3 Température inutile du moule

Ce facteur s'inscrit dans le processus précédent en ce qu'il agit sur la démontions de l'empreinte au moment de la solidification [12]

Est une propriété d'un alliage destiné à la fonderie défini comme étant l'aptitude de l'alliage à remplir correctement une empreinte. [12]

IV.4 .1 Essai de coulabilité

Les phénomènes physiques sont nombreux et difficilement paramétrables, bien que des solutions de simulation numériques commencent à voir le jour. On a encore souvent recours aux essais de coulabilité réalisés dans les mêmes conditions que la coulée de la pièce pour apprécier cette propriété.

On utilise une éprouvette normalisée en colimaçon de section triangulaire, le résultat s'exprime en longueur de spirale mesurée en cm. Ce résultat via une approche empirique permet de concevoir les moules.

En général plus l'intervalle de température de solidification est important (différence entre la température de liquides et de solidus de l'alliage), moins bonne est la coulabilité. [12]

IV.5 L'abortion aluminium

Hoopes (1901) a la première idée du raffinage par électrolyse ignée ; Betts (1905) pose le principe du raffinage électrolytique à trois couches. Hoopes, Frary et Edwards (1922) réalisent une cuve à raffinage à fond anodique en charbon ; les parois latérales sont en électrolyte, solidifié par une ceinture en tôle à circulation d'eau ; la couche inférieure est constituée par un alliage anodique aluminium-cuivre ; au-dessus est un bain de cryolithe avec 40 p. 100 de fluorure de baryum contenant 2 à 3 p. 100 d'alumine en solution, sur lequel flotte l'aluminium raffiné ; la température de marche est voisine de 1 000 ^{0}C. Le procédé n'a jamais atteint l'échelle industrielle.

C'est en 1932 que Gadeau met au point le procédé industriel de raffinage, en adoptant un bain chloro-fluoré, qui permet une marche à 750 ^{0}C et admet des cuves à parois latérales isolantes en briques de magnésie, qui seraient attaquées par la cryolithe à 1 000 ^{0}C, mais ne le sont pas à 750 ^{0}C par un bain à 60 p. 100 de chlorures.

Ce procédé à permis la production industrielle d'aluminium raffiné, titrant plus de 99,99 p. 100 d'Al. Le métal le plus pur obtenu titre 99,999 p. 100.

Dans le procédé Pechiney de raffinage électrolytique de l'aluminium, les trois couches sont constituées de la façon suivante [12]

IV.5.1 Affinage et modification des alliages d'aluminium

L'affinage et la modification, largement utilisés en fonderie gravité des alliages d'aluminium, sont très rarement utilisés en fonderie sous pression, sauf pour des alliages haut de gamme (bas fer). On rappelle ici brièvement le principe et l'impact de l'affinage et de la modification en moulage gravité et son intérêt potentiel en fonderie sous pression. [12]

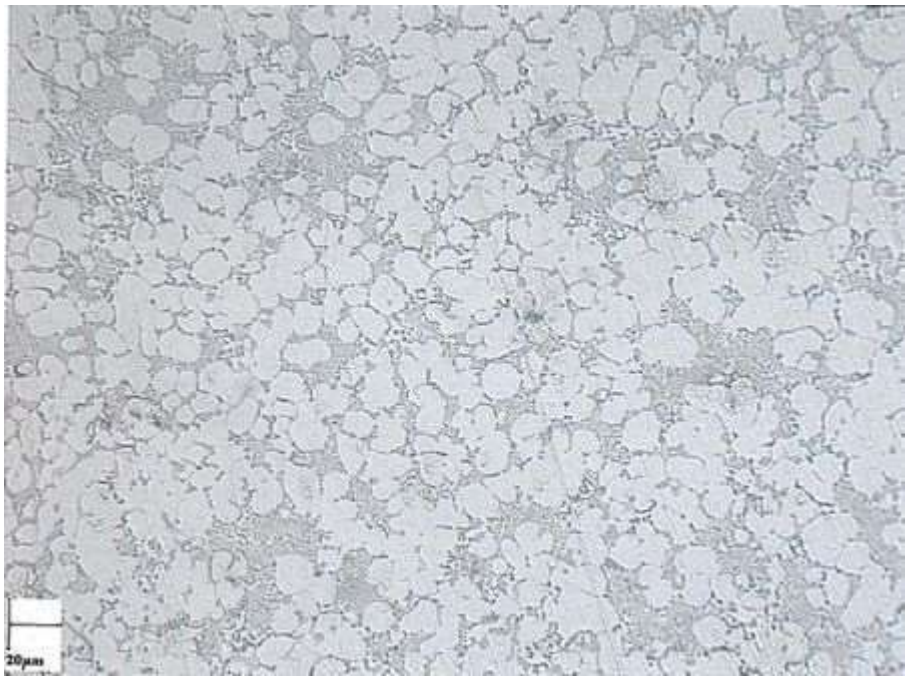


Figure IV.3: Image de la microscopie d'aluminium [12]

.

IV.5.1.1 Contexte

L'affinage et la modification sont des traitements courants en moulage gravité (sable et coquille) des alliages d'aluminium de type AlSi7Mg (A356 et A357). [12]

IV.5.1.2 Principe de ces traitements

Rappelons brièvement le principe de ces 2 traitements.

Pour plus de détails, on consultera avantageusement l'ouvrage des E.T.I.F. , Les alliages d'aluminium moulé [12]

IV.5.1.3 Principe de l'Affinage

L'affinage consiste à réduire la taille des grains par ajout dans le bain d'éléments affinant

(germes de solidification) de type titane et bore. On utilise pour cela de l'alliage mère ajouté à l'alliage liquide. Les baguettes d'AlTi5B sont les plus couramment utilisées. [12]

IV.5.1.4 Principe de la Modification

La modification a pour objectif de modifier la forme du silicium eutectique (de lamellaire à aciculaire) par ajout d'éléments modifiant (sodium, strontium, antimoine). Le silicium a alors une structure dite fibreuse.

Le sodium, très efficace, mais qui s'évanouit rapidement dans le temps est de plus en plus remplacé par le strontium (40 à 100 ppm), moins fugace. L'antimoine, pour sa part, a un effet permanent, mais est nocif pour la santé et pour ces raisons à tendance à être de moins en moins utilisé. Il est d'ailleurs interdit en Amérique du Nord et risque de l'être en Europe avec la directive REACH.

La modification permet de disperser les retassures en micro-retassures, moins nocives sur les propriétés mécaniques de la pièce **[12]**

IV.5.2 Écrouissage

'écrouissage d'un métal est le durcissement d'un métal sous l'effet de sa déformation plastique (définitive)[1]. Ce mécanisme de durcissement explique en grande partie les différences entre les pièces métalliques obtenues par corroyage (c'est-à-dire par déformation plastique : laminage, tréfilage, forgeage) et les pièces de fonderie.

L'écrouissage ne se produit que sur les matériaux ductiles et dans le domaine plastique.

Il ne concerne donc que les métaux, à l'exclusion des matières plastiques, des élastomères, des verres et des céramiques. Par ailleurs, ce phénomène est restreint aux métaux :

- non-fragiles : cela exclut les métaux à basse température (en dessous de la température de transition fragile-ductile) et les métaux non-plastifiables (par exemple les aciers martensitiques et certaines fontes) ;
- ne présentant pas de comportement rhéologique : cela exclut les vitesses de déformation très lentes (fluage) et les applications à haute température.

L'écrouissage correspond aux modifications que subit le métal lorsque les contraintes qui lui sont appliquées sont suffisamment fortes pour provoquer des déformations plastiques, permanentes. Ces modifications sont d'ordre métallurgique (modification de la structure interne du métal) et ont généralement une influence sur ses propriétés mécaniques. [12]

IV.6 Défauts de fonderie

Les défauts de fonderie liés à la solidification et au refroidissement des pièces appartiennent aux types suivants [12]

- Retassures
- Criques
- Tensions internes
- Piqures et soufflures
- Mal venues

IV.6.1 Retassures

Les retassures sont de cavité situées en profondeur ou en surface des masses métallique elles résultent des variations inégales de volume de métal entre le début et la fin de la solidification.

Il existe deux types de retassure qui ne sont en fait que deux échelles différentes du défaut [12]

IV.6.1.1 Retassure majeures

Elles sont ouvertes ou fermées déchiquetées ou non et résiliente la contraction de solidification [12]

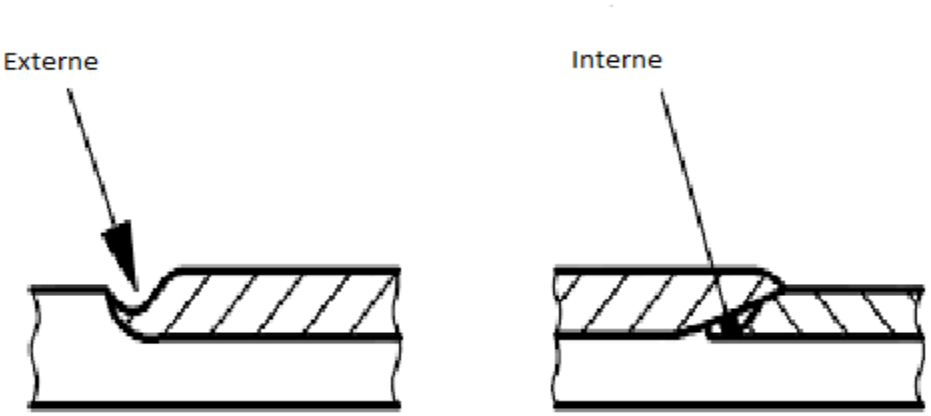


Figure IV.4 : les deux types de retassure [12]

IV.6.1.2 Micro retassure

Elles sont situées entre les dendrites à l'endroit où a lieu la solidification du dernies liquide. Elles sont constituées par d'innombrables petites cavités inter-dendritiques ménagées : soit par la contraction de celui-ci [12]

Elles ont une influence néfaste sur les caractéristiques mécanique (fig.)



Figure IV.5 : Impact des retassures sur les propriétés mécaniques [12]

IV.6.2 Criques

Les Criques sont des ruptures partielles qui se produisent à température élevées lorsqu'il reste encore une petite quantité de liquide entre les dendrites ces ruptures se produisent sous l'action d'efforts transmis au métal et résultant d'inégalités de retrait ou de la moule (fig.) [12]

IV.6.3 Tensions internes

Les contraintes que prennent naissance dans le moule dans la période que suit immédiatement la solidification provoquent des criques ainsi qu'on l'a vu dans le paragraphe précédent. [12]

Elles ne donnent pas naissance comme on pourrait le croire à des tensions internes car les métaux possèdent à haute température une capacité de déformation importante.

En sorte qui les pièces qu'ente échappé aux criques ne gardent en général aucune trace des contraintes auxquelles elles ont été soumises en fin de solidification.

En fait les tensions internes apparaissent à températures plus basse. Elles sont provoquées par : [12]

- ✓ Des inégalités dans li refroidissement qui résultent des formes de la pièce
- ✓ Une gêne au retrait provoquée par un démoulage tardif
- ✓ Des transformations du métal à l'état solide

IV.6.4 Piqures et soufflures

Les piqures et soufflures sont des défauts d'origine gazeuse des bulles de plus ou moins grandes dimensions sont incluses dans le métal [12]

On donne le nom de piqures à celles dont le taille est inférieure à 2 mm

- ✓ Soufflures dues au métal
- ✓ Soufflures dues à la coulée
- ✓ Soufflures dues au moule [12]

IV.6.5 Mal venues

On appelle (mal venues) toute solution de continuité dans pièce moulée. Ce défaut est du à un remplissage incomplet du moule par le métal liquide [12]

Les causes peuvent être les suivantes :

- ✓ Métal Tromp froid
- ✓ Mauvaise coulabilité du métal
- ✓ Interruption de la coulée
- ✓ Coulée trop lente
- ✓ Métal oxydé
- ✓ Système d'alimentation défectueux
- ✓ Manque de tirage d'air du moule
- ✓ Moule trop froid
- ✓ Epaisseurs de pièce trop faibles

IV.6.6 Porosité

La **porosité** est l'ensemble des vides (pores) d'un matériau solide, ces vides sont remplis par des fluides (liquide ou gaz). C'est une grandeur physique entre 0 et 1 ou en pourcentage entre 0 et 100%, qui conditionnent les capacités d'écoulement et de rétention d'un substrat (voir aussi Loi de Darcy).

La porosité est aussi une valeur numérique définie comme le rapport entre le volume des vides et le volume total d'un milieu poreux.

IV.6.6.1 Type de porosité

- ✓ Salon la forme et l'origine des proses
- ✓ Salon la talles des proses
- ✓ Porosité et exploitation de ressource souterraines
- ✓ Les roches poreuses

IV.7Testez la pièce de coulée

IV.7.1Coulée par gravite Dans ce cas, nous avons versé le métal fondu directement sur l'empreinte du moule et nous sommes arrivés à la (figure 6)



Figure IV.6 : la réalisation de pièce par gravité

IV.7.2 Coulée par injection sous pression

Notez que la pièce n'est pas formée pour durcir le métal à l'intérieur de la gaine de la différence de température



(a)



(b)

Figure IV 7:(a) et (b) Schéma la pièce coulée par injection

Méthode 2

Afin de conserver la chaleur du plomb et de conserver son état liquide, nous avons chauffé le Moule jusqu'au point de fusion du plomb afin que nous puissions l'injecter en (figure8)



Figure IV.8: schéma la pièce finel

Conclusion générale

Le moulage en coquille est un procédé très important pour obtenir des pièces colées à l'aide d'un moule métallique dans ce travail, nous sommes intéressés à la réalisation d'une mini-machine d'injection aluminium pour la réalisation d'une pièce de médaille.

Dans ce travaille nous essayons de réaliser un plan de développer la machine d'injection qui existe à l'université de Médéa

J'essaye de changer la machine pour obtenir une machine d'injection d'aluminium et cela se réalise en utilisant un programme solidworks et de fabriquer le moule et réaliser la pièce

, on a encre à l'aide du logiciel solidworks la pièce et le moule .on a aussi utilisé comworks pour fabriques le moule. Le programme généré par camworks est utilisé dans la machine cnc.

Finalement, après plusieurs tests ont réalisé la pièce. Il reste perceptive d'améliorer la qualité la pièce et réduire les défauts

Bibliographie

[1]: Jean-Marcel MASSON (Fonderie et moulage de l'acier- Évolution des procédés d'élaboration) 10 juin 2005

[2]: Robert PORTALIER (Fonderie et moulage des alliages d''aluminium) 10 juil. 1990

[3]:Rob THOMPSON design , les procédés de fabrication « vial » 10/2012

[4]: A. Ricordeau et C. Corbet ,(Dossier de technologie de construction), Castella ,« 2007 »,

[a]: G. Facy, M. Pompidou (Précis de fonderie : méthodologie, production et normalisation), « Afnor » 01/12/1992

[b]: L. Giai-Brueri (Fonderie – éléments fondamentaux), « Dunod » 1983

[5]: James and John Knapton is article incorporates text from a publication now in the public domain: Chambers, Ephraim, edCyclopædia, or an Universal Dictionary of Arts and Sciences (1728).

[6]: Jump up^ S. Doroudiani and H. Omidian. "Environmental, health and safety concerns of decorative mouldings made of expanded polystyrene in buildings", Building and Environment (2010) 45, pp. 647-654.

[7]: Jump up^ Chisholm, Hugh, ed. (1911). "Cyma". Encyclopædia Britannica. **7** (11th ed.). Cambridge University Press. p. 690.

[8] : Refining grain structure and porosity of an aluminium alloy with intensive melt shearing – Y. Zuo*, H. Li, M. Xia, B. Jiang, G.M. Scamans, Z. Fan LiME (EPSRC Centre for Innovative Manufacturing in Liquid Metal Engineering), BCAST, Brunel University, Uxbridge, Middlesex, UB8 3PH, UK.

[9] ^ Brandolese A.,Brugger G.,Garetti M.,Misul M., Analisi dei sistemi di produzione manufatturiera, Finanza, Marketing e Produzione, anno III, 1985

[10] Solidification Processing, McGraw-Hill Book Company. M.C. Flemings.

[11] LOUNES Abdelaali , MEGHSEL Mohamed, Projet de Fin d'Etude « Réalisation de la commande d'une Mini-machine d'injection plastique »2015-2016

[12] commission nationale de la formation professionnelle (TECHNOLOGIE DE LA FONDERIE EN MOULES METALLIQUES) « paris » 1975 P 29…37

[13] Thomas R, (A Manual for the Chemical Analysis of Metals) « Dulski TR » 1996

[14]Olivier Le Frapper (Auteur) Frédéric Lenesley Jean-Yves Gouez (Auteur) (SolidWorks 2017 Conception détaillée de pièces et d'assemblages 3D) (broché**)** 12 avril 2017