

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA. Bejaïa
Faculté de Technologie
Département de Génie Mécanique

Mémoire de fin d'études

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

Option : Conception Mécanique & Productique

Thème

Etude et fabrication d'un moule métallique de
fonderie d'aluminium

Réalisé par :

M^r BELLILI Toufik

Examiné par:

M^r. HADJOU. M

M^r. BOUTAANI. S

Dirigé par :

M^r. BELAMRI.A

Président

Examineur

Promotion 2015/2016

Remerciements

En premier lieu nous tenons à manifester nos louanges à Dieu le tout puissant par aisance et excellence, de nous avoir donné la force et la patience de réaliser ce travail.

Nous tenons particulièrement à remercier chaleureusement notre promoteur Mr BELAMRI pour nous avoir accompagné toute au long de ce travail, pour son guide.

Nous adressons nos remerciements à

Mr HADJOU.M de nous avoir fait l'honneur de présider le jury et d'évaluer ce travail.

Nous remercions Mr BOUTAANI d'avoir accepté de juger ce travail.

Nous tenons à remercier également Mr le Chef de département de génie mécanique et tous les enseignants qui ont contribué à notre cycle de formation et aussi tout le personnel du Hall de Technologie (Rachid, Abdellah, et d'autres) pour leur serviabilité.

Nous tenons à formuler notre gratitude et nos profondes reconnaissances à l'égard de nos parents pour leurs soutiens durant nos études.

A tous les amis (es) qui n'ont pas hésité à nous donner leurs aides.

Enfin on ne peut oublier de remercier tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

Je remercie dieu de m'avoir donné le courage et la volonté tout au long de mon cursus.

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents ;

Mes grands mères et Mes grands pères

Mes frères ;

Mes sœurs

Mes cousins ; Mes cousines ; Mes tantes ; Mes oncles

Toute la famille BELLILI

*Mes amis (es) : AOUCHE Said, NAIT ARAB Sofiane, ADNANE Ryad,
Karim*

Tous les gens qui m'ont soutenu durant mes études.

*Ainsi je dédie ce travail à la promotion MASTER II Conception mécanique et
productique (2015-2016)*

✧ *Toufik* ✧

Chapitre I : La fonderie

I.1. Introduction	1
I.2. La fonderie	2
I.2.1. Définition	2
I.2.2. Différents type de fonderie.....	2
2.3. Contextes de l'étude et positionnement.....	2
I.2.3.1. Contextes socio-économiques de l'industrie de la fonderie	2
I.2.3.2. Description technologique du procédé de fonderie	4
I.2.3.3. Quelques exemples des pièces de fonderie d'aluminium	4
I.3.1 Historique	8
I. 3.2. Fabrication d'aluminium	8
I.3.2.1. Production d'alumine	8
I.3.2.2. Production de l'aluminium.....	8
I.3.3 Principales caractéristiques d'aluminium.....	9
I.3.4 Types d'alliages d'aluminium utilisés dans la fonderie	9

Chapitre II: Le moulage.

II. Introduction	11
II.1. Définition	11
II.2. Types de moulage	12
II.2.1. Moulages en moules permanents.....	12
II.2.1.1 Moulage en coquille	13
I.2.1.2 Moulage basse pression	16
II.2.1.3 Moulage en coulée continue	17
a) Description du procédé	17
b) Caractéristiques du procédé [1]	18
II.2.2.Moulage en moule non permanent.....	18
II.2.2.1 Moulage en sable	19
a) Définition :	19
b) Principales étapes du procédé du moulage en sable	20
c). Caractéristiques du procédé	21
II.2.2.2 Moulage en cire perdue.....	22
a). Définition	22
b). Principe de moulage à la cire perdue	22

C). Caractéristiques du procédé.....	23
a). Avantages	24
b) Inconvénients	24
II.4. Le matériau utilisé pour la fabrication des moules métalliques	24
II.5. La constitution du moule.....	25

Chapitre III: Les fours

III.1.Introduction	26
III.2.Généralités.....	26
III.3.Définition d'un four	26
III.4.Fonctionnement :.....	27
III.5.Différents types de fours	27
III.6.Définition d'un four à creuset	29

Chapitre IV : Fabrication

IV.1.Introduction	31
IV.2. Paramètres de coupe.....	31
IV.2 .1 Les formules de coupe :.....	31
i. Fréquence rotation de la broche	31
IV.3. Gammes d'usinage	33
IV.4. Parc machines du hall technologie de l'université de Bejaïa.....	40
IV.4 .1. Le tour	40
IV.4 .2.Fraisage	41
IV.4.2.1.Différents types de fraises.....	41
IV.5. Usinage des pièces	42
IV.5.1. Les étapes de fabrication des pièces	42
IV.5.2. Les deux matrices (bloc).....	42
conclusion.....	48

Chapitre I

Fig I.1 Exemple de fonderie en sable à gauche et en métal à droite	2
Fig. I.2 Répartition de la production mondiale des pièces moulées en million de tonnes	3
Fig. I.3 Pièces moulées en aluminium	4
Fig. I.4 Lingots d'aluminium	5
Fig. I.5. Le four	5
Fig. I.6. La louche	5
Fig. I.7. Le moule	5
Fig. I.8. L'enduit blanc	6
Fig. I.9. Technique de fonderie d'aluminium.....	6
Fig. I.10. Les lingots d'aluminium utilisés dans les fonderies.....	8

Chapitre II

Fig II.1 Les types de moulage	11
Fig II.2 Exemple de coquille	13
Fig II.3 Principales étapes du procédé de moulage en coquille	14
Fig II.4 Pièces moulées par gravité	15
Fig II.5 Pièces moulées a basse pression	17
Fig II.6 Schéma de la machine de coulée continue horizontale	18
Fig II.7 Principe du moulage en sable	19
Fig II.8 Principales étapes du procédé de moulage au sable	21
Fig II.9 Principales étapes du procédé de moulage à la cire perdue	23

Chapitre III

Fig. III.1. Four à creuset	27
----------------------------------	----

Chapitre IV

Fig. IV.1. Principe de l'usinage	31
Fig. IV.2. Tour conventionnel SN 40C	40
Fig. IV.5. Fraiseuse conventionnelle almo FH 1.6.....	41
Fig. IV.6. Différents types de fraises	42
Fig. IV.7. Découpage de la matière première avec une scie mécanique.....	42
Fig. IV.8. Fixation de la pièce	43
Fig. IV.9. Surfaçage de la pièce	44

Liste des figures

Fig. IV.10. Finition du bloc de moule	44
Fig. IV.11. Nos deux pièces assemblées	45
Fig. IV.12. Notre plaque après l'usinage de la rainure	45
Fig. IV.13. Notre plaque après l'usinage de l'empreinte	46
Fig. IV.14. Notre moule final	47
Fig. IV.15. Notre logot final	47

Introduction

Le travail présenté dans ce document s'inscrit dans le cadre de la conception et la fabrication de pièces moulées et plus particulièrement dans une optique d'intégration des connaissances du métier de la fonderie au sein du processus de conception. Comme pour les autres industries, le développement de produits pour la fonderie a dû répondre au triptyque : augmentation de la productivité, baisse des coûts, contrôle de la qualité. La réalisation de cet objectif triple passe par la maîtrise technique du procédé dans son ensemble, de la conception de la pièce à couler jusqu'à la réalisation des outillages. Or il n'existe actuellement aucune méthodologie qui puisse diriger efficacement l'ensemble des étapes nécessaires à la fabrication des pièces de fonderie.

En effet, le processus de conception en fonderie est un processus complexe dans le sens où il fait intervenir des acteurs de métiers ou d'expertises variés, et surtout ce procédé nécessite de nombreux bouclages de conception : par exemple entre la pièce telle que le concepteur la dimensionne et la pièce telle que le fondeur peut la produire, ou encore entre la pièce effectivement fabriquable et les outillages associés. Ces bouclages inévitables mais coûteux doivent donc être réduits le plus possible.

Il manque donc aux entreprises de fonderie une méthodologie et un cadre formel (support informatique) qui puissent leur permettre de réaliser la conception complète d'une pièce et de ses outillages tout en réduisant le plus possible les bouclages.

En plus de cette introduction ce mémoire comporte quatre chapitres :

- Le premier chapitre est réservé à la fonderie son utilisation dans l'industrie et sur l'aluminium et ses alliages.
- Le second chapitre est consacré au moulage, et aux types de moulage existant dans l'industrie et la constitution du moule de fonderie d'aluminium.
- Le troisième chapitre sur les fours de fonderie d'aluminium et le principe de leurs fonctionnements et les types de fours qui existent dans l'industrie.
- Le dernier chapitre sur les différentes étapes de fabrication du moule et la coulée de la pièce
- Conclusion générale
- Ce mémoire se termine par une liste de références bibliographiques.

I.1. Introduction

L'élaboration des alliages métalliques est depuis des siècles une préoccupation importante des hommes afin de réaliser des outils, des armes ainsi que des objets de décoration. Pour cette élaboration, des procédés de fonderie et de métallurgie de poudre ont été développés qui sont encore aujourd'hui très largement utilisés.

La fonderie consiste à couler l'alliage liquide dans un moule afin de lui donner la forme souhaitée et l'on sait jouer sur les conditions de solidification afin de contrôler au moins dans une certaine mesure les propriétés de la pièce obtenue.

Les techniques employées dépendent de l'alliage fondu, des dimensions, des caractéristiques et des quantités de pièces à produire. C'est une industrie de sous-traitance très dépendante des secteurs acquéreurs : automobile, sidérurgie, matériels de manutention, équipements industriels, matériels électriques, etc.

Les matériaux en général et les métaux en particulier prennent une place importante dans tout développement industriel progrès technologique. Vu les exigences de l'industrie moderne, nombreux programmes de recherche sont en route pour le développement d'autres matériaux plus performants et moins coûteux tels que les composites, les céramiques, les polymères...etc. Mais les alliages métalliques occupent toujours une place importante, car les caractéristiques de ces derniers s'améliorent de jour en jour grâce aux recherches.

Les constructeurs apprécient l'aluminium pour sa légèreté, ses qualités mécaniques et son caractère écologique. La haute qualité de surface, une fois décapée ou anodisée, lui donne un atout supplémentaire. L'aluminium peut être recyclé sans perte de qualité.[1]

I.2. La fonderie

I.2.1. Définition

La fonderie consiste à couler de l'aluminium en fusion dans un moule pour Obtenir, après solidification, une pièce dont les formes reproduisent celles du Moule. Du fait qu'elles mettent en forme le métal liquide, les industries de la Fonderie doivent maîtriser deux technologies essentielles : la fusion des métaux et Leurs alliages ainsi que le moulage. [8] Elle intègre également la fonderie des métaux non ferreux dont particulièrement :[4]

- l'aluminium et autres alliages légers
- le cuivre et alliages
- le zinc et alliages

I.2.2. Différents type de fonderie

On distingue principalement la fonderie effectuée avec des moules dits non permanents en sable et la fonderie avec des moules permanents en métal

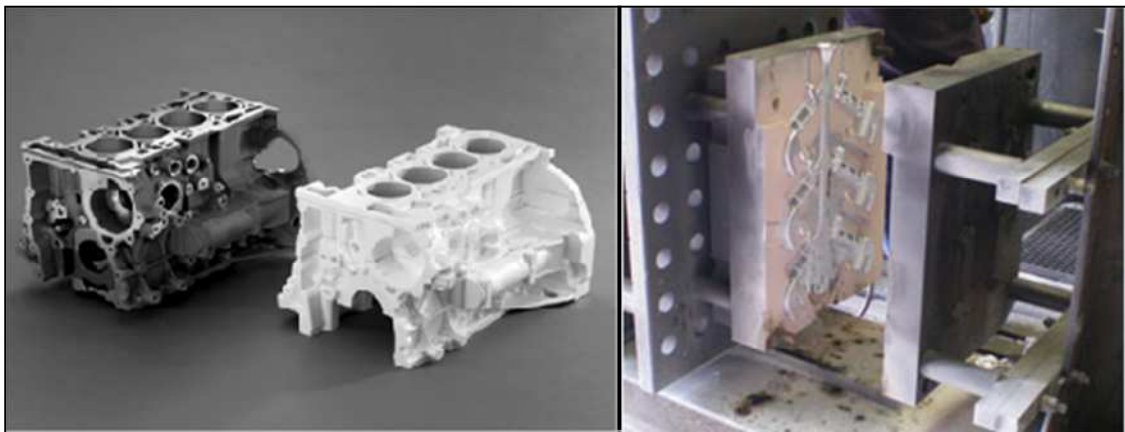


Fig. I.1.Exemple de fonderie en sable à gauche et en métal à droite [3]

2.3. Contextes de l'étude et positionnement

I.2.3.1. Contextes socio-économiques de l'industrie de la fonderie

L'image populaire de la fonderie de ce début de XXIème siècle est celle d'une industrie agonisante dont l'appareil de production est vieillissant. Cette vision trouve ses racines dans la période 1975-1995 où, suite aux deux principaux chocs pétroliers, les entreprises ont dû mener des mutations et restructurations successives se soldant souvent par la fermeture de plusieurs sites de productions. Si cette image perdure, la situation économique actuelle réelle est différente et bien plus nuancée que cette vision simpliste. [2]

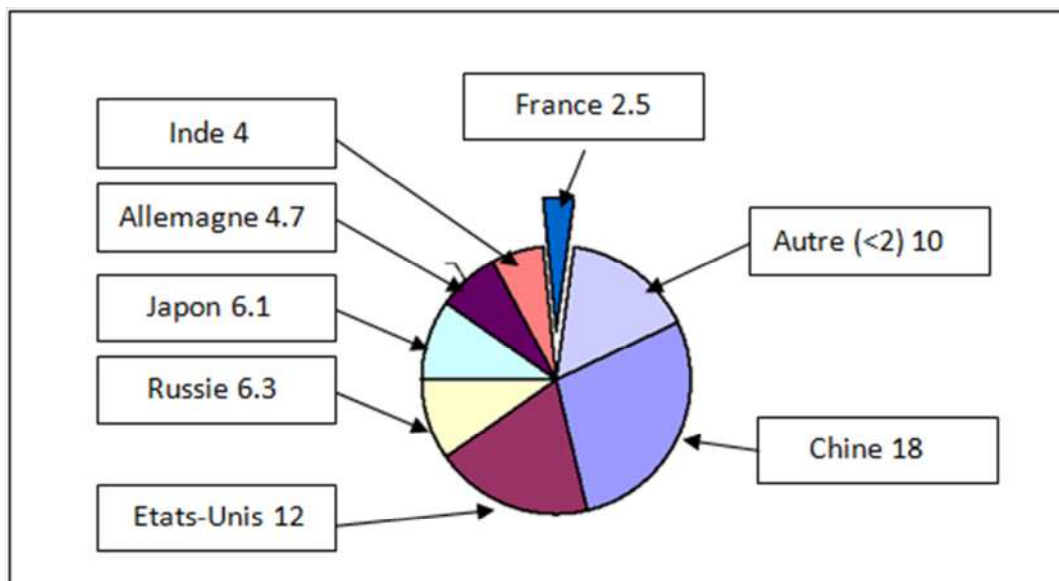


Fig. I.2.Répartition de la production mondiale des pièces moulées en million de tonnes [2]

Si l'on considère simplement les chiffres pour la France en juillet 2005 pour l'année 2004, [Fondeurs 2005] certains indicateurs décrivent une industrie effectivement au ralenti : 12 fermetures d'établissement en un an, 1000 emplois en moins et une baisse de 0.8% d'exportations. Néanmoins, d'autres indicateurs montrent que la fonderie en France constitue encore une industrie de poids avec un fort potentiel. Ainsi, à l'heure actuelle, la fonderie française avec 498 établissements, 48000 employés et 5.2 milliards d'euros de chiffre d'affaire, est au 2ème rang européen et au 7ème rang mondial

Enfin, la fonderie ne se contente plus de fabriquer des produits bruts mais s'investit dans la conception de sous-ensembles complexes pour le compte d'autres industries (ferroviaire, agricole, travaux publics, navale, aéronautique, automobile, militaire, nucléaire...). C'est une évolution des relations commerciales du type donneur d'ordre / sous-traitant de produits intermédiaires vers le type partenaires de conception de produits finis.

Afin de maintenir l'avance technologique, bénéfice de plusieurs années d'expertise accumulées sur le métier et que ne possèdent pas encore les nouveaux concurrents. La problématique d'intégration des outils et des méthodes devient alors une préoccupation centrale pour la fonderie française qui, si elle veut perdurer dans ce contexte difficile, doit continuer son évolution technique, commerciale et économique [2].

I.2.3.2. Description technologique du procédé de fonderie

La définition encyclopédique du procédé de fonderie : "La fonderie est un des procédés de formage des métaux. Il consiste à couler un alliage liquide dans un moule reproduisant une pièce donnée (formes extérieures et intérieures).", recouvre bien sûr plusieurs procédés de fabrication très différents et ayant chacun leurs spécificités. Afin de les dénombrer, on peut effectuer plusieurs classifications par permanence ou matière du moule, pression de service, mode de coulée etc.

Les trois principaux procédés de fonderies "classiques" décrits ci-après (le moulage coquille, le moulage au sable, le moulage à la cire perdue) constituent la grande majorité des procédés employés actuellement. Cette description paraîtra simpliste pour qui connaît déjà la fonderie, mais permettra pour les autres de fixer les termes techniques élémentaires employés dans ce document et nécessaires à la compréhension des travaux qui y sont développés[2].

I.2.3.3. Quelques exemples des pièces de fonderie d'aluminium

Fig. I.3.Pièces moulées en aluminium[6]

I.2.3.4.L'outillage d'une fonderie d'aluminium

Les figures suivantes montres les différents outillages de fonderie aluminium :

- la matière première (aluminium)
- Le four
- la louche
- le moule
- l'enduit (blanche, noire)



Fig. I.4.lingot de l'aluminium



Fig. I.5.le four



Fig. I.6.La louche



Fig. I.7 le moule



Fig. I.8.L'enduit blanc

I.2.3.5. Vocabulaire technique utilisé en fonderie

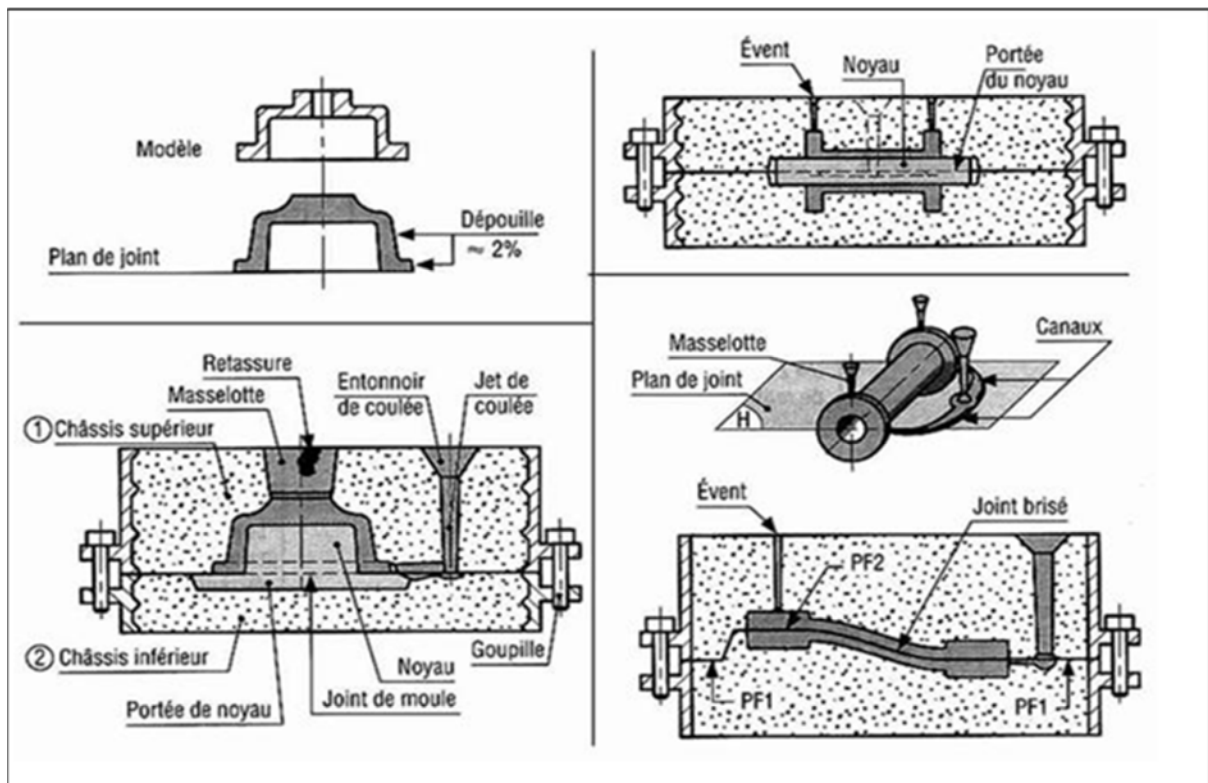


Fig. I.9.Technique de fonderie d'aluminium

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

Moule : Corps suffisamment solide et façonné pour recevoir un métal ou un alliage en fusion (fonderie en moule permanent).

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

Dépouille : Elle est prévue sur le modèle afin de l'extraire sans provoquer l'effritement du sable lors de sa sortie.

Masselotte : Excédent de matière qui permet de déplacer la retassure hors de la pièce.

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

Joint de moule (plan de joint) : Séparation entre les châssis. Une pièce peut être réalisée avec plusieurs châssis donc plusieurs plans de joint.

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

Event : Canal destiné à faciliter l'échappement des gaz formés au moment où le métal chaud entre en contact avec la surface de l'empreinte (en incluant l'air présent dans le moule).

Décochage : Opération qui consiste à libérer la pièce du moule lorsque le métal est solidifié.

Ebarbage : Opération qui permet d'enlever les différentes parties superflues (canaux d'alimentation, masselottes, évents ...) pour obtenir la pièce brute.

Chape : Tout châssis intermédiaire entre le châssis supérieur et le châssis inférieur.

I.3. Généralités sur l'aluminium [5]



Fig. I.10. Les lingots d'aluminium utilisés dans les fonderies[5]

I.3.1 Historique

La première apparition de l'aluminium était en 1854 lors d'une présentation à l'académie des sciences par le chimiste français Sainte-Claire Deville, sous la forme d'un lingot. Cette pièce avait été obtenue par voie chimique. En 1886 il y'a eu l'invention du procédé d'électrolyse l'aluminium par Paul Héroult (France) et Charles Martin Hall (USA). Depuis, l'aluminium a connu un développement très important grâce notamment à son utilisation dans les industries ayant attrait au transport: aviation, automobile, marine .Il est aussi employée dans l'emballage, le bâtiment, l'électricité, la mécanique...

I. 3.2. Fabrication d'aluminium

L'aluminium est un métal très répandu sur la terre, c'est le troisième élément après l'oxygène et le silicium. Les bauxites qui sont des roches riches en aluminium.

I.3.2.1. Production d'alumine

La bauxite est le minerai le plus utilisé pour obtenir de l'alumine, matière intermédiaire nécessaire à la fabrication de l'aluminium. La bauxite contient de 40 à 60% d'oxyde d'aluminium hydraté mélangé à de la silice et à de l'oxyde de fer.

I.3.2.2. Production de l'aluminium

L'aluminium est produit par électrolyse de l'alumine dans de la cryolithe (Na_3AlF_6) fondue, à environ 1000°C dans une cuve comportant un garnissage intérieur en carbone. L'aluminium se dépose au fond de la cuve avec un titre de 99,7% (les principales impuretés étant le fer et le silicium). Plusieurs procédés de raffinage permettent d'obtenir un titre plus élevé sachant que pour fabriquer une tonne d'aluminium, il faut deux tonnes d'alumine et quatre tonnes de bauxite.

I.3.3 Principales caractéristiques d'aluminium

En tonnage, la production d'aluminium ne représente que 2% environ de celle des aciers. Cependant, ce métal et ses alliages arrivent en seconde position dans l'utilisation des matériaux métalliques. L'aluminium doit cette place à un ensemble de propriétés qui en font un matériau remarquable. L'aluminium et ses alliages prennent encore aujourd'hui une place importante dans les différents domaines de l'industrie. Son utilisation s'accroît de jour en jour grâce à ses propriétés particulières.

I.3.4 Types d'alliages d'aluminium utilisés dans la fonderie

L'aluminium pur ne présente que peu d'intérêt, car ses propriétés physico-chimiques sont médiocres. Ses alliages, eux, sont des matériaux de choix dans des secteurs comme l'aéronautique et l'automobile.

On distingue deux grandes classes d'alliages d'aluminium :

a) les alliages corroyés : produits obtenus par des procédés de déformation plastique à chaud ou à froid tels que le filage, le laminage

b) les alliages de moulage : obtenus par fonderie seulement, on trouve :

- **Les alliages Al-Si :** ce sont numériquement et industriellement les plus importants parmi les alliages moulés.

Exemple : Al-Si 13 : alpac : bonne coulabilité, utilisé pour la fabrication de blocs et carters de moteur et de boîte de vitesse, appareillage électrique, cycle, bâtiment.

- **Alliages Al-Cu :** Ces alliages présentent :
 - une aptitude au moulage variable mais assez médiocre
 - une résistance à la corrosion insuffisante en milieu agressif marin
 - une bonne usinabilité

Exemple : Al-Cu5MgTi : caractéristiques mécaniques les plus élevées (statique, endurance, fatigue). Utilisation: aéronautique, armement, véhicules divers

- **Alliages Al-Zn**

Alliages autotrempants.

➤ **Alliages Al-Mg :**

- usinage facile
- bonne aptitude à l'anodisation
- bel aspect après polissage
- excellente tenue à la corrosion atmosphérique ou marine

➤ **Alliages Al-Mn :**

Température de début de fusion élevée

➤ **Alliages Al-Sn :**

Utilisé pour les coussinets et pièces de frottements

➤ **Autres éléments d'alliage :**

Aluminium Titane, Lithium : permet d'alléger les structures à résistance égale

II. Introduction

Le moulage est un des plus anciens procédés de mise en forme des métaux. Son utilisation remonte à environ 5000 ans av. J.-C. Cette technique est largement utilisée à travers le monde de nos jours, avec une production mondiale de plus de 90 millions de tonnes en 2011, tous métaux confondus (environ 85000 tonnes en Suisse). Les pièces produites couvrent une vaste gamme de taille et de masse, allant des dents qui composent les fermetures-éclair aux hélices de navires. Les nombreux alliages utilisés permettent d'obtenir des propriétés physiques et mécaniques très variées. Parmi les avantages de cette méthode, citons la possibilité de produire des pièces à géométrie complexe, un coût de production faible, très peu de pertes de matière lors de la production, et une adaptation aisée à la production de masse. Quelques désavantages sont l'état de surface et les tolérances des pièces obtenues, souvent moins bonnes qu'avec d'autres méthodes, ainsi que des questions relatives à la protection de l'environnement, dus aux rejets et aux pollutions que peuvent générer les fonderies.

Après explication des concepts de base entrant en jeu, nous présentons les principales méthodes de moulage ainsi que les caractéristiques des pièces obtenues. Nous terminons par une étude de coût de production d'une pièce réalisée par une de ces techniques. [3]

II.1. Définition

Le moulage des métaux consiste à verser du métal fondu dans un moule réalisé selon la pièce à produire, à le laisser solidifier puis à récupérer la pièce de métal. Pour une bonne compréhension du procédé, quelques principes physiques entrant en jeu doivent être compris. Il s'agit essentiellement du flux de métal lors du remplissage du moule, de la solidification et du refroidissement du métal et de l'influence du matériau qui constitue le moule. [3]

Les étapes du moulage semblent simples :

1. Fondre le métal
2. Le verser dans le moule
3. Le laisser refroidir

II.2. Types de moulage

La figure ci-dessous illustre les différents types de moulage existant :

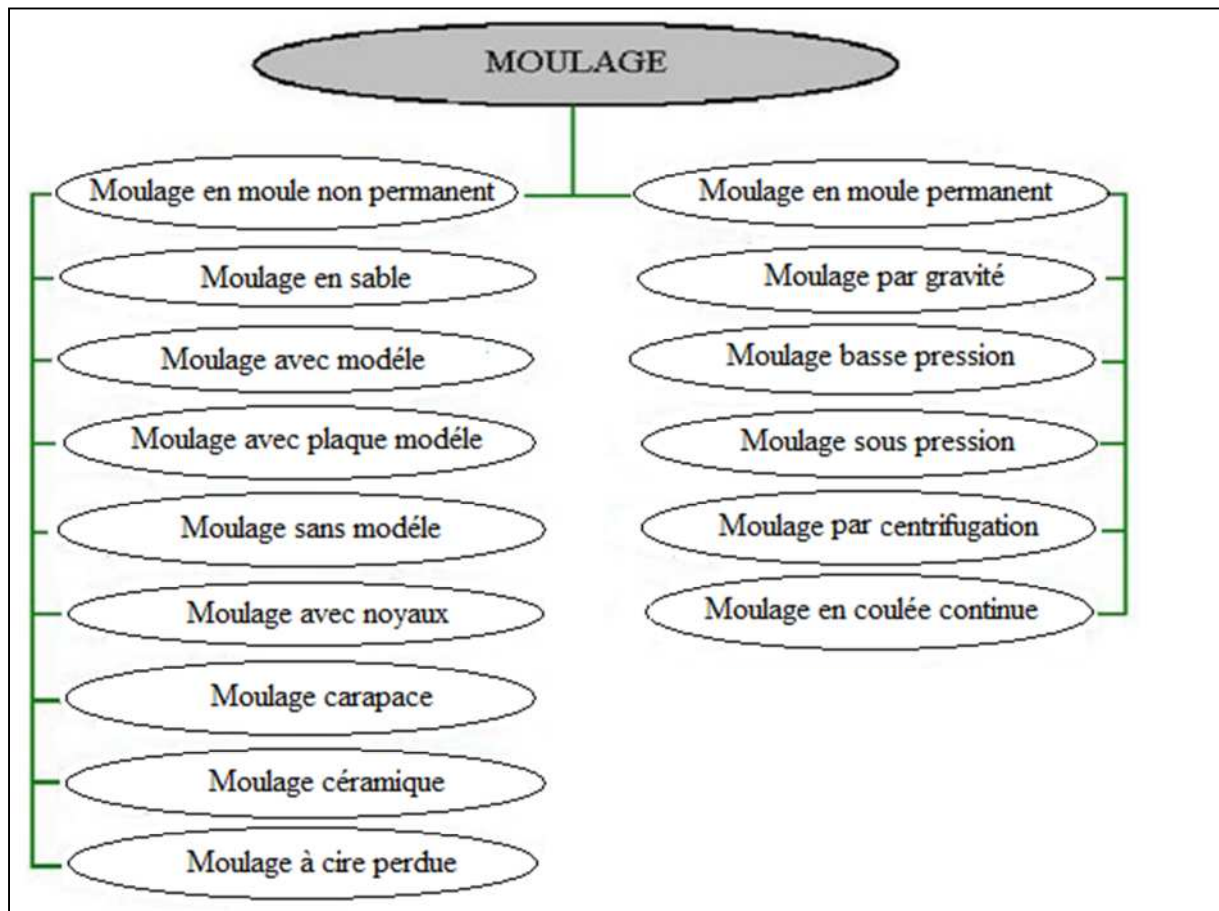


Fig. II.1. Les types de moulage [1]

II.2.1. Moulages en moules permanents

Les techniques de moulages en moules permanents se basent sur l'utilisation des moules en métal généralement en acier ou en fonte. Les deux méthodes principales entrant dans cette catégorie se différencient par la manière dont le moule est rempli de métal fondu. Il peut être versé, remplissant le moule par gravité, ou injecté sous pression. Il existe également d'autres méthodes de moulage en moules permanents, comme le moulage par centrifugation. Ces méthodes sont caractérisées par un faible coût de production, mais un investissement initial important. Elles conviennent donc particulièrement à la production de grandes séries.

L'utilisation de moules en métal restreint le choix des alliages pouvant y être coulés à ceux dont le point de fusion est inférieur à celui du métal du moule. Les plus courants

sont les alliages de zinc, cuivre, aluminium ou magnésium, mais également les aciers et les fontes, suivant le moule utilisé.

Les pièces obtenues sont précises, grâce à la grande rigidité du moule et présentent de bons états de surface. [3]

II.2.1.1 Moulage en coquille

On appelle coquille (**fig. II.2**) un moule métallique divisé en deux parties suivant le plan de joint et contenant une ou plusieurs empreintes qui lui donnent des formes extérieures. Pour l'obtention des formes intérieures, les trous, les orifices, On coule directement le métal liquide à l'aide d'une louche ou d'une petite poche de coulée par gravité dans l'empreinte du moule métallique qui peut comporter ou non des noyaux métalliques ou destructibles suivant les pièces à fabriquer et leur complexité. [1]

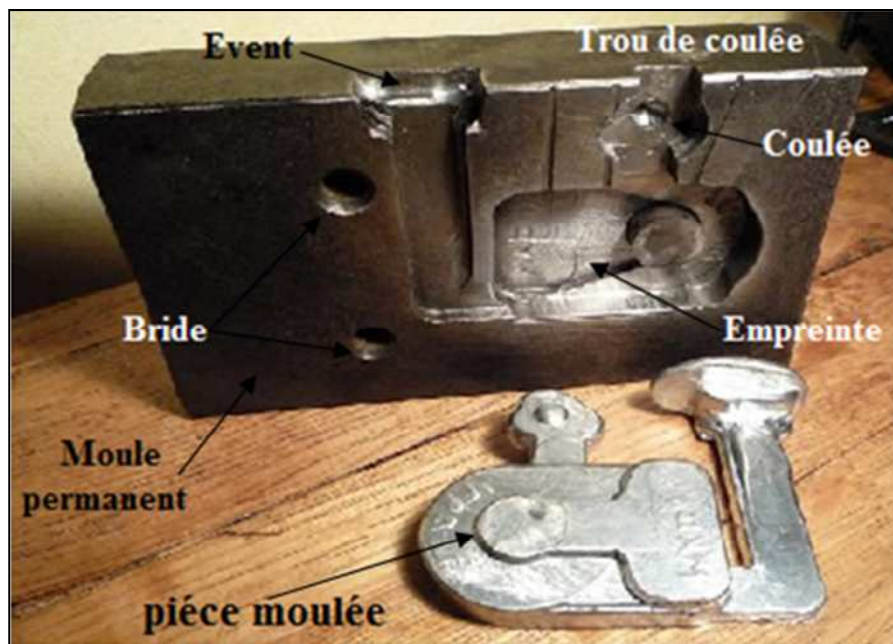


Fig. II.2. Exemple de coquille [2]

a) Principe du moulage en coquille :

Le moulage en coquille (**Figure II.3**) est un procédé de fonderie utilisant un moule métallique et une coulée par gravité. C'est le procédé qui est utilisé en général pour les grandes séries. Il est plutôt réservé aux alliages légers à bas points de fusion (alliages d'aluminium, zinc...) car la coulée dans les moules de pièces dont la température de fusion est trop élevée provoque la dégradation rapide des éléments du moule.

Le procédé se décompose comme suit. Les matrices du moule (a), préalablement usinées, moulées ou obtenues par Electro Erosion par Enfonçage sont préparées à la coulée du métal par chauffage (application d'un revêtement sur l'empreinte afin d'éviter le collage des pièces) puis assemblées (b). La mise et le maintien en position sont en général assurés par des actionneurs pneumatiques. La coulée est alors réalisée (c). La conductivité et la capacité thermique du métal étant importantes, la vitesse de refroidissement de l'alliage dans le moule est très élevée. La solidification a donc lieu très rapidement et les matrices sont séparées (d). La pièce avec les reliquats du système de remplissage et d'alimentation forme alors une grappe (e) qu'il conviendra d'extraire puis d'ébarber (f). Le cycle reprend ensuite. [2]

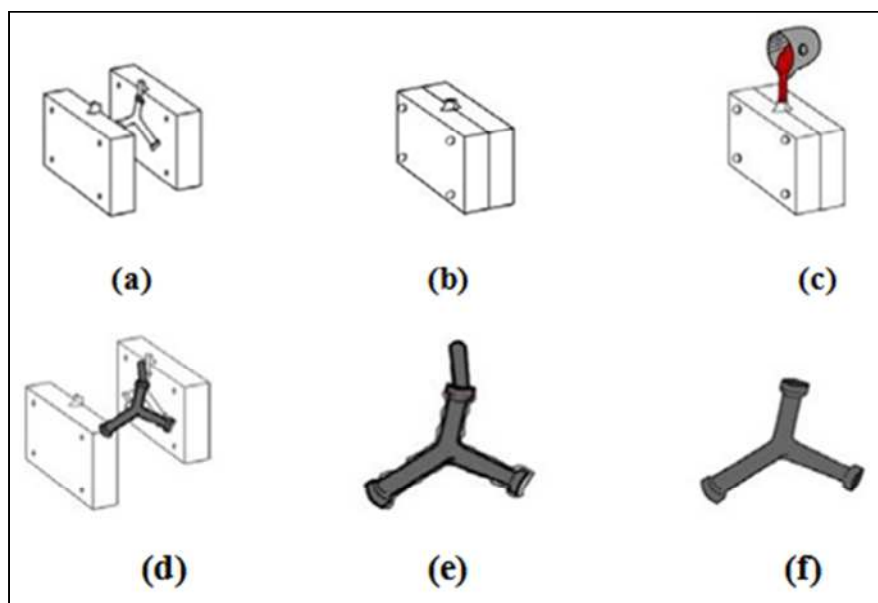


Fig. II.3. Principales étapes du procédé de moulage en coquille, (a) : matrices de moule, (b) : assemblage, (c) réalisation de la coulée, (d) : séparation des matrices, (e) : formeur de grappe (f) : d'extraire puis d'ébarber [2]

b) Caractéristiques du procédé [1] :

Pour mieux définir ce procédé, on peut donner les avantages techniques qu'il apporte par rapport au moulage en moules non permanents. Pour cela, il faut considérer que la permanence du moule, imposant les métaux comme matériaux constitutifs, entraîne les caractéristiques suivantes d'une coquille :

- rigidité de l'empreinte ;
- grande précision dimensionnelle et d'état de surface des éléments moulants ;

- conductibilité thermique élevée des mêmes éléments (l'utilisation de noyaux en sable aggloméré est possible puisque la charge métallo-statique est la même qu'en moules non permanents, par contre ces noyaux ont une conductibilité thermique différente que le reste du moule). Il en découle donc pour les pièces moulées en coquille : -un bon état de surface : il faut noter cependant que celui-ci n'est pas la réplique exacte de l'empreinte métallique puisque cette empreinte est recouverte d'un enduit protecteur qui affecte l'état de surface de la pièce ; - des bonnes caractéristiques mécaniques : conséquence de la vitesse de refroidissement et de solidification plus élevée de l'alliage ; -génération des contraintes résiduelles à l'état brut de coulée qui demandent un traitement thermique de stabilisation de la pièce ; -une grande précision dimensionnelle résultant de la rigidité de la coquille et les moyens d'usinage utilisés pour la fabrication de celle-ci.

Certaines formes habituellement usinées sont obtenues brutes de moulage comme les trous de fixation et les surfaces d'appui des têtes de vis en particulier. On peut noter aussi une réduction générale des surépaisseurs d'usinage.

- Exemple de pièces moulées par gravité :



Fig. II.4. Pièces moulées par gravité [2]

I.2.1.2 Moulage basse pression

Le moule est placé directement sur le four de coulé. L'alliage liquide contenu dans un creuset étanche en graphite est refoulé dans le moule par une pression d'air comprimé ou d'azote appliquée sur la surface du métal. Le métal monte dans le tube d'injection réfractaire et pénètre dans le moule par un trou de coulée situé à la partie inférieure du moule. La pression est maintenue pendant tout le temps de la solidification de la pièce puis, au moment où l'on relâche la pression, tout le métal resté liquide dans le tube d'injection redescend dans le four, Les moules sont généralement métalliques, mais les faibles pressions qui ne dépassent pas 0,1 MPa, et qui sont de l'ordre de 40 à 60 KPa pour des pièces en aluminium par exemple, autorisent l'emploi de moules et de noyaux en sable aggloméré. [1]

a) Caractéristiques du procédé

Ce procédé permet :

- de supprimer pratiquement la nécessité des masselottes ;
- des cadences peuvent être plus élevées (de l'ordre du double des cadences de moulage en coquille par gravité), d'où une plus grande productivité ;
- des caractéristiques des alliages sont améliorées de 10% environ et on peut traiter thermiquement les pièces;
- une précision dimensionnelle des pièces est très bonne.
- une automatisation facile, en mécanisant tous les déplacements et toutes les opérations, et qui résout de façon élégante la mécanisation de la coulée, toujours difficile à réaliser en coquille par gravité. [1]

- Exemple de pièces moulées à basse pression :



Fig. II.5. Pièces moulées à basse pression [2]

II.2.1.3 Moulage en coulée continue

a) Description du procédé

Après fusion et traitement éventuel dans un four de maintien, le métal liquide est coulé dans une filière ou une coquille, refroidie par circulation d'eau, ayant la forme du profil à fabriquer. A la sortie de cette filière, une couche solidifiée assure la tenue de l'ensemble jusqu'à la fin de la solidification. La pellicule d'alliage solidifiée, d'épaisseur contrôlée, présente un certain retrait lors de sa solidification, ce qui facilite son décollement de la coquille, alors que le métal au centre du profilé est encore liquide, formant une sorte de V plus ou moins effilé. La barre profilée, totalement solidifiée à une distance également réglée à partir de la coquille (longueur de V), est tirée au moyen de galets commandés qui servent également de guides pour soutenir la barre encore chaude en la maintenant rectiligne, l'extraction des barres peut se faire à vitesse constante ou par à-coups. Après solidification, et toujours en continu, les barres sont tronçonnées à la longueur voulue, voir la (figure II.6). [1]

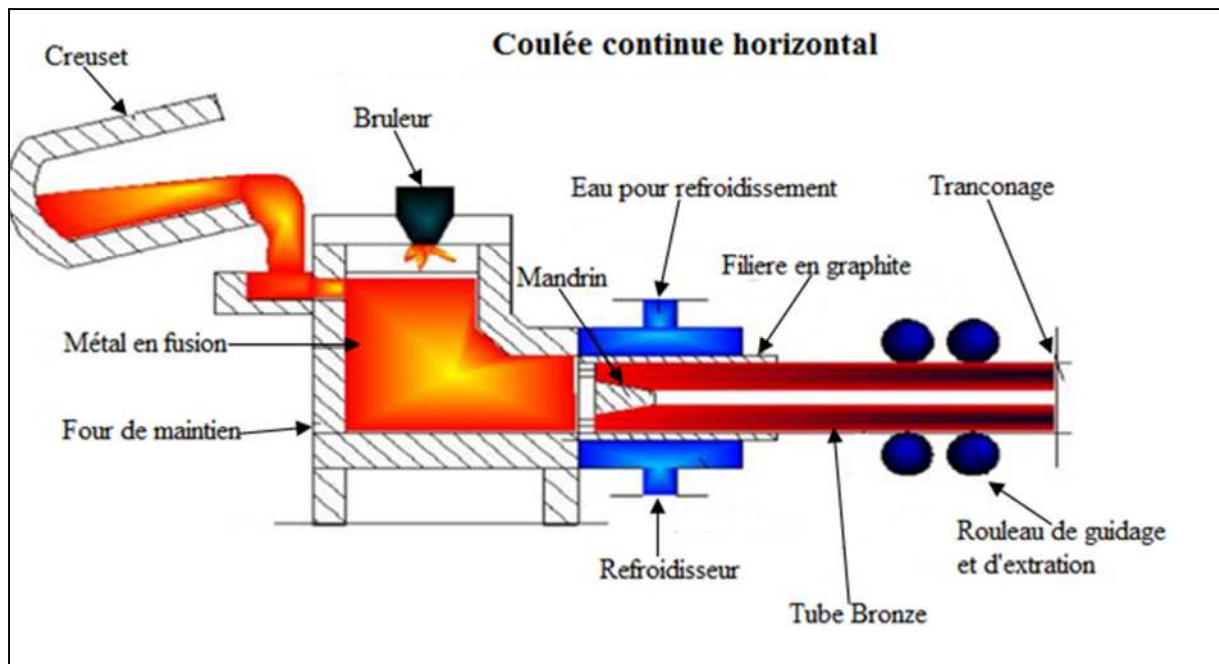


Fig. II.6. Schéma de machine de coulée continue horizontale [1]

b) Caractéristiques du procédé [1]

Le moulage en coulée continue est un procédé très performant, fiable, très productif qui permet des productions de qualité mais qui demande beaucoup de soin dans la mise au point et, dans la fabrication, une gestion et de contrôles rigoureux de tous les paramètres de production pour obtention d'une qualité totale des produits. Ce type de moulage présente des nombreuses caractéristiques, on peut citer :

- ce procédé permet d'obtenir des profils de bel aspect, facilement usinables, avec des cotes précises, et des caractéristiques mécaniques élevées.
- la longueur des barres n'est pas limitée ;
- sur le plan métallurgique, le refroidissement rapide, joint à l'influence de la pression fer statique dans le creuset.

II.2.2. Moulage en moule non permanent

Moule non-permanent est un moule qui ne sert qu'une seule fois, pour réaliser une pièce. Pour chaque pièce brute de coulée produite, le moule est détruit.

La structure d'un moule non permanent est principalement réalisée avec des matériaux de moulage, composée d'une ou de plusieurs parties et offrant après assemblage un évidement appelé empreinte. Cette empreinte correspond à la future pièce brute, tout en tenant compte du système d'attaque, du système d'alimentation et du retrait à l'état solide. Les formes intérieures des pièces sont généralement données par des noyaux, qui sont des éléments de

moule réalisés séparément avec un outillage spécial, cette structure est désagrégée (décochage) pour extraire la pièce brute solidaire du système de remplissage et du système de masselotte, la réalisation d'une autre pièce conduise à la fabrication d'un autre moule. Les techniques les plus employées sont le moulage au sable et la cire perdue. [1]

II.2.2.1 Moulage en sable

a) Définition :

C'est l'un des procédés les plus courants du moulage des métaux et qui consiste à utiliser un modèle en métal, ou en bois pour former une empreinte en tassant un sable relativement fin, additionné d'un liant, afin d'obtenir un moule réfractaire.

Le moule se compose de deux parties essentielles:

- Un châssis inférieur rempli du sable dans lequel se trouve en creux la partie principale de l'empreinte du modèle.
- Un châssis supérieur qui sert de couvercle et qui peut aussi contenir une partie de l'empreinte.

Le métal liquide est coulé dans l'empreinte par un trou de coulée aménagé à cet effet. Après solidification par refroidissement naturel, on obtient une pièce ayant la forme de l'empreinte. [1]

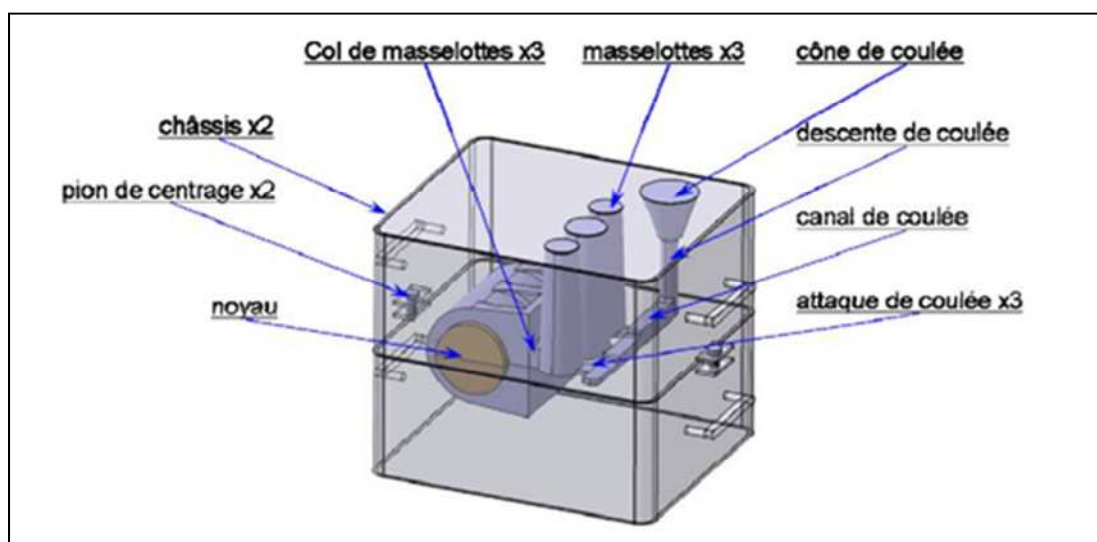


Fig. II.7.Principe du moulage en sable [2]

b) Principales étapes du procédé du moulage en sable

Le moulage en sable (**Figure. II.8**) est un procédé de fonderie utilisant un moule destructible et une coulée par gravité (assez rarement par centrifugation). C'est le procédé qui permet la production des pièces de plus grande taille. Il offre au concepteur plus de liberté que le moulage coquille au niveau de la complexité des formes mais la qualité des surfaces est comparativement plus mauvaise que celle obtenue par les autres procédés présentés ici et sa mise en œuvre est plus complexe. Le procédé se décompose comme suit. Des plaques modèles en bois ou plastiques, répliques partielles de la pièce finale souhaitée sont placées dans des châssis métalliques (a). Relativement à la pièce finale souhaitée, les dimensions des plaques modèles sont augmentées afin de compenser le retrait volumique engendré lors de la solidification du métal. Les formes du système de coulée doivent également être prévues. Le volume restant des châssis est alors rempli (b) avec un sable spécifique (base de silice, argile avec un taux d'humidité contrôlé et éventuellement des additifs chimiques ou liants). Suivant la nature du sable utilisé, un compactage manuel ou mécanique est effectué (sable à vert) ou une réaction chimique de durcissement aussi appelée prise est déclenchée (sable aggloméré prise chimique à froid ou prise à chaud). Les modèles sont séparés de leur empreinte en sable (c). Les châssis sont ensuite réunis en y insérant éventuellement des noyaux de sable qui permettront de créer les formes intérieures (d). La mise en position des châssis, afin d'avoir les empreintes bien en regard, doit être prévue et on utilise pour cela des pions de centrage. Le maintien en position des châssis est assuré par leur propre masse. Si celle-ci est insuffisante, on ajoute des masses de serrages supplémentaires posées sur le châssis supérieur (e). La coulée est alors réalisée (f). Le flux thermique au contact métal/sable entre l'alliage et le moule étant très faible, la solidification est donc lent. On sépare ensuite les châssis de la pièce en détruisant le sable du moule et du noyau par vibrations (g). Là encore, la grappe récupérée (h) devra être ébarbée puis sablée ou grenaillée afin d'obtenir la pièce brute finale (i). [2]

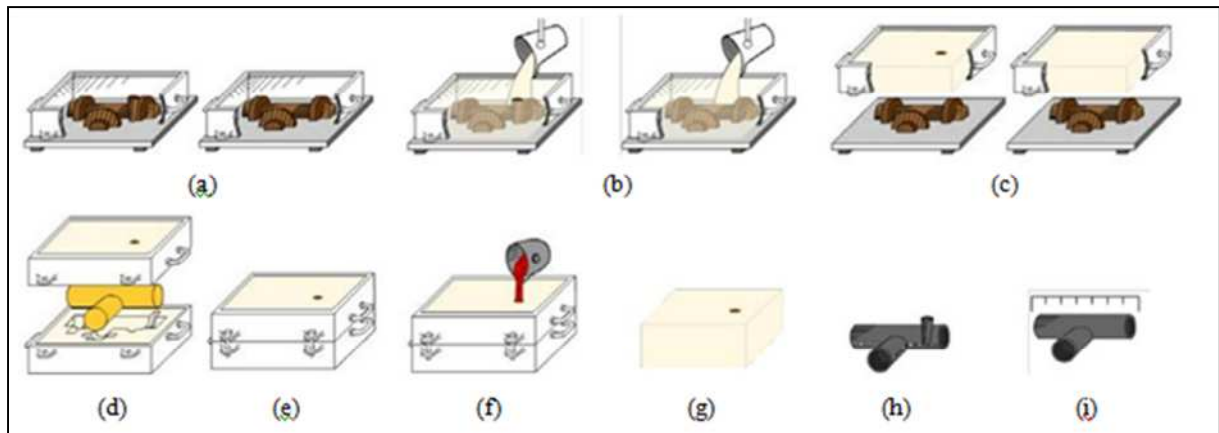


Fig. II.8. Principales étapes du procédé de moulage au sable, (a): châssis métalliques, (b): remplissage de châssis, (c): séparation de modèle, (d): insertion de noyaux de sable, (e): mise en position des châssis : La réalisation de la coulée, (g): détruisant le sable du moule, (h): récupération de la grappe, (i): pièce final [2]

c). Caractéristiques du procédé

1). Le moulage en sable présente les avantages suivants:

- Il peut être utilisé pour des pièces de 150 à 200 tonnes.
- Il permet de réaliser une grande variété de formes.
- On peut couler des métaux ayant une température de fusion dépassant 1100°C.

2). Ce type de moulage comporte les inconvénients suivants:

La surface de la pièce moulée contient du sable, ce qui cause une usure rapide des outils de coupe.

- Les pièces du moulage en sable ont des propriétés mécaniques bien plus faibles que celles du moulage en moule métallique à cause du refroidissement / environnement du métal. Ainsi, aucune direction des grains n'est obtenue et la pièce moulée résiste mal aux efforts de traction et de pliage, c'est pour cela que ce genre de procédés est limité au bloc moteur complexe, aux culasses et toutes pièces généralement creuses.
- Lors du refroidissement, les pièces sont portées à se déformer à cause de la variation des épaisseurs ou du refroidissement inégal.

II.2.2.2 Moulage en cire perdue

a). Définition

La fonderie en cire perdue, parfois appelée fonderie de précision, est une méthode qui ressemble au moulage au sable, mais qui présente l'avantage de réaliser des pièces avec une précision bien meilleure. Le moule est réalisé en céramique à partir de modèles en cire. Des modèles de la pièce à réaliser sont fabriqués en cire, par différentes méthodes suivant l'importance de la série : injection pour des grandes séries, prototypage rapide, moules silicones. Les modèles sont ensuite reliés sous forme de grappes de pièces par des éléments en cire qui représentent les futurs canaux d'alimentation. Cet assemblage est plongé plusieurs fois dans un bain appelé barbotine, puis recouvert de sable réfractaire afin de former une couche suffisamment résistante pour supporter la coulée du métal. L'ensemble est placé dans un four pour éliminer la cire, puis cuire la céramique. Enfin le métal choisi est coulé dans le moule ainsi formé, puis le moule est cassé et les pièces séparées de la grappe. La précision des modèles en cire perdue et la gestion des dilatations dues à la température détermineront la précision de la pièce finie.

b). Principe de moulage à la cire perdue

Le moulage à la cire perdue (**Figure. II.9**) est un procédé de fonderie utilisant un moule céramique destructible et une coulée par gravité. C'est le procédé le plus complexe dans sa mise en œuvre et celui qui est utilisé en général pour les séries de pièces plutôt de petite taille et/ou de formes très complexes. La variété des formes qu'il autorise en fait le procédé de prédilection des artistes. Son coût de revient est élevé mais est contrebalancé par le fait qu'il puisse donner des pièces, c'est-à-dire finies et ne nécessitant pas (ou peu) d'opérations d'usinages supplémentaires. Le procédé se décompose comme suit : dans une matrice d'injection préalablement réalisée, on injecte de la cire liquide (a) qui, une fois solidifiée donnera le modèle de la future pièce. Plusieurs modèles sont en général coulés simultanément sur une grappe. On constitue donc au préalable la grappe en soudant les modèles en cire sur le dispositif de coulée (b). Les grappes sont d'abord trempées dans la barbotine, (liquide base de silice colloïdale, solution hydrolysée de silicate d'éthyle) (c) puis le sable réfractaire est pulvérisé sur les grappes encore humides (d). Après séchage, les opérations (c) et (d) sont recommencées plusieurs fois constituant une carapace céramique autour de la grappe. La cire des modèles est éliminée par fusion dans une étuve (e) Les carapaces sont cuites (f) dans un four à haute température (+ 1 000°C) afin de leur donner des caractéristiques mécaniques leur permettant de résister aux sollicitations lors de la coulée. La

carapace chaude est placée sous le creuset et le métal est coulé (g). Après refroidissement, la carapace en céramique est détruite par vibrations et grenaillage (h). Les pièces sont séparées des barreaux d'alimentation par tronçonnage (i). Les attaques de coulée sont supprimées par meulage (j). La qualité des surfaces de la pièce est généralement telle, qu'elle est directement utilisable.

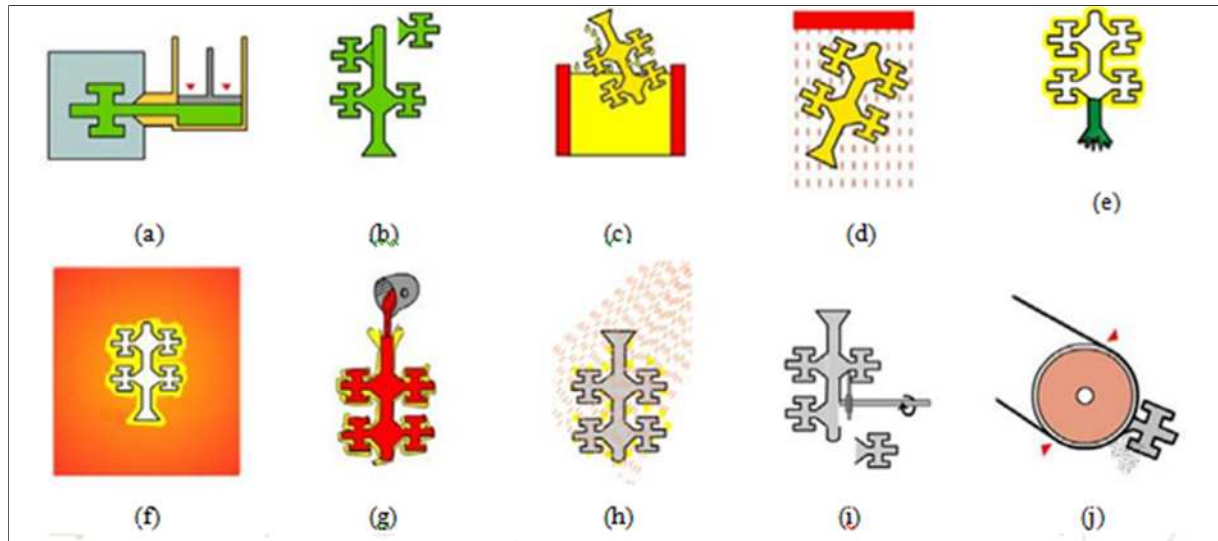


Fig. II.9. Principales étapes du procédé de moulage à la cire perdue, (a) :injection de la cire liquide, (b) :soudé les modèles, (c) :les grappes trempée dans le sable, (d) : pulvérisé le sable réfractaire, (e) :fusion dans une étuve, (f) :les carapaces sont cuites, (g) :placement les carapaces sous le creuset , (h) :refroidissement et détruire les carapaces, (i) :séparation des pièces :supprimer les attaques de coulée [2]

C). Caractéristiques du procédé

L'avantage de ce procédé c'est que ce dernier permet l'obtention de tolérances serrées permettent de minimiser les usinages et donc les coûts. En plus, le choix de matériaux est très varié, y compris des nuances non usinables. En plus, ce procédé possède les propriétés et les avantages suivants :-reproduction de formes complexes avec une grande précision de détail et de taille.

- grande liberté et flexibilité de design, de la pièce simple à la pièce complexe
- précision dimensionnelle accrue, brut de fonderie
- élimination ou forte réduction de l'usinage
- réduction du risque d'inclusion et de craques
- surface de peau excellente, brut de fonderie

- le procédé permet de respecter certaines propriétés métallurgiques telles que la grosseur et l'orientation des grains, ce qui permet d'augmenter la dureté de la pièce et ainsi d'éviter le forgeage

II.3. Avantages et inconvénients du moulage

a). Avantages

- Permet de réaliser des pièces de formes complexes
- Permet de réaliser des formes intérieures et extérieures
- Suivant les procédés de moulage on peut obtenir des pièces dont les dimensions sont plus ou moins proches de la pièce finie
- On peut réaliser des pièces de très grande dimension
- Certains procédés de moulage permettent une production en très grandes séries

b) Inconvénients

Les inconvénients dépendent des procédés de moulage :

- Limitation des propriétés mécaniques des pièces (matériau)
- Faible précision dimensionnelle et mauvais état des surfaces pour certains procédés (ex : moulage en sable)
- Procédés dangereux du fait de la manipulation de métaux en fusion
- Problèmes environnementaux (fumées...)

II.4. Le matériau utilisé pour la fabrication des moules métalliques

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

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.

II.5. La constitution du moule

- 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 traitées thermiquement et peuvent faire l'objet de traitements de surface.
- d'un système d'éjection (pour sortir des pièces) constitué d'éjecteurs et d'une batterie d'éjection (plaque, contreplaque, ...)

III.1.Introduction

Le four de fusion et de maintien au chaud au fuel et gaz peut non seulement être utilisé pour la fusion et le maintien de la température des métaux non ferreux à bas point de fusion comme l'aluminium, le zinc et le cuivre, mais aussi pour la fonte de ferraille d'aluminium et de restes industriels d'aluminium en pièces.

III.2.Généralités

Les fours de fusions de fonderie traitent des métaux déjà élaborés et provenant du traitement de minerais

- Les métaux ferreux
- Les métaux non ferreux

Donc les fours de fonderie sont au moins des fours de deuxième fusion et permettent d'élaborer des alliages métalliques

Le souci d'obtenir ces alliages présentent leurs caractéristiques de fonderie et mécanique optimale implique des conditions d'élaboration et de fusion rigoureuse

Les appareils de fusion doivent permettre le respect de ces conditions. Leurs choix en fonctions de types d'alliage désiré, est déterminant c'est pourquoi ces appareils doivent :

- Réduire le maximum les risques d'oxydation et d'inclusion de gaz dans les alliages.
- Avoir une productivité La plus élevée possible.
- Consommation minimale d'énergie.

III.3.Définition d'un four

Différents moyens de chauffage de fours de fusion utilisables : le gaz, le fuel, le coke et l'électricité notamment.

Dans tous les cas, le four est composé de matériaux réfractaires permettant de l'isoler du milieu ambiant, et contient un creuset en graphite.

Ce creuset est rempli de lingots et de jets, puis porté à une température supérieure à la température de fusion de l'alliage qu'il contient. La régulation de température est effectuée à l'aide de thermocouples placés dans la chambre de chauffe, entre les résistances (cas d'un four électrique) et le creuset. La température de cette chambre est légèrement supérieure à celle du métal contenu dans le creuset.

III.4.Fonctionnement :

Le principe de fonctionnement du four est simple : l'objet à traiter y est enfermé pour être soumis à une source de chaleur provenant de l'intérieur ou de l'extérieur du four. La chaleur à l'intérieur du four peut être répartie par circulation forcée d'air, par convection naturelle, par conduction thermique ou par rayonnement (infrarouge, micro-ondes, etc.).

La source d'énergie pour fournir la chaleur du four peut être :

- un combustible (bois, gaz naturel...)
- l'électricité dans des résistances
- des micro-ondes, avec l'électricité

III.5.Différents types de fours

Le choix d'un four de fusion est un aspect important de l'élaboration d'un procédé de fonderie.

Chaque type de four possède des propriétés qui lui sont propres en ce qui concerne ses besoins en alimentation et ses possibilités d'alliage, qui auront à leur tour des repercussions sur l'ensemble du procédé de fonderie. D'un autre côté, le type de métal à fondre détermine quel four peut ou ne peut pas être utilisé.

On distingue les types suivants :

A) le four à cubilot

C'est un four vertical de type à cuve, dans laquelle les matériaux à fondre sont en contact direct avec le combustible.

B) les fours à creuset

Dans ces fours, le métal à fondre est contenu dans un creuset il se trouve ainsi protégé des flammes et des gaz de la combustion, les creusets sont :

- en fonte ou en acier moule : ils sont résistants et d'un prix peu élevés ils peuvent être suspendus dans l'enceinte de four.
- en graphite ou en carborundum : ils sont réfractaires et leur conductibilité thermique est meilleure que les autres réfractaires.

La forme générale des creusets est cylindrique mais le rapport entre la hauteur et le diamètre est variable suivant l'utilisation et le type d'alliage fondu.

On distingue les types suivants :

B-1) Les fours chauffés électriquement

Les fours électriques présentent de nombreux avantages :

- pertes au feu réduites et constantes ;
- obtention de hautes températures favorables pour amorcer les réactions chimiques d'affinage ;
- régulation plus aisée de la température de bain.

Les fours chauffés électriquement sont divisés en :

- fours à arcs
- fours à induction

B-2) Les fours rotatifs ou oscillants

Ces fours permettent l'élaboration d'alliages spéciaux grâce aux hautes températures atteintes et au brassage du métal.

Le brassage permet l'homogénéisation du bain et favorise l'évacuation des gaz.

La fusion est rapide grâce à la faible inertie thermique de ces fours et leurs rotations qui accélèrent les échanges thermiques.

On distingue :

- fours à flammes;
- fours électriques;

B-3) Les fours chauffés au gaz et au mazoute :

Une enceinte métallique maintient les matériaux réfractaires qui assurent le calorifugeage et entourent, le creuset le bruleur à gaz ou au mazout doit avoir une position bien déterminée par rapport au creuset.

- la flamme du bruleur ne doit pas frapper le creuset afin d'éviter des points chauds locaux ;
- la flamme doit être tangente aux réfractaires de l'enceinte et le creuset est chauffé par convection et rayonnement de réfractaires.

D'autre part le brûleur doit être incliné vers le haut pour éviter une accumulation de gaz dans le fond du four.

III.6.Définition d'un four à creuset

Il s'agit de creusets simples chauffés par l'extérieur grâce aux gaz de combustion provenant de la combustion du gaz ou du mazout, grâce à l'électricité ou, pour des températures inférieures, grâce à un fluide thermique. Le contact direct avec la flamme est évité afin d'empêcher l'apparition locale de points chauds à la base du creuset et de sorte qu'il soit possible de maintenir un bon réglage de la température dans la coulée, pour empêcher l'oxydation et l'évaporation du métal.



Fig. III.1.Four à creuset

A)Avantages :

- technologie simple - peu d'entretien ;
- flexibilité pour ce qui est du changement d'alliage.

B)Inconvénients :

- faible rendement et faible capacité de production.

IV.1.Introduction

On appelle usinage toute opération de mise en forme par enlèvement de matière à l'aide d'une machine-outil destinée à conférer à une pièce des dimensions et un état de surface (écart de forme et rugosité) situés dans un intervalle de tolérance donné, comme s'est illustrée dans la figure .IV.1



Fig. IV.1. Principe de l'usinage

IV.2. Paramètres de coupe

Pour avoir une pièce satisfaisante (bon état de la surface usinée, rapidité de L'usinage,...) on doit régler les paramètres de la coupe.

Il y a plusieurs critères qui permettent de définir les paramètres de la coupe, notamment :

- La puissance de la machine
- La matière usinée (acier, aluminium, bronze.....)
- La matière de l'outil (ARS, carbure, céramique)
- Le type de l'opération (perçage, chariotage, surfaçage, dressage.....)

IV.2 .1Les formules de coupe :

- i. **Fréquence rotation de la broche :** N [tr/min]

$$N = (1000 * V_c) / (\pi * D)$$

- ii. **Vitesse d'avance en Tournage :** v_f [mm/tr]

$$V_f = n * f$$

- iii. **Vitesse d'avance en Fraisage :** v_f [mm/min]

$$V_f = n * f_z * Z$$

iv. Vitesse de coupe : v_c [m/min]

$$V_c = (n * \pi * D) / (1000)$$

D'où :

V_c : vitesse de coupe en m/min.

f : avance par tour en mm/tr (tournage).

f_z : avance par tour en mm/dent (fraisage).

V_f : vitesse d'avance en mm/min.

N : fréquence de rotation en tr/min (notée n dans certains livres).

D : diamètre de l'outil (fraisage).

D : diamètre de la pièce à usiner (tournage).

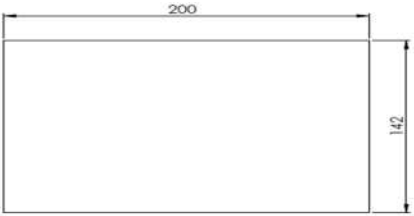
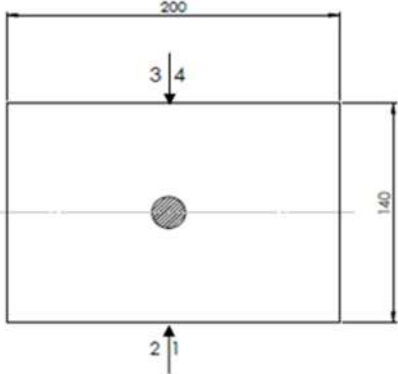
Z : nombre de dents de la fraise.

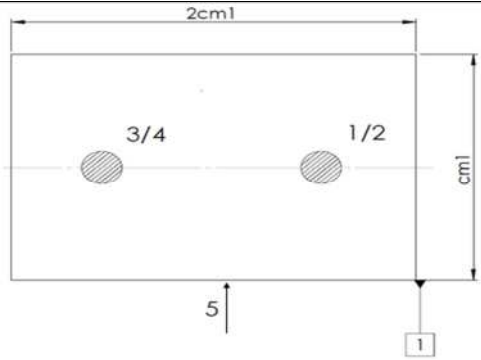
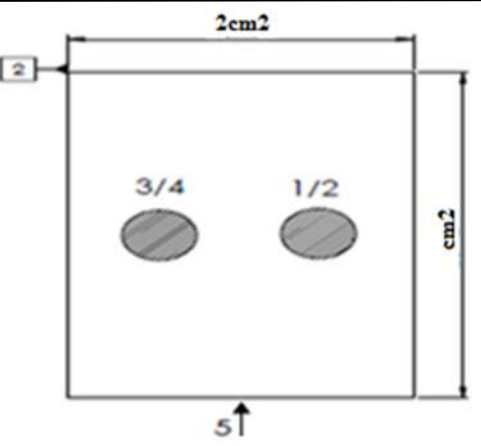
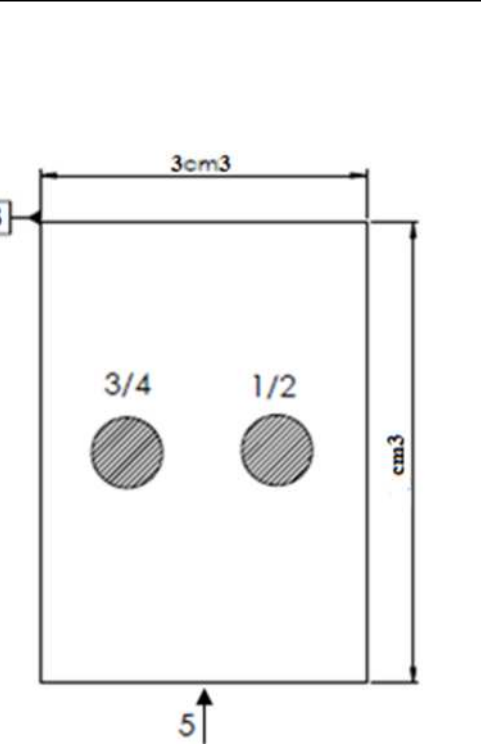
a : profondeur de passe.

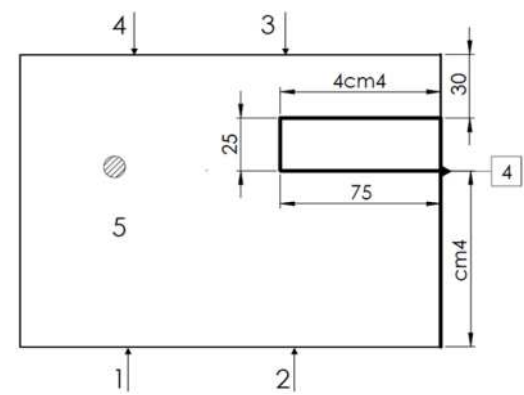
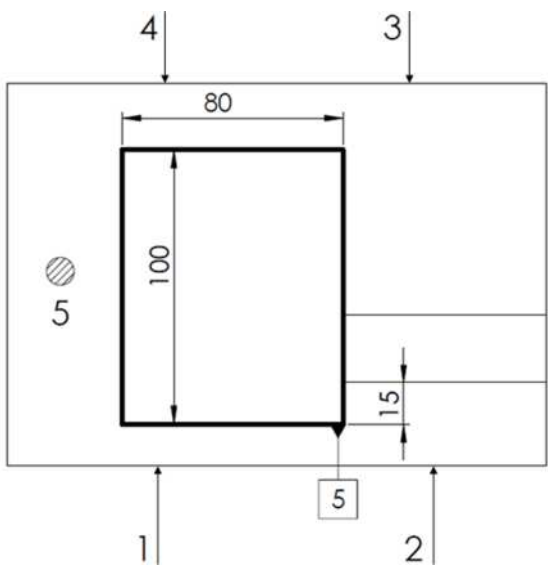
IV.3. Gammes d'usinage

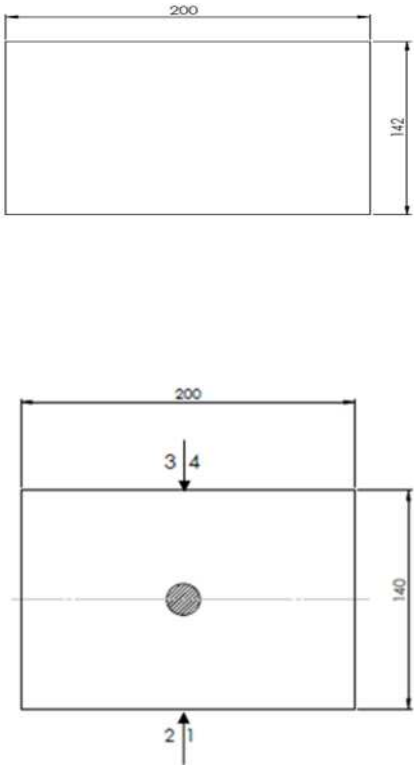
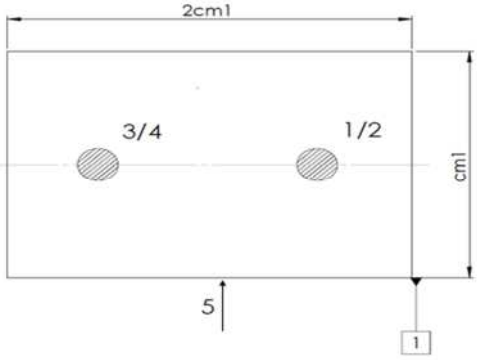
On appelle usinage toute opération de mise en forme par enlèvement de matière destinée à conférer à une pièce des dimensions et un état de surface (écart de forme et rugosité) .

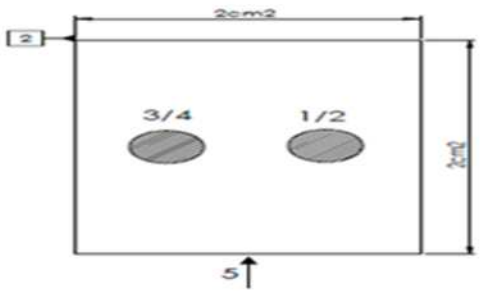
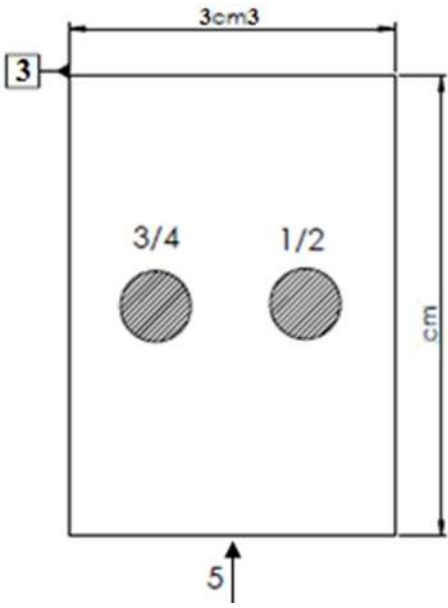
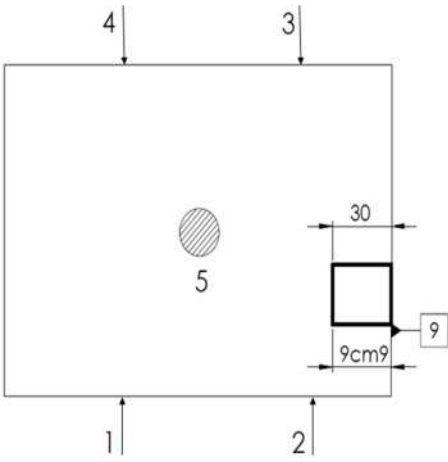
Et nous avons élaboré notre gamme d'usinage suivant le parc machine qui existe au niveau de l'université.


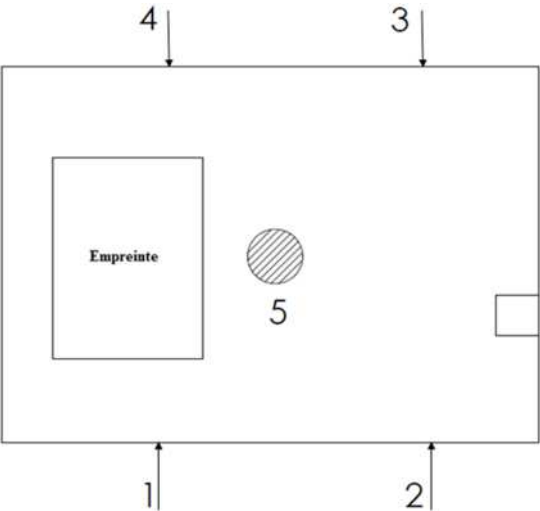
GAMME D'USINAGE					
Ensemble : moule permanent Elément : matrice 01	Nombre : 1 Matière :45Cr Mo4	N° : Pièce 1			
N°	Désignation des phases/ phase opération	Machine	Appareil et outillage	Contrôle	Schémas
100	<u>Contrôle du Brut :</u> Vérifier si le brut est capable de donner le voulu			Réglet	
200	<u>fraisage:</u> Référentiel de mise en position défini par : - fixation de la pièce sur l'étau (1, 2, 3,4et5)	Fraiseuse Conventionnel	Fraise diamètre 160mm		

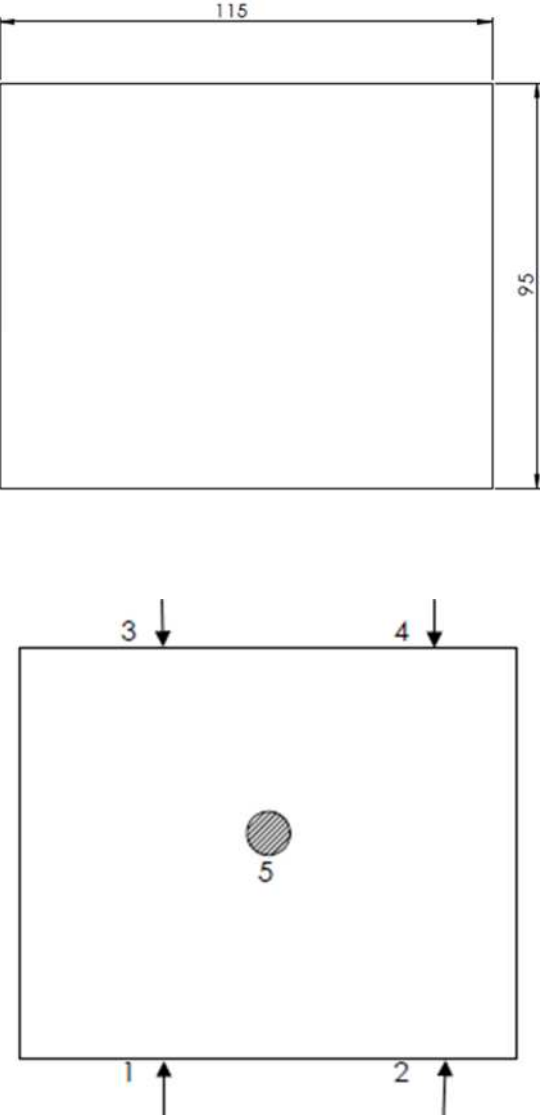
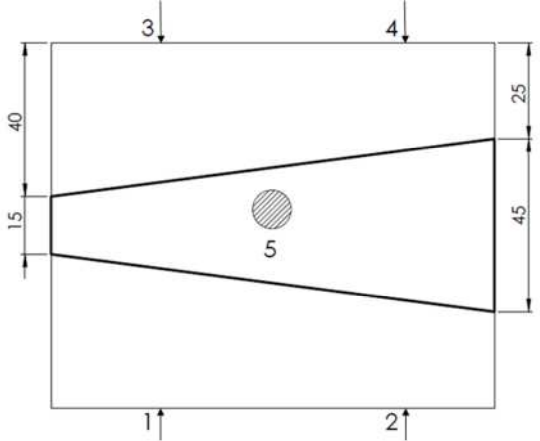
201	surfaçage de en finition (1)		Fraise diamètre 160mm		
202	surfaçage de en finition (2)				
203	surfaçage de en finition (3)				

204	<p>rainurage de</p> <p>4</p>				
205	<p>surfaçages de</p> <p>5</p> <p>avec une profondeur de 5mm en finition.</p>				

<p>300</p>	<p><u>fraisage:</u></p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <p>- fixation de la pièce sur l'étai (1, 2, 3,4et5)</p>	<p>N° : Pièce 2</p> <p>Fraiseuse conventionnel</p>			
<p>301</p>	<p>surfaçage de 6 en finition</p>	<p>Fraiseuse conventionnel</p>			

302	surfaçage de 7 en finition				
303	surfaçage de 8 en finition				
304	rainurage de 9				

305	<p>fraisage : réalisation de  l’empreinte avec une profondeur de 0.7mm</p>	Fraiseuse numérique	Fraise bombé diamètre 6mm		
-----	--	------------------------	------------------------------------	--	---

<p>400</p>	<p><u>fraisage:</u></p> <p>Référentiel de mise en position défini par :</p> <p>- fixation de la pièce sur l'étou (1, 2, 3,4et5)</p>	<p>N° : Pièce 3</p>			
<p>401</p>	<p>rainurage de</p> <p>14 en</p> <p> finition avec une</p> <p> profondeur de</p> <p> 2mm</p>				

IV.4. Parc machines du hall technologie de l'université de Bejaïa

Les machines sont classées en deux catégories :

IV.4 .1. Le tour

La pièce tourne, l'outil se déplace par rapport à la pièce : pour réaliser des pièces de révolution.

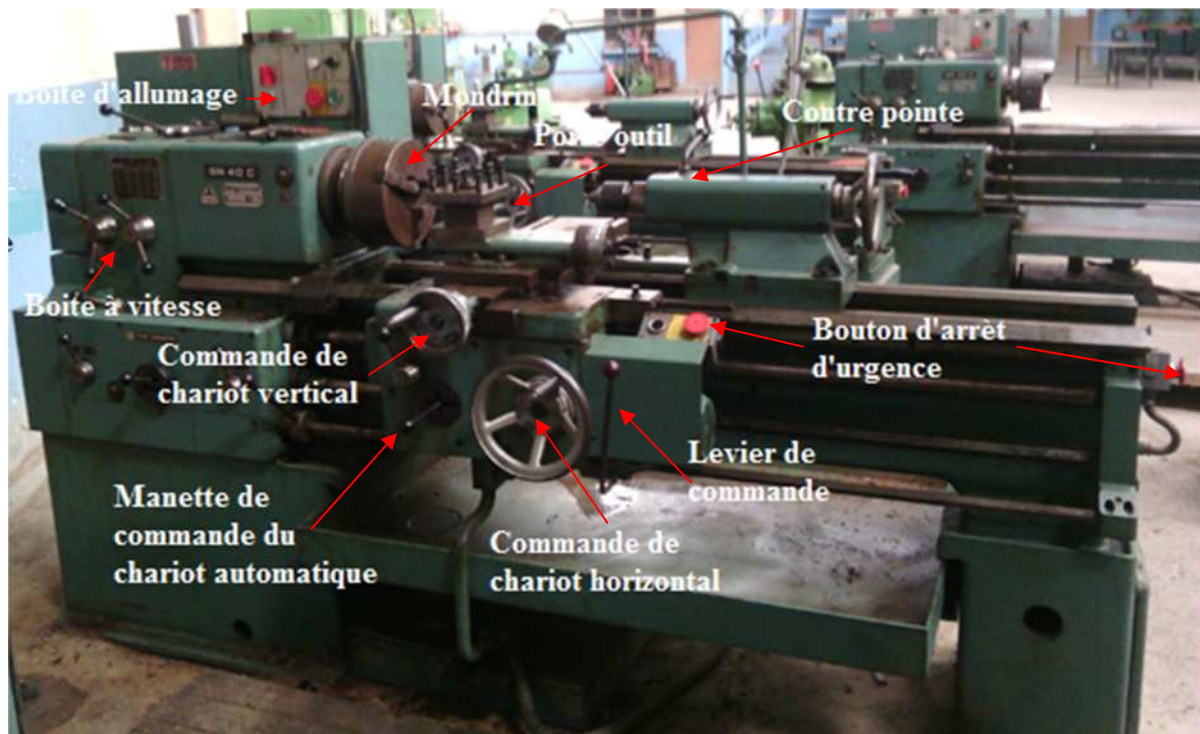


Fig. IV.2. Tour conventionnelle SN 40C

IV.4 .2.Fraisage : L'outil tourne, la pièce se déplace par rapport à l'outil. Cela permet de réaliser des formes planes, des moules...

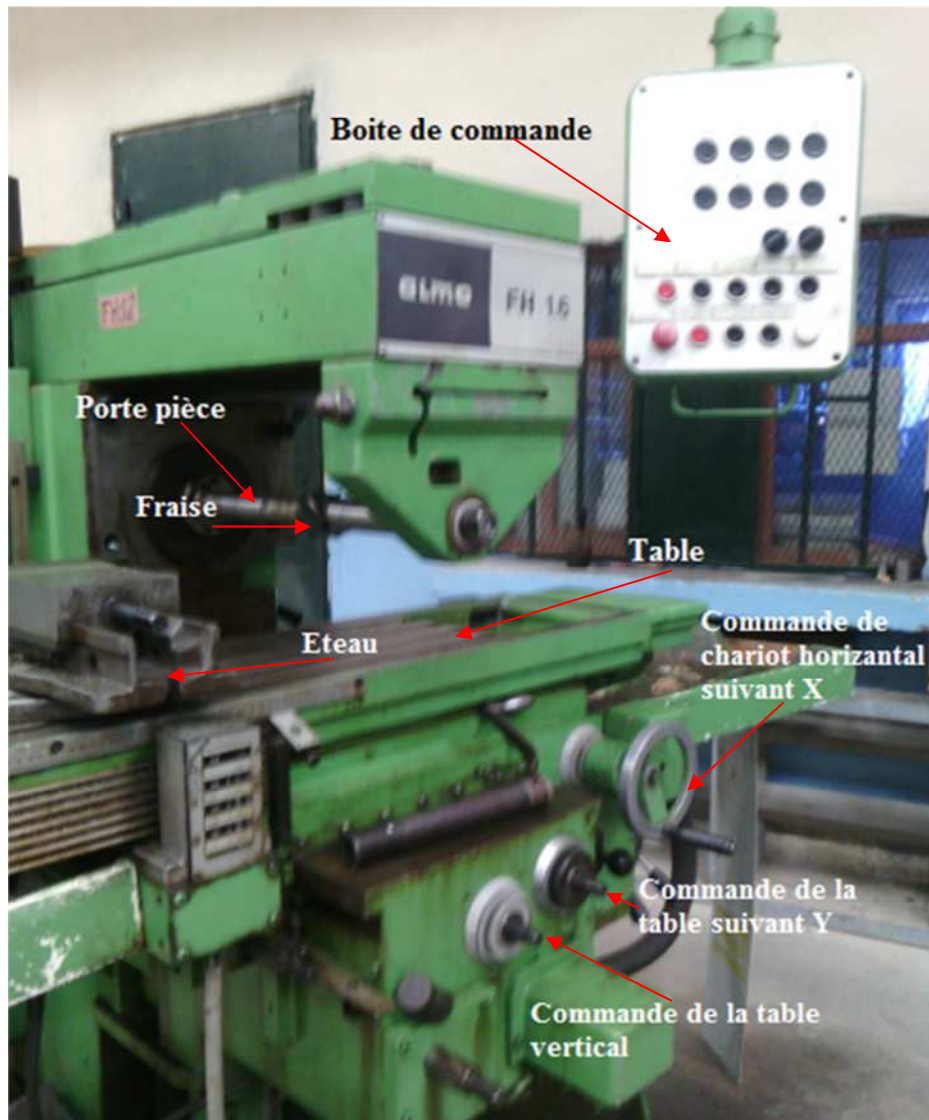


Fig. IV.5. Fraiseuse conventionnelle almo FH 1.6

IV.4.2.1. Différents types de fraises

Il existe beaucoup de types de fraises, la figure suivante présente les principaux types.



Fig. IV.6. Différents types de fraises

IV.5. Usinage des pièces

IV.5.1. Les étapes de fabrication des pièces

Selon la disponibilité de la matière première au niveau de magasin du hall technologie de l'université de Bejaia on a choisi l'acier xc48 pour la fabrication de nos pièces car cette est un acier à usage général.

IV.5.2. Les deux matrices (bloc)

- 1- La première des choses on découpe deux morceaux de brute à l'aide d'une scie mécanique sous lubrification tout en respectant la longueur approprié (celle de la pièce à fabriquer plus la partie qui tiendra dans le mandrin).

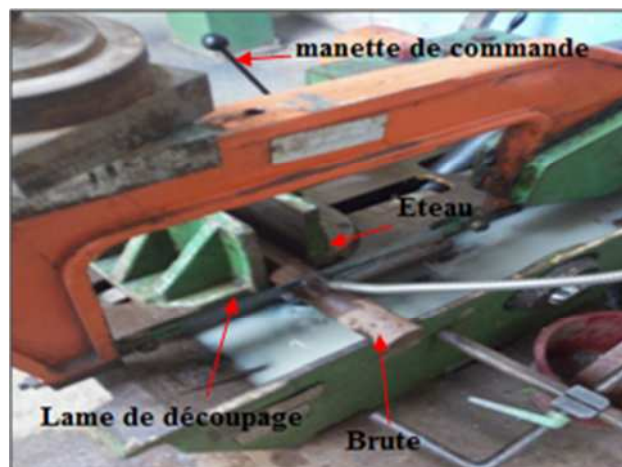


Fig. IV.7. Découpage de la matière premier avec une scie mécanique

IV.5.3. Les étapes à suivre lors de la fabrication

1^{er} étapes : Usinage de la forme voulu sur une fraiseuse conventionnelle, et notre pièce qui sera montée sur un étau afin de parcourir toute la longueur de notre pièce par une seule opération, avec un outil de surfaçage de diamètre 120, pour avoir une bonne état de surface sur les six cotés de la plaque , comme l'indique la figures suivante:



Fig. IV.8. Fixation de la pièce



Fig. IV.9.Surfaçage de la pièce



Fig. IV.10.Finition du bloc de moule

2^{ème} étapes : Après le surfaçage des plaques on passe à l'étape de soudage qui permet d'assembler les deux plaques pour la coulée comme indiquée sur la figure suivante :



Fig. IV.11. Nos deux pièces assemblées

3^{ème} étapes : Après fixation de notre bloc sur l'étau on a utilisé une fraise de diamètre 10 pour usiner la coulée d'une profondeur de 2,5 mm jusqu'à 5 mm pour l'entrée de liquide



Fig. IV.12. Notre plaque après l'usinage de rainure

4^{ème} étapes : à l'aide d'une commande numérique qui disponible au niveau du hall technologie de l'université nous permet de réaliser notre empreinte sur le bloc qui est illustré sur la figure suivante



Fig. IV.13. Notre plaque lors d'usinage de l'empreinte

5^{ème} étapes : produit finale

La figure IV.14 Nous montre une image du produit final du notre moule après fabrication, assemblage et la fabrication de notre pièce finie dans une fonderie d'aluminium



Fig. IV.14. Notre moule final



Fig. IV.15. Notre logot final

Conclusion générale

L'industrie de la fonderie d'aluminium doit d'une façon générale progresser dans deux grandes directions : baisse des coûts et amélioration des propriétés des pièces.

Le moulage en moule permanent par coquille est le meilleur choix pour répondre à ces deux exigences. Avec ce type de moule on baisse les coûts car le moule est permanent.

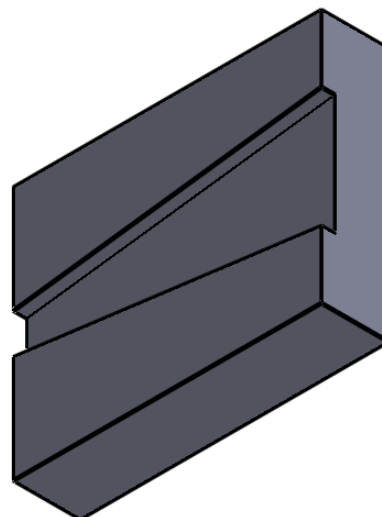
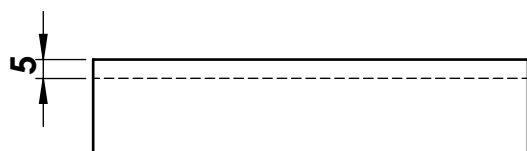
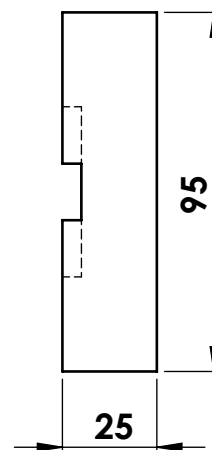
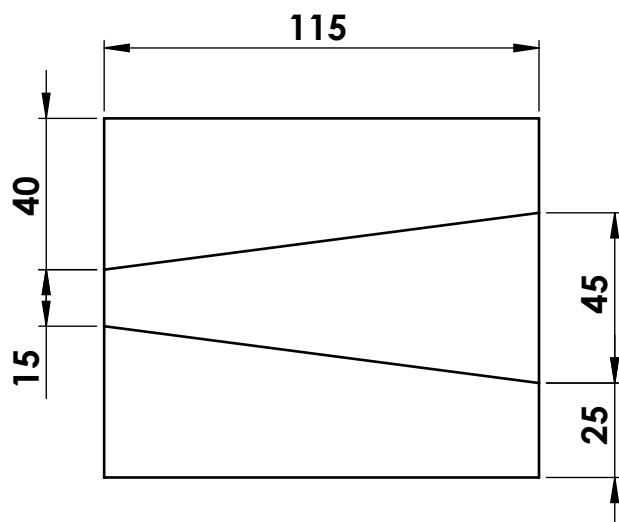
L'aluminium a une température de fusion relativement basse ce qui résulte d'une facilité de fusion qui présente un avantage certain pour les opérations de fonderie. Leur emploi est lié à leur légèreté, leur conductibilité et leur résistance à la corrosion,

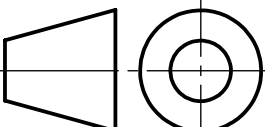
Les fours à flamme (gaz ou propane) sont répandus pour les fonderies d'alliages d'aluminium,

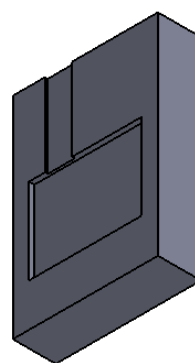
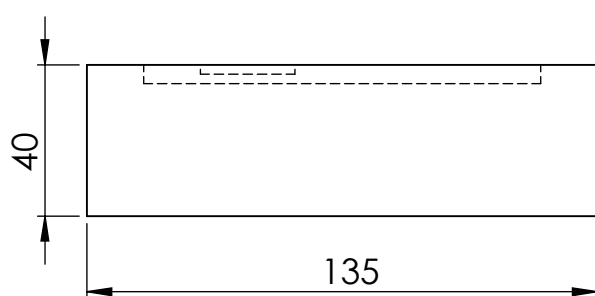
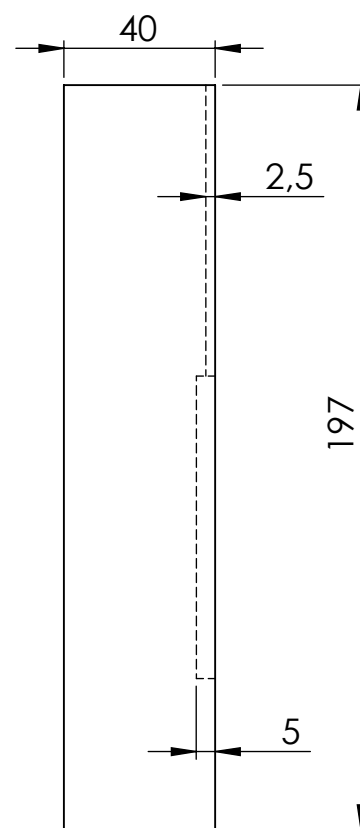
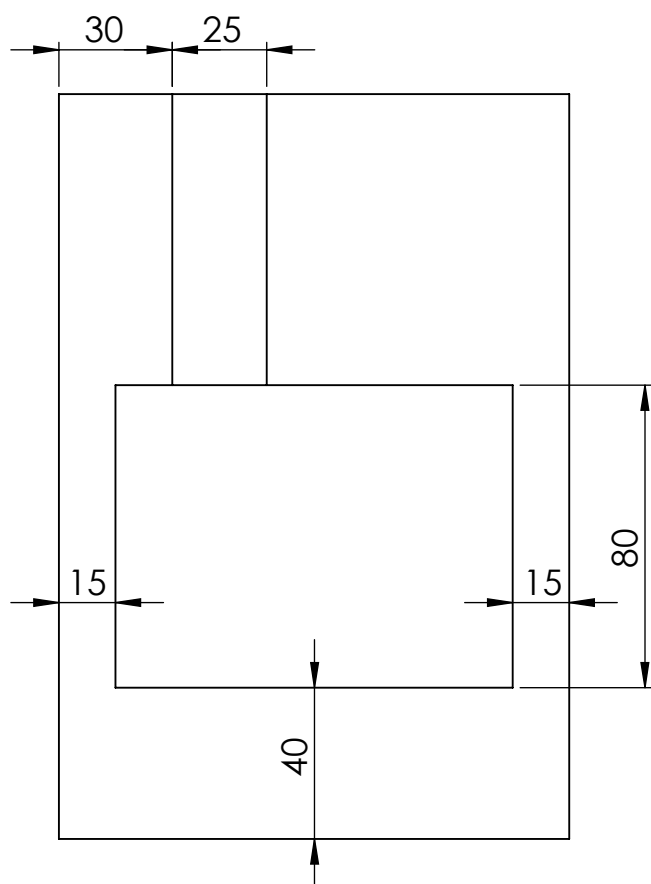
Les techniques de moulages en moules permanents se basent sur l'utilisation des moules en métal généralement en acier ou en fonte. L'utilisation de moules en métal restreint le choix des alliages pouvant y être coulés à ceux dont le point de fusion est inférieur à celui du métal du moule. Les pièces obtenues sont précises, grâce à la grande rigidité du moule et l'utilisation du blanc de fonderie pour les moules on obtient de bons états de surface.

Références bibliographiques

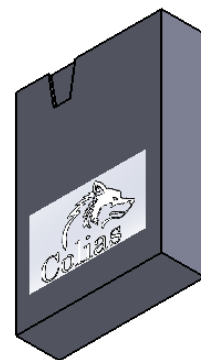
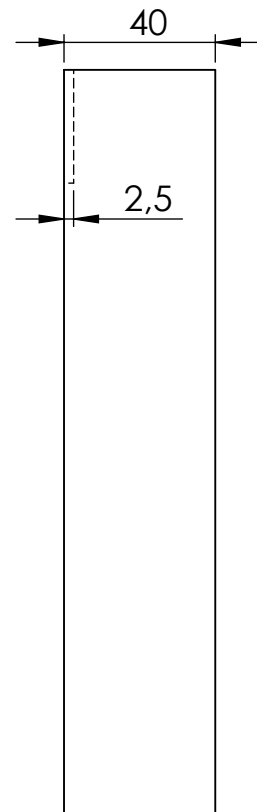
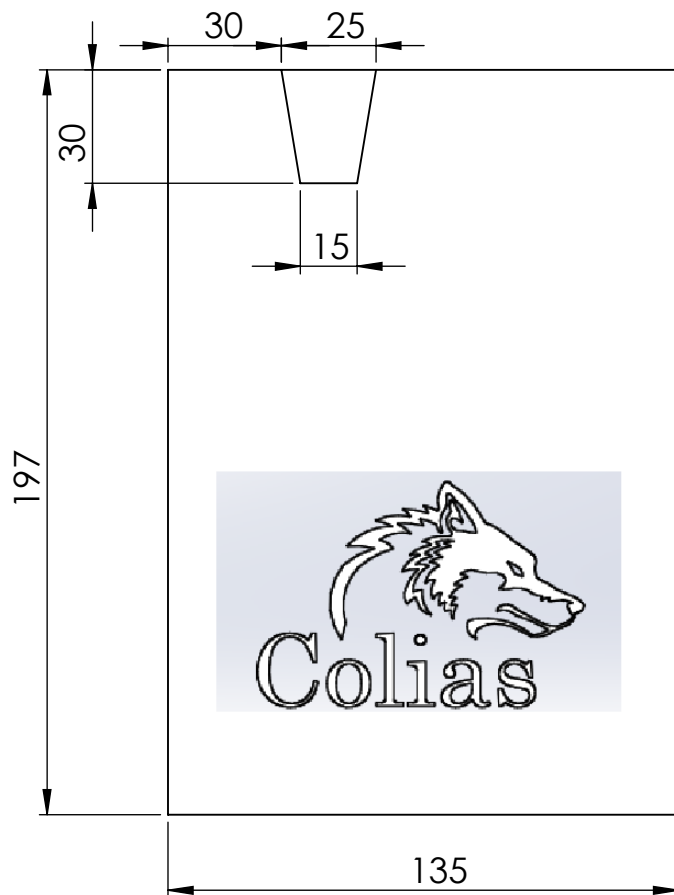
- [1] : **Mme BOUGHERARA Ahlem**, Etude de la corrélation entre les propriétés mécaniques Et la température des traitements thermiques d'un alliage fer/cuivre. Edition 2013/2014
- [2] : **Lionel MARTIN**, Intégration du métier de la fonderie dans les processus de conception méthodologies et outils associés, L'école nationale supérieure d'arts métiers. Edition 2006
- [3] : **Adrien Toros, Jorge Zarate, Benoît Denking**, Méthode de productions Moulage des Métaux, école polytechnique fédérale de Lausanne. Edition 2012
- [4] : Fonderie des non ferreux à bas point de fusion, Automatisée et à coulée par gravité, 2001
- [5] : **Asma Haddouche**, Caractérisation physico-chimique des alliages d'Aluminium utilisés comme matériau de revêtement mural, Université Med Khider Biskra, Edition 2013/2014
- [6] : **GUIDE FOR CASTING DIGITAL RADIOGRAPHY**, guide pour la radiographie numérique des pièces moulées D. Lavastre 1,
- [7] : **F.BLANCHARD (cram ile-de France), B.COURTOIS (inrs paris), C.ROBIN (cram Rhône-Alpes)**, institut nationale de recherche et de sécurité, consulte en 2016
- [8] : **Chang Qing Zherng**, Étude et évaluation des procédés de fabrication des pièces de Suspension d'automobile en alliage d'aluminium, L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC, Edition 2009
- [9] : **Editions Techniques des Industries de la Fonderie**, Maîtrise de l'Energie dans l'Industrie de la Fonderie, N° **ISBN** : 978-2-7119-0277-4, **Dépôt légal** : 4ième trimestre 2013, **Date d'édition** : Octobre 2013
- [10] : **commission européenne**, forges et fonderie, ministre de l'écologie de l'énergie de développement durable et de la mer, édition mai 2005
- [11] : **Sylvio Quesnel, ING**, université de Montréal, essai sous gradient thermique du corindonage des réfractaire : application aux fours de traitement de l'aluminium, édition décembre 1996



UNIVERSITE A - MIRA DE BEJAIA		2éme Master
Echelle: 1/2	La Coulé	juin 2016
		PFE
		BELLILI Toufik



UNIVERSITE A - MIRA DE BEJAIA		2éme Master
Echelle: 1/2	La Matrice	juin 2016
		PFE
BELLILI Toufik		45CrM04



UNIVERSITE A - MIRA DE BEJAIA		2éme Master
Echelle: 1/2	La Matrice 2	juin 2016
		PFE
		45CrM04
BELLILI Toufik		