

Ministère de l'Enseignement Supérieur et  
de la Recherche Scientifique  
Ecole nationale Polytechnique



وزارة التعليم العالي  
و البحث العلمي  
المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT DE METALLURGIE

P0010/  
/05A

Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme  
d'Ingénieur d'Etat en Métallurgie

THÈME :

OPTIMISATION DES CONDITIONS  
D'ELABORATION ET DE  
MOULAGE AU SABLE DE  
L'ALLIAGE ZA12.

étudié par :

M<sup>r</sup> : Ahmed KOU DRI

Proposé et Dirigé par :

M<sup>r</sup> : kamel ABADLI

Promotion 2005

## Dédicace

*Je dédie ce modeste travail*

- *A mes très chers et tendres parents, que Dieu les protège ;*
- *A mon grand père et ma grand mère ;*
- *A mes frères, ma sœur Amel ;*
- *A mes oncles, cousins et cousines et à toute ma famille ;*
- *A tous les étudiants de 5<sup>ème</sup> année et du département de  
métallurgie ;*
- *A tous mes amis, particulièrement, K, Samira, Omar, Amar,  
Nabil et Amine ZINASNI.*
- *A tous ceux que j'aime et qui m'aiment, où qu'ils soient.*

*Ahmed KOUDRI.*

## Remerciement

*Je remercie tout d'abord Dieu le tout puissant de m'avoir donné la foi, la volonté et le courage afin d'arriver à faire ce modeste travail.*

*J'exprime toute ma gratitude à mon directeur de projet, Monsieur Kamel ABADLI pour avoir encadré et dirigé mon projet de fin d'études.*

*Je remercie le président et les membres de jury pour l'évaluation de ce travail.*

*J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur NAÏLI, chef service de la fonderie d'aluminium, de m'avoir accueilli dans la fonderie de Rouïba.*

*Je voudrais aussi remercier tous les enseignants du département de métallurgie.*

*Mes remerciements aussi à tous les travailleurs de DFR,*

*Enfin, nous remercions tous nos amis, sans exception et sans distinction, pour leur présence et leur soutien.*

*Merci à tous.*

## Sommaire :

INTRODUCTION GENERALE :	1
PREMIERE PARTIE : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	2
CHAPITRE I :	3
ALLIAGES DE ZINC	3
I-1 Alliages de zinc :	4
I-2 alliage zamak :	4
I-2-1 propriété des zamaks :	4
I-4 Ilzro 12 :	7
CHAPITRE II : MOULAGE DES ALLIAGES DE ZINC	10
II-1 Classement des procédés de moulage :	11
II-3 Moulage au sable :	13
II-3-1 Sables de moulage :	13
II-3-2 Procédés de moulage :	15
II-3-3 Moulage main :	15
II-4 Technique des attaques de coulée :	18
CHAPITRE III : DEFAUTS DE FONDERIE	27
III-1 Défauts dus au métal :	28
III-1-1 Défauts d'élaboration :	28
III.1.2 Défauts due a l'alliage	29
III.2 Défauts du au moule :	33
III.2.1 Défauts aux gaz et origines des gaz :	33
III.2.1 Défauts du au sable :	36
DEUXIEME PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE	38
Chapitre IV : ELABORATION DE L'ALLIAGE ZA12	39
IV.1 Procédé d'élaboration :	40
IV-1-1 Schéma du procédé :	40
IV.2 Optimisation de la composition :	41
IV.3 Etude de coulabilité :	45
IV.4 Caractéristiques mécanique de l'alliage :	51
Chapitre V :	52
ETUDE DU MOULAGE AU SABLE DE L'ALLIAGE ZA12	52
V.1 Moulage de la première pièce :	54
V.1.1 Description de la première pièce :	54

V.1.3 Coulée de la première pièce : \_\_\_\_\_ 56

V.2 Moulage de la deuxième pièce : \_\_\_\_\_ 58

V.2.1 Description de la deuxième pièce : \_\_\_\_\_ 58

V.2.2 Modelage : \_\_\_\_\_ 60

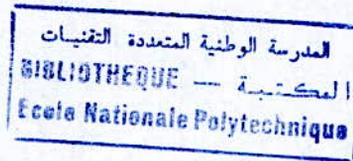
V.2.3 Moulage de la pièce : \_\_\_\_\_ 60

V.2.4 Coulée de la cosse a bride : \_\_\_\_\_ 60

CONCLUSION GENERALE \_\_\_\_\_ 61

BIBLIOGRAPHIE \_\_\_\_\_ 63

## INTRODUCTION GENERALE :



Les alliages de zinc de fonderie connus sous l'application très large (industrie automobile, industrie mécanique, électrique, électroménager, bâtiment,...).le rapport qualité/prix est attractif.

Cette situation est rendue possible grâce au procédé de coulée sous pression qui permet d'obtenir une productivité élevée (grande série) avec des formes complexes et un bon état de surface.

Les grands inconvénients de ce procédé sont le coût élevé de l'outillage et les détails très long pour produire.

Les professionnels de la fonderie d'alliage de zinc ce sont intéressé a d'autre alliages. Coulable en coquille ou au sable.  
Afin de réaliser des petites séries, d'abaisser le coût de fabrication et des délais.

Les travaux de recherche ont permit de mettre au point un alliage Zn-Al-Cu-Mg a environ 12%Al, 1.5%Cu et 0.2%Mg.

Cet alliage est utilisé pour la couler en coquille et au sable. Les pièces obtenue sont très proches a celle obtenues par coulée sous pression.

L'objectif de ce travail est double :

- optimiser les conditions d'élaboration.
- étudier le moulage au sable.

Les travaux ont été réalisés a la fonderie de ROUIBA.

Les résultats sont présents dans ce mémoire qui comprend trois parties :

- la première partie est consacrée a l'étude bibliographique.
- La deuxième partie comprend les travaux réalisés et les résultats obtenus.
- Une conclusion générale.

# **PREMIERE PARTIE :**

## **ETUDE**

### **BIBLIOGRAPHIQUE**

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات  
المكتبة — BIBLIOTHEQUE  
Ecole Nationale Polytechnique

# CHAPITRE I :

# ALLIAGES DE ZINC

## I-1 Alliages de zinc :

Les alliages de zinc utilisés industriellement sont des alliages binaires zinc-aluminium et ternaires zinc-aluminium-cuivre.

L'aluminium a une influence bénéfique sur le zinc, il améliore la coulabilité du zinc, dont il affine le grain avec, pour résultat, l'obtention de caractéristiques mécaniques très intéressantes; de plus, à l'état liquide, il rend l'alliage passif vis-à-vis du fer. Cette passivité, comparée à d'autres alliages de fonderie, est très appréciée pour les réalisations de grandes séries en raison de son influence favorable sur la durée des outillages de moulage.

Les alliages de zinc de fonderie sont surtout connus sous le nom de ZAMAK. Ce nom est une marque déposée qui fait l'objet d'une licence d'exploitation Les ZAMAK couvrent les alliages normalisés en France. ZA4G (Zamak 3) et ZA4U1G (Zamak 5).

Parmi les alliages de zinc de fonderie, l'ILZRO 12 de mise au point beaucoup plus récente est un alliage destiné principalement à la fonderie par gravité pour les fabrications de petites et moyennes séries et notamment pour la coulée de prototypes qui présentent les mêmes caractéristiques physiques, mécaniques et même géométriques (épaisseur des parois) que les pièces en Zamak coulées sous pression dans des outillages plus coûteux [1-2].

## I-2 alliage zamak :

### I-2-1 propriété des zamaks :

Le principal domaine d'utilisation des alliages ZAMAK est le moulage sous pression en coquille métallique. La mise en oeuvre de ce procédé de transformation exploite au mieux les avantages des Zamak, à savoir.

#### 1- Point de fusion relativement bas

Compte tenu de la passivité du Zamak vis-à-vis de l'acier et de son bas point de fusion ( $385^{\circ}$  C), la durée des outillages est élevée. Plusieurs centaines de milliers d'injections sont possibles dans le même moule, et parfois même plusieurs millions, sans frais de remise en état excessif de l'outillage Cet avantage est très important car le prix des outillages, surtout pour des pièces complexes, est toujours élevé quel que soit d'ailleurs le métal de fonderie exploité.

#### 2- Fluidité

Cette propriété permet de réaliser des pièces aux formes les plus compliquées et d'obtenir directement en moulage des épaisseurs aussi minces que l'usage de la pièce le permet, ou même, dans certains cas, peut l'exiger. De plus, et ceci est important, la fonderie sous pression contrairement à la fonderie normale est plus particulièrement favorable aux faibles épaisseurs pour obtenir des pièces saines.

La technologie moderne permet la réalisation de pièces de grandes dimensions dont l'épaisseur moyenne excède de peu le millimètre, ce qui rend les pièces en Zamak parfaitement compétitives avec d'autres matériaux ou d'autres procédés.

### 3- Précision des pièces moulées

Elle peut atteindre quelques centièmes de millimètre et, corrélativement, suppression pratique de tous usinages.

### 4- Caractéristiques mécaniques intéressantes

### 5- Tenue à la corrosion

Le comportement à la corrosion des alliages ZAMAK est en tous points identiques à celui du zinc; par conséquent, dans des conditions où le zinc est connu pour avoir une tenue satisfaisante, les alliages Zamak peuvent être utilisés avec les mêmes résultats.

Dans les cas d'atmosphères particulièrement agressives, des traitements de surface très efficaces (chromatation, anodisation, etc. . .) permettent d'améliorer encore ce comportement.

### 6- traitements des surfaces

Lorsqu'on recherche un aspect plus décoratif, les pièces en Zamak peuvent recevoir tous les types de revêtements électrolytiques (chromage, argenture, dorure, etc. . .) ou être peintes ou vernies selon les techniques traditionnelles; après une préparation de surface appropriée [1,3].

Tableau 1 : Composition et caractéristiques des alliages ZAMAK3 et ZAMAK5 [1,4].

DESIGNATION COMMERCIALE	ZAMAK3	ZAMAK5
Désignation normalisée	Z-A4G	Z-A4U1G
Aluminium	3.9 à 4.3	3,9 à 4,3
Cuivre	0 à 0.10	0,75 à 1,25
Magnésium	0.03 à 0.06	0,03 à 0,06
Zinc	le reste	le reste
Fer	0,100	0,100
Composition en%	Plomb	0,005
	Cadmium	0,005
	Étain	0,002
Teneurs maximales les 3 en impuretés en%	Total pour derniers éléments	0,008
<b>Caractéristiques mécaniques :</b>		
Résistance au choc en daJ /cm <sup>2</sup>	après moulage après 10 ans	5.5-5.8 5.2-5.5
Allongement en %	après moulage après 10 ans	0.6 1.1
Résistance à la traction en daN/mm <sup>2</sup>	après moulage après 10 ans	28-30 24-26
Dureté Brinell		85
<b>Caractéristiques physiques :</b>		
Densité (g /cm <sup>3</sup> ) . . . . .		6,6
Intervalle de solidification en °C . . . . .		380-386
Retrait en % . . . . .		7
Coefficient de dilatation . . . . .		27 x 10 <sup>-6</sup>
Conductibilité électrique . . . . .		15,3
Conductibilité thermique En cal cm/cm <sup>2</sup> .s.deg . . . . .		0,27
		0,26

### I-3 Application des zamaks :

Les alliages de zinc ZAMAK, comme nous l'avons vu par leurs propriétés, permettent une multitude d'applications et la technique du moulage sous pression fait croître considérablement l'intérêt du procédé avec l'importance des séries à réaliser.

Les frais d'outillage bien qu'élevés sont rapidement amortis par les cadences de production, les économies de métal et la suppression souvent totale des opérations d'usinage. Les possibilités d'assemblage par sertissage ou rivetage, peu coûteuses et très efficaces, permettent également d'abaisser le prix des pièces finies.

Les bureaux d'études doivent être bien informés des caractéristiques et des possibilités de ces alliages, car ils apportent la solution la plus rationnelle dans de nombreuses fabrications de pièces aux formes des plus simples aux plus complexes

La fonderie sous pression des alliages ZAMAK s'étend pratiquement à tous les secteurs de fabrications où interviennent des pièces mécaniques, tels que.

- la construction automobile, aussi bien pour des organes de moteurs : carburateurs, pompes d'alimentation, etc., que pour de nombreux accessoires de carrosserie et d'équipement de véhicules ;
- la construction mécanique accessoires et organes divers de toutes machines ;
- les constructions électrique et électromécanique ;
- les constructions radioélectrique et électronique ;
- l'équipement électroménager ;
- l'équipement technique de bureau machines à écrire, à reproduire comptables, ...etc. ;
- les appareils d'optique, de mesure, de laboratoire ; la serrurerie et la quincaillerie de bâtiment et d'ameublement, ...etc. ;
- Coût relativement peu élevé des pièces par suite de la cadence de fabrication rapide, des économies réalisées sur l'ébarbage, l'usinage et le montage ;
- Bonne résistance à la corrosion atmosphérique et à un certain nombre de liquides ou produits solides ;
- Possibilités de recevoir des revêtements de décoration ou encore de protection contre la corrosion des atmosphères agressives. [1, 2,3]

### I-4 Ilzro 12 :

Bien qu'il soit possible de les couler par gravité dans des moules en sable ou en coquilles métalliques, cette technique présente un certain nombre de difficultés et, si le fondeur ne maîtrise pas parfaitement tous les paramètres de coulée, les résultats peuvent être décevants. C'est ce qui explique le développement relativement modeste pris jusqu'à ces dernières années par les alliages de zinc coulés par gravité.

On a alors des alliages Zn-Al qui ont une meilleure coulabilité par moulage par gravité. Les travaux ont aboutit a la mise au point de l'alliage ZA12 [4].

Le ZA 12, apparu sur le marché français depuis 1970 sous le nom d'ILZRO 12, s'est développé exclusivement dans le domaine du moulage par gravité [3].

Tableau 2 : Composition et caractéristiques d'ILZRO 12 [1,4].

DESIGNATION COMMERCIALE		ILZRO12
Désignation normalisée		Z-A12
Composition en%	Aluminium	11 à 13
	Cuivre	0.5 à 1.3
	Magnésium	0.01 à 0.03
	Zinc	le reste
(Fer + Plomb + Cadmium + Étain) en % <		0,008
<b>Caractéristiques mécaniques :</b>		
Résistance (MPa)	Coulée sable	210
	Coulée coquille métallique	218
Allongement en %	Coulée sable	1 à 3
	Coulée coquille métallique	2 à 5
Résistance à la traction en (MPa)	Coulée sable	300
	Coulée coquille métallique	370
Dureté Brinell (HB)	Coulée sable	90 à 110
	Coulée coquille métallique	95 à 115
<b>Caractéristiques physiques :</b>		
Densité (g /cm <sup>3</sup> ) . . . . .		6
Intervalle de solidification en °C . . . . .		380 à 430
Température de coulée en °C. . . . .		450 à 600
Retrait en % . . . . .		0.6 à 1

La caractéristique de fonderie la plus remarquable de l'ILZRO 12 est son insensibilité à la vitesse de refroidissement Il est donc possible d'utiliser une grande variété de matériaux de moulage, aussi bien isolants que conducteurs, et qui pourront être adaptés à chaque cas particulier, tel que :

- coquilles métalliques

- sable à vert, étuvé, ou synthétique
- plâtre ou céramique
- élastomères

De plus, cette insensibilité à la vitesse de refroidissement autorise des surchauffes, même importantes, qui confèrent à cet alliage une excellente coulabilité Ceci permet en particulier, une grande fidélité de reproduction des détails, et l'obtention de très faibles épaisseurs, comparables à celles obtenues avec les alliages de zinc coulés sous pression [2].

Tableau 3 : Influence de la température de coulée sur l'épaisseur minimale [2].

Epaisseur minimale (mm)	Température de coulée (°C)
6	475 à 500
4	500 à 550
2	550 à 600
1	600 à 650

Une autre propriété très intéressante de l'ILZRO 12 coulé au sable réside dans les caractéristiques mécaniques celles-ci sont similaires à celles du Zamak 3 coulé sous pression. Voir Tableau 2

Par ailleurs, il s'usine très facilement et il peut recevoir des revêtements par peinture, par déplacement chimique ou par électrolyse de la même façon que le Zamak.

L'ensemble de ces caractéristiques permet de produire économiquement des pièces de toutes formes et de toutes dimensions.

Enfin, grâce à ses propriétés similaires à celles du Zamak coulé sous pression, il offre aux services d'études la possibilité de faire réaliser des pièces prototypes bon marché, en tous points identiques aux pièces de série qui seront coulées sous pression.

Il est donc très facile d'évaluer l'aptitude fonctionnelle ou décorative d'une pièce avant de lancer une fabrication. Les modifications de tracé, souvent nécessaires, peuvent être apportées sans dépense supplémentaire, alors qu'elles sont généralement très coûteuses lorsqu'elles doivent intervenir après la réalisation du moule de fonderie sous pression [4].

**CHAPITRE II :**

**MOULAGE DES**

**ALLIAGES DE ZINC**

La fonderie comporte l'ensemble des procédés utilisant la fusion pour la mise en oeuvre des métaux et alliages.

On peut distinguer :

D'après la nature des métaux: la fonderie de fonte, d'acier, de bronze, d'aluminium, de zinc... ; d'après l'utilisation : la fonderie d'art, d'ornement, la fonderie mécanique industrielle; d'après les procédés de moulage : la fonderie en sable, en coquille, en cire perdue,...Les opérations de la fonderie comportent en principe la confection de moules des pièces à exécuter à partir de modèles en bois ou en métal dont les dimensions sont légèrement supérieures à celles des pièces pour tenir compte du retrait du métal après coulée.

Le retrait résulte de la contraction du métal au cours de son refroidissement depuis l'état liquide jusqu'à la température ordinaire. C'est surtout au moment de la solidification que le retrait est le plus important.

On remédie aux inconvénients du retrait en alimentant le moule de la pièce par une certaine masse de métal (masselotte) ; la solidification s'opérant en dernier dans la masselotte, l'alimentation de la pièce se fait complètement.

Une autre propriété importante est la coulabilité, qui est l'aptitude du métal ou de l'alliage à remplir le moule. Cette propriété dépend de la nature de l'alliage (température de fusion, constitution), de la nature du moule, de la température de coulée.

Les alliages pour lesquels le zinc constitue l'élément principal ont pris une très grande importance, en raison de leurs propriétés particulières. Le développement de ces alliages a été surtout le résultat des progrès métallurgiques réalisés dans l'industrie du zinc qui ont permis la production industrielle d'un métal de base de haute pureté et, par conséquent, l'élaboration d'alliages de composition rigoureuse offrant une très grande régularité de caractéristiques [4].

## II-1 Classement des procédés de moulage :

L'opération de moulage est une des plus importantes du processus industriel de la fonderie. Elle détermine en effet, d'après le modèle, les formes de la pièce à couler, ses dimensions et leur précision, ses états de surface, son refroidissement, et joue un rôle prépondérant sur de très nombreux paramètres influant sur sa qualité.

C'est aussi, avec le noyautage, l'opération qui entraîne les coûts les plus élevés dans les différentes opérations de fabrication. À titre d'exemple, dans des productions de grandes séries, les opérations de moulage noyautage représentent fréquemment 40 % environ des prix de revient hors matière (moulage 30 %, noyautage 10 %).

Il convient donc que le choix d'un procédé de moulage soit fait avec le maximum de précaution pour ne pas pénaliser les productions futures, tant en qualité qu'en prix de revient.

De très nombreux procédés de moulage existent, en châssis, en mottes, en fosse pour les très grosses pièces, au trousseau pour des pièces circulaires par exemple, en modèle perdu (polystyrène), en cire perdue pour des pièces de précision ou des œuvres d'art, en coquille métallique par gravité, sous-pression pour les non ferreux, en coquille centrifugée pour des tuyaux notamment, ...etc. [2, 5].

## II-2 Choix des procédés de moulage :

Les procédés de moulage ont chacun des caractéristiques bien précises d'emploi qui les destinent préférentiellement à certain type de production (pièces unitaires, de moyennes ou grandes séries, en métaux ferreux, non ferreux, pièces de plus ou moins grandes précisions, etc.), ce qui nécessite, au moment du choix, de bien connaître les performances et les prix de revient de chacun des procédés possibles (pour les matériaux de moulage). Il faut notamment prendre en considération :

- la facilité de préparation et de mise en œuvre des sables et des liants ;
- la durée de vie des sables préparés ;
- la bonne aptitude au stockage ;
- la perméabilité des sables moulés permettant une évacuation facile et rapide des gaz provenant de l'empreinte, du métal, des liants et des additifs éventuels, notamment pour les noyaux ;
- la réfractarité et la bonne tenue à la chaleur au moment du remplissage de l'empreinte par le métal liquide ;

Les bonnes caractéristiques à froid et particulièrement :

- une résistance à la compression suffisante pour les moules ;
- des résistances au cisaillement, à la traction assez élevées pour éviter des ruptures du sable au moment du démoulage ;
- une bonne résistance à la flexion (pour les noyaux) ;
- une absence de variations dimensionnelles pendant la prise (retrait ou gonflement) des moules rigides ;
- l'absence de déformation pour les noyaux, l'absence de fluage, expansion ou retrait pendant la coulée et la solidification ;
- l'absence de réaction du matériau de moulage ou de noyautage avec le métal liquide, qui risque de provoquer des défauts sur les pièces, comme par exemple : gerce, abreuvage, piqûres et soufflures par dégagement gazeux (hydrogène, azote, vapeur d'eau...) décarburation ou recarburation superficielle ;
- la facilité de débouillage au moment du décochage ;

Les problèmes d'environnement aux postes de préparation des sables et de confection des noyaux :

- pas de dégagement de gaz incommodant ni de dégagement de chaleur, qui nécessiteraient des protections et des captages efficaces, pas de dégagement de vapeurs nocives et de poussières au poste de décochage, mise en décharge des sables frais ou brûlés non susceptibles de pollution des nappes phréatiques ;
- les facilités et la sûreté des approvisionnements et le faible coût des formules de sable et des modes de moulage employés ;

- le montant des investissements à prévoir pour les outillages, dont l'amortissement et l'entretien représentent une partie non négligeable du coût de la pièce.

Tous ces facteurs interviennent au moment du choix d'un procédé de moulage. C'est une étude complète qui doit être faite pour trouver la meilleure solution en fonction des caractéristiques des pièces demandées par le client, des cadences de production envisagées, des installations et matériels existants, des prix de revient prévisionnels et des investissements à consentir [5-6].

## II-3 Moulage au sable :

### II-3-1 Sables de moulage :

#### 1- Matières de base

On utilise soit du sable silico-argileux naturel, soit du sable synthétique formé d'un mélange de grains de silice et d'argile, 5 à 10 % suivant les alliages moulés, humidifiée pour former un lait d'argile qui enrobe les grains en les agglomérant entre eux et de divers adjuvants.

On peut distinguer trois grandes familles de sables :

- les sables naturels (peu utilisés maintenant) ;
- les sables étuvés, surtout pour le moulage à l'unité de pièces importantes ;
- les sables synthétiques, sables verts, utilisés directement après leur préparation, éventuellement grillés ou flambés en surface pour en augmenter la résistance à l'action du métal.

■ On peut reprocher au sable vert :

- la présence d'humidité dans le sable créant des risques de défauts de piqûres sur les pièces coulées ;
- le manque de dureté des empreintes, surtout dans les parties verticales, en faible dépouille ;
- la chute possible de sable dans les empreintes au moment de la pose des noyaux, de la fermeture des moules, et l'entraînement de sable au moment de la coulée ;
- le manque de résistance au rayonnement thermique du métal liquide dans les parties en plafond de l'empreinte au moment du remplissage du moule, risquant de provoquer l'apparition de gales ;
- la difficulté d'obtenir des cotes précises, des parois minces, etc.

Tous ces défauts sont maîtrisables après mise au point de la fabrication. Mais il faut contrôler rigoureusement tous les stades de production du sable et de sa mise en œuvre. De la qualité du sable et, par conséquent, de sa bonne préparation, de sa régénération correcte et du bon réglage de ses caractéristiques, dépendra en finale, et pour un très grande partie, la qualité des pièces fabriquées. C'est tout l'art du fondeur.

- À l'avantage de ce sable vert, il faut noter :
  - son très bon prix de revient ;
  - sa très grande souplesse d'utilisation et de mise en œuvre ;
  - un bon état de surface des pièces, des détails bien venus et des coutures de moulage peu apparentes ;
  - le faible risque de crique dans les pièces au moment du retrait du métal pendant son refroidissement, le sable étant compressible ;
  - la possibilité de recycler la quasi-totalité du sable après décochage, réduisant les problèmes d'évacuation et de décharge.

Ces problèmes existent bien entendu, mais ils proviennent essentiellement des surplus de sable apportés dans le circuit par les noyaux au moment du décochage, et qu'il faudra évacuer à l'extérieur.

En conclusion, on peut constater, avant d'aborder dans l'étude des procédés de moulage proprement dits, que le moulage en sable silico-argileux, et notamment en sable vert, grâce aux progrès considérables accomplis dans les techniques de préparation du sable et de sa mise en œuvre, résiste avec succès aux procédés plus modernes employant des sables durcis à prise chimique ou thermique, mais toujours d'un prix de revient plus élevé, qui les font préférer, dans la très grande majorité des cas, pour la confection des noyaux [2,5].

## 2- Préparation du sable

la fonderie utilisait beaucoup les sables silicoargileux naturels, mélanges de sables siliceux et d'argile utilisables à l'état tel, après humidification.

Ces sables sont maintenant de moins en moins employés, remplacés par des sables synthétiques, à base de sable siliceux et d'argile pure, utilisés exclusivement dans tous les procédés de moulage dits en sable vert, c'est-à-dire en sable gardant une certaine humidité interne, par opposition aux sables étuvés.

Un sable synthétique est un mélange de divers constituants :

- sable siliceux de granulométrie appropriée ;
- bentonite (variété d'argile particulièrement active) ;
- noir minéral ;
- et divers autres produits suivant les besoins ;
- le tout additionné d'un certain pourcentage d'eau.

Les teneurs de ces différents constituants et leurs caractéristiques sont adaptées aux procédés de moulage, aux alliages coulés et aux pièces à fabriquer.

La préparation et la régénération des sables récupérés après décochage se font dans des installations appelées sableries où les sables sont tamisés, démottés, concassés, déferrés, dépoussiérés et refroidis (dans certains cas avant d'être malaxés et mélangés dans les broyeurs avec les apports d'eau et d'adjuvants, bentonite, noir minéral, ...etc.), pour être ensuite envoyés aux machines à mouler [5].

### II-3-2 Procédés de moulage :

Le moulage est la plus importante opération de fabrication en fonderie, c'est elle qui détermine les caractéristiques principales de la pièce et qui influe dans une très large proportion sur son niveau de qualité.

Pour satisfaire les exigences sans cesse croissantes des utilisateurs au niveau des performances et de la qualité, les procédés de moulage en sable, et tout particulièrement en sable vert, ont évolué, depuis le moulage main pour améliorer la précision dimensionnelle des pièces produites, la constance de leur masse et leur état de surface, sans toutefois que le serrage pression ne dépasse certaines limites, un excès de serrage pouvant produire d'autres défauts, dus à des perméabilités insuffisantes par exemple.

Pour étudier les différents procédés de moulage utilisant des sables silico-argileux, nous les avons classés suivant le mode de serrage employé, principal critère à fixer pour une fabrication et qui détermine, par conséquent, toutes les installations de production des moules, moulage main.[5-6].

### II-3-3 Moulage main :

C'est le mode de moulage le plus anciennement utilisé dans toutes les fonderies. Avec le développement du machinisme et de la mécanisation, adaptés à des productions de masse, il a peu à peu régressé pour être surtout employé aujourd'hui dans les ateliers de fabrication de pièces unitaires de tous tonnages ou de très petites séries, ne justifiant pas, dans ce cas, des coûts d'outillage type machine trop élevés. Certes la modernisation se poursuit pour améliorer la qualité, la précision et le prix de revient des pièces. De nouveaux moyens

Pour la réalisation de telles fabrications, le personnel doit avoir une excellente qualification, et c'est dans les ateliers de moulage main que l'on trouve les meilleurs professionnels mouleurs.

#### 1- Principe

On peut mouler une pièce d'après un modèle réalisé habituellement en bois, ce modèle pouvant être parfois simplifié (modèles carcasses ou squelettes, trousseau...).

Le modèle est généralement séparé en deux parties suivant un plan de joint, une demi-partie servant à faire le moule de dessous, l'autre demi-partie, le moule de dessus.

Pour les plus gros moules, chaque partie de modèle peut être posée directement sur des marbres, à même le sol de l'atelier.

Toutes les parties en creux de la pièce qui ne se démoulent pas sont fabriquées dans les boîtes à noyaux pour être ensuite positionnées dans des parties prévues sur le modèle et reproduites en creux dans le moule.

On peut aussi, en moulage main, surmouler une pièce irréparable que l'on utilise comme modèle pour fabriquer une pièce de remplacement [2,6].

## 2- Matériaux et sables utilisés

Pour ces moulages, on utilise des sables silico-argileux avec 5 à 10 % d'humidité qu'on peut classer en trois catégories.

a) Le sable vert (dit aussi à vert) : réservé à la fabrication des petites et moyennes pièces, on lui ajoute parfois un peu de silicate de sodium pour donner au sable un peu plus de consistance ou corps.

b) Le sable vert grillé : pour éliminer l'humidité superficielle, on peut pulvériser un enduit réfractaire sur la surface des empreintes et le sécher ensuite à la flamme ou au rayonnement infrarouge, ce qui élimine toute trace d'humidité et accroît la dureté des moules, tout en diminuant le gradient thermique du métal au contact du moule.

c) Le sable étuvé : pour le moulage des grosses pièces unitaires, on utilise souvent des sables à plus gros grains de silice avec une teneur en argile plus élevée qui sont ensuite séchés à cœur dans une étuve où ils sont portés à des températures de 350 à 400 °C pendant une dizaine d'heures. Si le moule n'est pas transportable, on le sèche sur place avec des fours sécheurs mobiles.

Le moule, ainsi durci, résiste mieux aux pressions du métal liquide sur ses parois, mais il se prête aussi moins bien au retrait du métal, et des précautions doivent être prises pour éviter la formation de criques : utilisation par exemple, dans certaines parties du moule, de sables plus compressibles ou de certains artifices permettant un refroidissement plus rapide de ces endroits plus délicats (refroidisseurs, nervures additionnelles, ...etc.).

Le passage du moule au séchage occasionne souvent, à la surface de l'empreinte, des gerçures qu'il faut réparer soigneusement, d'où la nécessité d'une main-d'œuvre très qualifiée.

- Moulage de la demi-partie inférieure.
- Talcage du plan de joint pour éviter le collage.
- Indexage du demi-modèle supérieur sur le demi-modèle inférieur.
- Indexage du châssis supérieur sur le châssis inférieur.
- Moulage de la demi-partie supérieure.
- Ouverture du moule pour extraire les deux demi-modèles.
- Finition du moule : descente de coulée, événements, tirages d'air, attaques, enduirage éventuel de l'empreinte (graphite par exemple), séchage, flambage, soufflage pneumatique pour éliminer toute trace de sable).

- Remmoulage des noyaux dans la partie inférieure.
- Fermeture du moule par les systèmes d'indexage ou de goujonage.
- Pose de masses de charge (poids de charge) sur la partie supérieure ou crampage.
- Coulée.

Après coulée et refroidissement, les moules sont détruits pour récupérer les pièces. Le sable de moulage est régénéré dans la sablerie [5-6].

### 3- Outillages

Dans les ateliers de moulage main, on utilise généralement, suivant les procédés :

- des planches de profil pour le moulage au trousseau de pièces circulaires, hélicoïdales ou rectilignes qui peuvent être moulées par ce procédé économique.
- des modèles et boîtes à noyaux en bois ;
- des modèles en polystyrène que l'on emballe dans des sables autdurcissants ;
- des châssis de moulage , cadres rigides en acier coulé, fonte, ou profilés métalliques, disposés autour du modèle, adaptés aux dimensions du moule, pour contenir le sable de moulage et permettre son serrage. Ils peuvent être simples ou avec des barres pour les grands moules, en général carrés ou rectangulaires, et quelquefois de formes spéciales adaptées à la pièce à fabriquer ;
- des outils de serrage du sable, pilettes, fouloirs manuels ou pneumatiques ; et les outillages individuels des mouleurs (spatules...).

Bien que très ancien, le moulage main a su évoluer dans ses méthodes, ses techniques et ses procédés, ce qui lui a permis de mieux répondre aux demandes des clients et de supporter la concurrence d'autres techniques.

Mais il restera toujours obligatoire que soit mis au point le dessin de la pièce entre le bureau d'études du client, l'usineur et le fondeur, pour que le produit final réponde parfaitement au cahier des charges, dans les meilleures conditions de prix. C'est une condition impérative pour la réussite de ces fabrications de pièces, très souvent unitaires, qui ne peuvent bénéficier de mises au point successives [7].

### 4- Modèles :

L'exactitude des modèles pour la fonderie du zinc doit être plus grande, la surface des modèles doit être absolument propre et lisse ; toute rugosité s'imprimerait dans le sable et apparaîtrait sur la surface.

Les modèles doivent donc être plus haute précision car on prévoit moins de tolérance d'usinage pour le zinc.

Les modèles sont réalisés en bois, en résine polymères ou en matériaux métalliques

## a) travail du bois :

Le travail du bois s'effectue à l'aide des machines traditionnelles telles que :

- scie à ruban
- scie circulaire
- dégauchisseuse
- raboteuse
- toupie
- défonceuse
- perceuse
- ponceuse, etc...

Les différentes formes sont réalisées en partant de planches ou plateaux venant des scieries, qui sont découpés, façonnés, puis assemblés, collés et poncés avant de subir l'opération de vernissage qui les protégera. Des agents atmosphériques et de l'humidité du sable de moulage.

## b) travail des résines :

La mise en œuvre des résines doit se faire dans un local convenablement aéré et dont la température est de l'ordre de 18 à 20 °C. Avec une température supérieure à 20 °C, la polymérisation serait trop rapide et des retraits excessifs suivis de déformations se produiraient. À l'inverse, une température inférieure à 18 °C favoriserait une prise d'humidité freinant la polymérisation et pouvant aller jusqu'à la stopper.

Il est impératif que les mélanges résine-charge-durcisseur soient malaxés soigneusement, en prenant soin de ne pas provoquer d'inclusions d'air afin d'éviter, sur les outillages, l'apparition de soufflures ou bulles sous la couche de surface. Bien que peu pratique à réaliser, une mise sous vide du mélange est souhaitable avant son utilisation.

## c) travail des métaux :

Les machines utilisées sont celles des ateliers de mécanique :

- tour
- fraiseuse
- raboteuse
- perceuse, etc...

Mais les formes souvent complexes des outillages nécessitent l'utilisation de fraiseuses à reproduire, machines sur lesquelles le trajet de la fraise est défini par un reproducteur ou master réalisé au préalable par le modelleur [7].

## II-4 Technique des attaques de coulée :

On entend par technique des attaques en fonderie, les moyens qui servent à diriger le métal liquide dans le moule et à conduire la solidification de telle sorte qu'on obtienne une pièce coulée saine, sans défauts de fonderie. La nature des défauts n'est

pas toujours la même, elle dépend du métal qu'on coule, La technique des attaques comprend deux groupes de moyens :

1- moyens situés avant le moule :

- descente de coulée
- chenal ou canal
- attaque

2- moyens dans le moule :

- refroidisseurs
- masselottes

comme le métal doit remplir le moule par sa pression hydrostatique et non par une sur pression créée artificiellement comme dans la coulée sous pression, on doit employer une certaine hauteur de chute pour atteindre la vitesse de coulée nécessaire pour remplir le moule et comme le zinc est très oxydable, il ne faut donc pas que la hauteur de chute soit trop grande et la vitesse de coulée ne doit pas dépasser une certaine valeur. Il faut par conséquent :

- a) mouler horizontalement ;
- b) remplir rapidement le système de coulée (descente-chenal-attaques) qui doit demeurer sous pression.
- c) Régler le temps de remplissage du moule non pas en augmentant la vitesse d'écoulement mais en réglant le nombre et la grandeur des attaques.

Ce système de remplissage type est décrit. Destiné à faire parvenir le métal liquide de la louche ou de la poche de coulée à l'empreinte de la pièce dans le moule, il est similaire à celui utilisé pour d'autres métaux.

Pour les alliages du Zinc, le système doit être conçu de manière à respecter les règles suivantes :

- calibrer la descente de coulée pour éviter des décollements de la veine liquide qui provoquent une aspiration de l'air (risque de soufflures) ;
- limiter la vitesse du métal à environ 1 m/s pour conserver un régime d'écoulement laminaire et éviter les changements brutaux de direction et les angles vifs aux raccordements des attaques et des chenaux, de manière à éviter les turbulences (risque de formation d'oxydes par ruptures de la couche d'alumine protectrice et augmentation des surfaces de contact entre l'alliage liquide et l'air) ;
- répartir au mieux les attaques et éviter les circulations locales du métal dans l'empreinte (risque de formation de points chauds) ;

La figure 1.a montre comment se forment les oxydes lors de la coulée, par chute ou choc brutal de l'alliage contre une paroi.

Les entraînements d'air sont surtout fréquents dans les descentes de coulée ou chenaux divergents. Voir figure 1.b.

Il est nécessaire également de prévoir des congés de raccordement pour éviter les variations brusques de vitesses. (Figure 1.c).

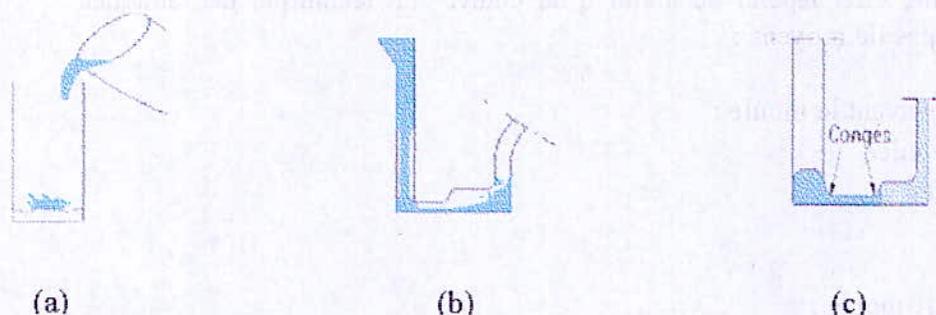


Figure 1 : -a- les oxydes formés lors de la coulée.  
 b- l'entraînement d'air dans la descente.  
 c- le congé de raccordement [5].

### 1. descente de coulée :

On détermine la hauteur de la descente pour un moulage horizontal d'après la hauteur de la pièce augmentée de la hauteur de la masselotte nécessaire.

Depuis le début de l'opération de remplissage jusqu'au moment où le métal a rempli tous le système de coulée jusqu'à la pièce, on est en présence du danger maximum d'entraînement de la mousse qui s'est formée pendant que le métal se précipitait vers le bas. Plus la section de la descente de coulée est étroite, moins il peut arriver d'écume dans le moule.

Si le métal doit couler de très haut, la formation de mousse est plus abondante surtout si la section de la descente est trop grande. Il faut naturellement maintenir aussi petite que possible la chute libre du métal entre le creuset de coulée et la descente.

D'après les lois de l'écoulement des liquides, le courant de liquide qui tombe se rétrécit pour certaine hauteur de chute et le métal ne remplit plus toute la section du canal de descente.

### 2. Chenal de coulée :

Quand on a pris des précautions pour éviter que la moindre quantité d'air ou d'écume possible soit entraînée dans la descente ou qu'il s'y produise de la mousse, il faut en faire autant pour le chenal qui conduit le métal tout près du moulage et pour les attaques qui le font pénétrer dans la pièce.

On peut maintenir dans le chenal la mousse entraînée jusque là en y plaçant des filtres en matière réfractaire.

On peut arrêter plus simplement la mousse en cet endroit, en diminuant la vitesse du métal qui le traverse grâce à une augmentation correspondant de la section du chenal de coulée et en retenant la mousse par des chicanes en dents de scie.

On exécute généralement le chenal avec une section trapézoïdal pour éviter la formation de mousse par turbulence.

Un chenal de section en demi-cercle ou demi-ovale est tout à fait défectueux surtout lorsque l'attaque vient se raccorder au bord supérieur du chenal. En outre il faut veiller à ce que trop brusques changements de direction du chenal ne provoquent une nouvelle formation de mousse.

Il faut prévoir un congé assez grand pour que le jet de métal s'écoule sans empêchement et même avec des angles bien arrondis, il peut encore se produire de la mousse lorsque la vitesse de coulée est trop grande.

La transition entre la petite section de la descente et la grande section de la coulée est trop brusque. Grâce à des élévations ondulées, on peut obvier à cette formation de mousse.

### 3. Attaque :

La meilleure méthode d'empêcher la mousse d'être entraînée dans le chenal est de couler avec une attaque en forme de cornichon mais elle est trop chère.

On cherche à empêcher l'écume qui s'est rassemblée dans le chenal de pénétrer dans la pièce en ne permettant au métal de couler dans le moule lui-même que lorsque le chenal est complètement rempli. On peut y arriver de plusieurs manières.

On fait l'attaque en forme de cornichon arrondi ou plat. De même que pour les descentes de coulée, une section à arrêtes vives peut s'opposer à la turbulence du courant de métal, on peut donc l'adopter aussi avantageusement pour le chenal.

Il en est de même pour l'attaque qui doit être autant que possible rectangulaire, plate et en forme de langue et non comme on la voit souvent, découpée dans le sable sous forme demi-ronde ou triangulaire.

Il ne faut pas rétrécir l'attaque vers le moulage car ceci augmenterait la vitesse de coulée, elle doit s'élargir. L'angle d'élargissement peut être de 5 à 10°, sans cela, le flot de métal pourrait risquer de se partager.

Il faut bien arrondir le passage du chenal à l'attaque et de l'attaque au moulage pour éviter la turbulence, Plus la vitesse de coulée est grande, plus il faut surveiller attentivement l'arrondi des passages.

Il faut éviter particulièrement les changements brusques de section entre le chenal et l'attaque de coulée ; autrement il peut y avoir une séparation entre le courant de métal et la paroi du moule et une aspiration d'air à travers la paroi du moule.

On doit choisir la position des attaques sur le chenal autant que possible de manière qu'elles soient à une certaine distance de la descente et que le métal ne coule pas directement dans l'attaque et de là dans le moulage.

L'attaque doit toujours être dirigée par rapport à la pièce de telle manière que le courant de métal coule d'abord devant l'attaque, se calme dans le chenal et après seulement arrive dans le moulage.

Il faut veiller tout particulièrement à ce que le métal n'arrive pas dans l'attaque perpendiculairement à la paroi du moule, Il en résulterait une formation de mousse et une érosion de la paroi du moule.

Il est bien préférable de faire arriver de métal parallèlement à la paroi, mais ce n'est pas toujours possible, lorsqu'il y a plusieurs attaque, et l'on adopte une attaque où le métal arrive obliquement.

Nous parlerons plus loin du rapport des sections de l'attaque et du chenal ainsi que de la descente de coulée mais en tout cas il est important que l'attaque remplisse les deux condition suivantes :

- 1- Remplissage calme et complet du moule. Avec beaucoup d'attaque, on peut y arriver même en coulant à basse température.
- 2- Les attaques doivent introduire le métal dans le moule de manière que la solidification se fasse sans soufflures à la surface de la pièce et sans retassures internes, sans criques ou tentions.

Le processus de solidification dans la pièce est défavorisé lorsque l'on doit attaquer par le bas et que le métal le plus chaud se trouve en bas, la solidification tend à se faire ainsi de haut en bas. Le contraire serait plus avantageux car on pourrait exubérant plus efficacement contres les retassures.

#### 4. Emploi des refroidisseurs :

Il est très courant en fonderie sable et indispensable pour les deux raisons suivantes :

- augmentation de la vitesse de refroidissement dans les masses ou bossages. Il en résulte une diminution de la porosité de gazage possible et une augmentation des allongements ;
- modification de l'ordre de solidification de différentes parties de la pièce. Cela permet d'orienter la solidification vers les masselottes et de repousser les retassures dans les masselottes.

Les refroidisseurs sont généralement en fonte ou en alliages cuivreux.

Il est nécessaire de respecter quelques principes de base pour leur conception et leur utilisation.

Cette figure 4 montre, dans le principe, l'action bénéfique d'un refroidisseur sur les défauts de retassure. Leur volume (épaisseur) permet de moduler leur efficacité.

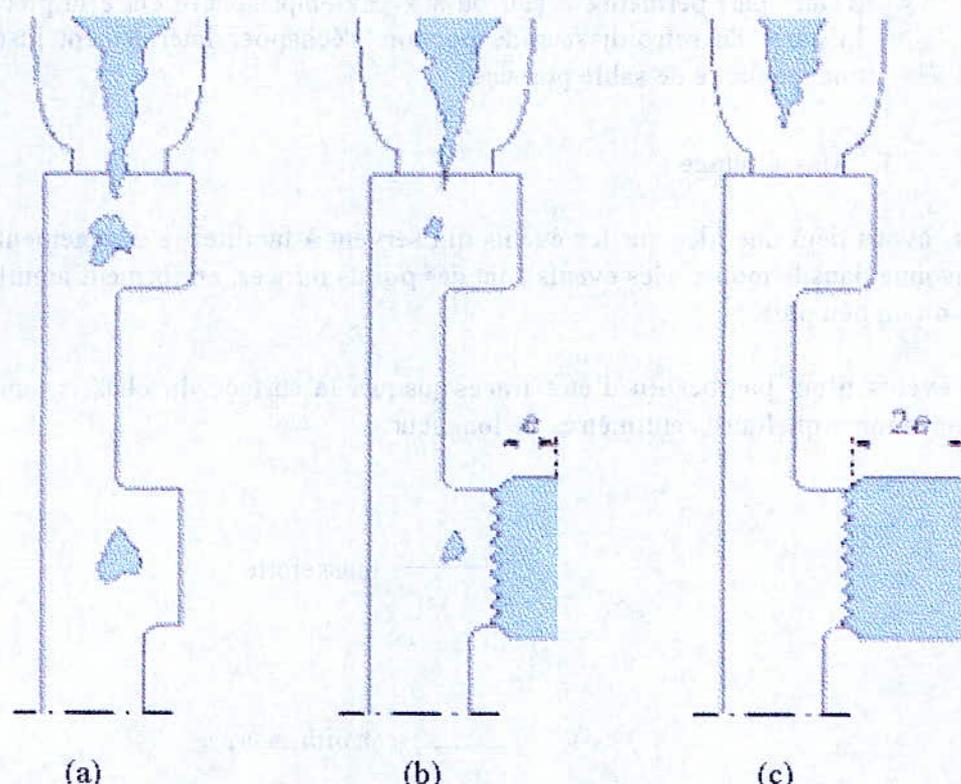


Figure 4 : Mise en place d'un refroidisseur sur un bossage pour repousser la retassure dans la masselotte [5].

- (a)- masselotte sans refroidisseur.  
 (b)- avec refroidisseur d'épaisseur  $e$ .  
 (c)- avec refroidisseur d'épaisseur  $2e$ .

– Quelques principes de base pour la conception et l'utilisation des refroidisseurs

1- Deux refroidisseurs ne peuvent être jointifs et doivent être séparés par une languette de sable (épaisseur 4 à 6 mm) ; dans le cas d'utilisation de plusieurs refroidisseurs, ces languettes ne doivent pas être alignées, mais former des lignes brisées pour éviter le risque de formation de criques rectilignes sous l'effet de la contraction à la solidification.

2- L'épaisseur des refroidisseurs est fonction de la masse de la zone de la pièce à refroidir ; en principe, l'épaisseur doit être de 1 à 1,5 fois celle de la paroi correspondante de la pièce, et l'on a intérêt, généralement, à prévoir un refroidisseur plutôt trop épais que trop mince, ce dernier risquant de jouer le rôle d'un réchauffeur en fin de solidification.

La surface d'un refroidisseur doit être rainurée (côté pièce) pour :

- d'une part augmenter sa surface de contact, donc faciliter les échanges thermiques ;

- d'autre part permettre à l'air ou aux gaz emprisonnés entre la pièce et la paroi du refroidisseur de pouvoir s'échapper latéralement jusqu'à une languette de sable poreuse.

#### 5. Masselottage :

Nous avons déjà une idée sur les événements qui servent à faciliter le dégagement de l'air emprisonné dans le moule. Ces événements sont des points minces, en forme d'aiguilles, ayant 1cm ou un peu plus.

Les événements n'ont pas besoin d'être tracés jusqu'à la surface du châssis mais il suffit de leur donner quelques centimètres de longueur.

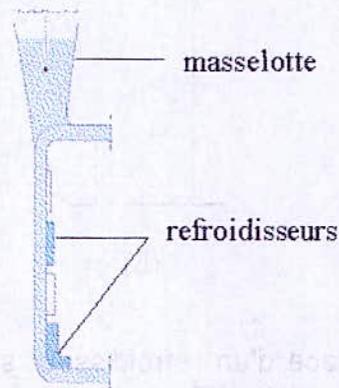


Figure 5 : une masselotte avec des refroidisseurs [5].

La masselotte a pour rôle d'assurer l'alimentation en métal liquide des endroits du moulage où il y a accumulation de matière, afin d'éviter les retassures.

Il faut donc que les masselottes restent plus longtemps liquides que les parties du moulage qui sont sous elles et soient correctement reliées avec elles.

Le poids de la masselotte peut atteindre parfois 100% et plus de celui de la pièce, et l'on se rend compte de la grande importance de l'emploi convenable des masselottes ne serait-ce qu'au point de vue économique. La masselotte doit remplir les conditions suivantes :

- la masselotte doit contenir du métal chaud.
- la masselotte doit être placée au voisinage de l'endroit du moulage à alimenter en métal.

Comme on l'a vu précédemment, les refroidisseurs servent à diriger la solidification et à repousser les défauts dans les masselottes. Ces dernières doivent être calculées en respectant trois règles de base :

- règle des modules de refroidissement : module de refroidissement masselotte  $\geq 1,3$  module refroidissement pièce ;

- règle des volumes : volume masselotte  $\geq 0,5$  volume pièce ;
- règle des zones d'action : au maximum 15 fois l'épaisseur dans le cas de pièces courantes. Ces zones d'action sont plus courtes lorsque les exigences en matière de caractéristiques mécaniques sont plus élevées.

Ces règles ont une implication directe sur leur forme, leur volume et le module du col de raccordement à la pièce, col qui doit être le plus large possible pour favoriser le « mass feeding », ou alimentation à l'état pâteux que l'on rencontre dans les alliages à intervalle de solidification moyen ou élevé

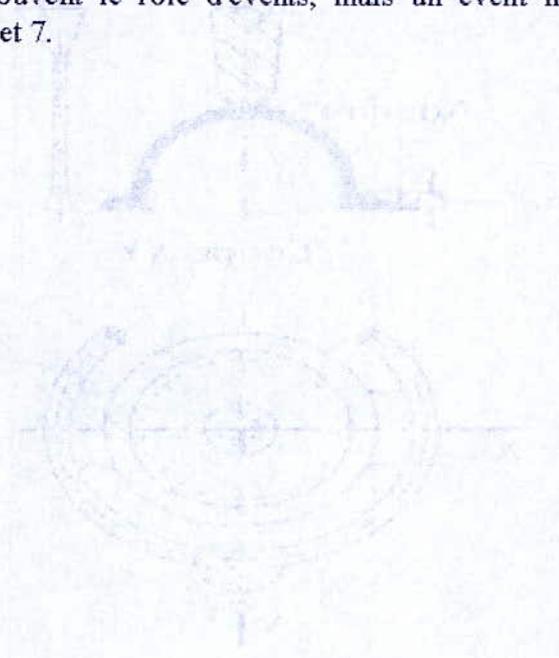
Dans le cas des pièces de grande hauteur (50 à 70 cm), pour éviter que le métal soit à une température trop basse dans les masselottes, on réchauffe celles-ci en prévoyant des coulées de réchauffage, raccordées à un bassin. Ces dernières entrent en action lorsque les masselottes sont au 3/4 pleines.

Évacuation de l'air et des gaz du moule :

Compte tenu de la faible masse volumique des alliages du Zinc, les moules doivent être largement ventilés pour permettre une évacuation facile de l'air et des gaz du moule au cours du remplissage.

Une grande partie de l'air s'échappe par le joint de moulage et à travers le sable, qui est perméable. Mais dans certains cas, en particulier aux endroits où des poches d'air risquent d'être bloquées, des événements mettant en communication l'empreinte et l'air libre sont à prévoir.

Les masselottes jouent souvent le rôle d'évents, mais un évent ne remplace jamais une masselotte. Figures 6 et 7.



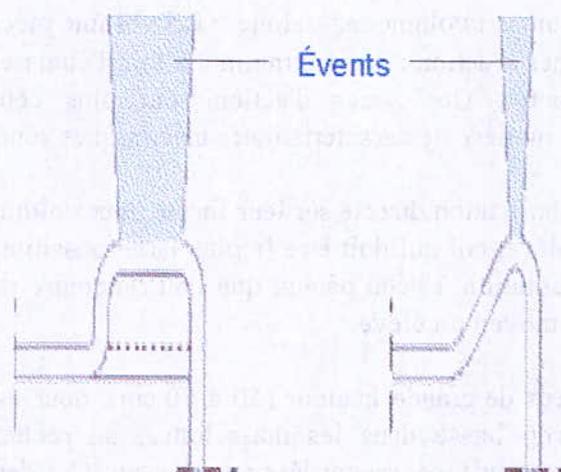


Figure 6 : masselottes jouent le rôle des évents [5].

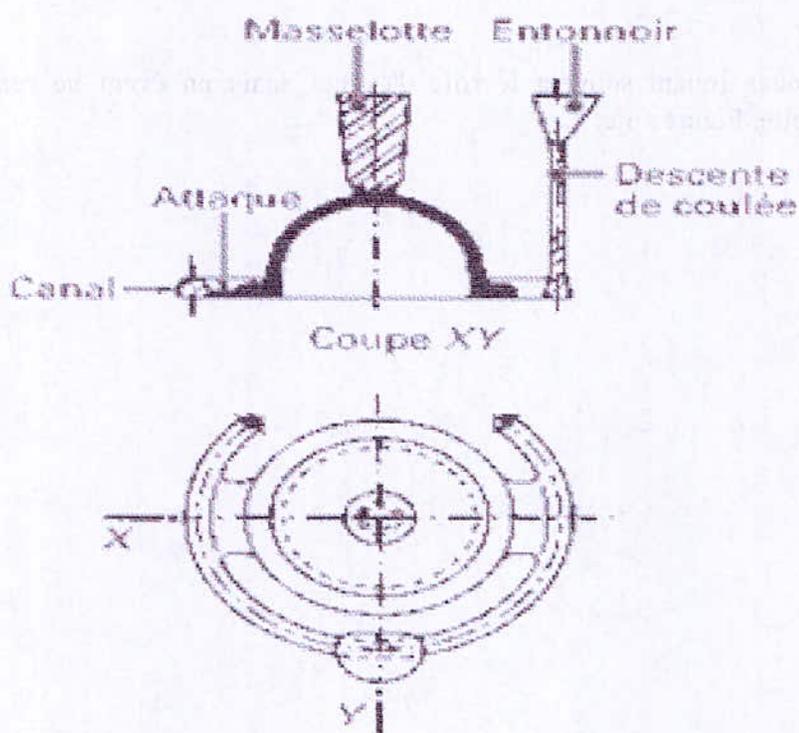


Figure 7 : Exemple de système d'alimentation (remplissage et masselottage) [5].

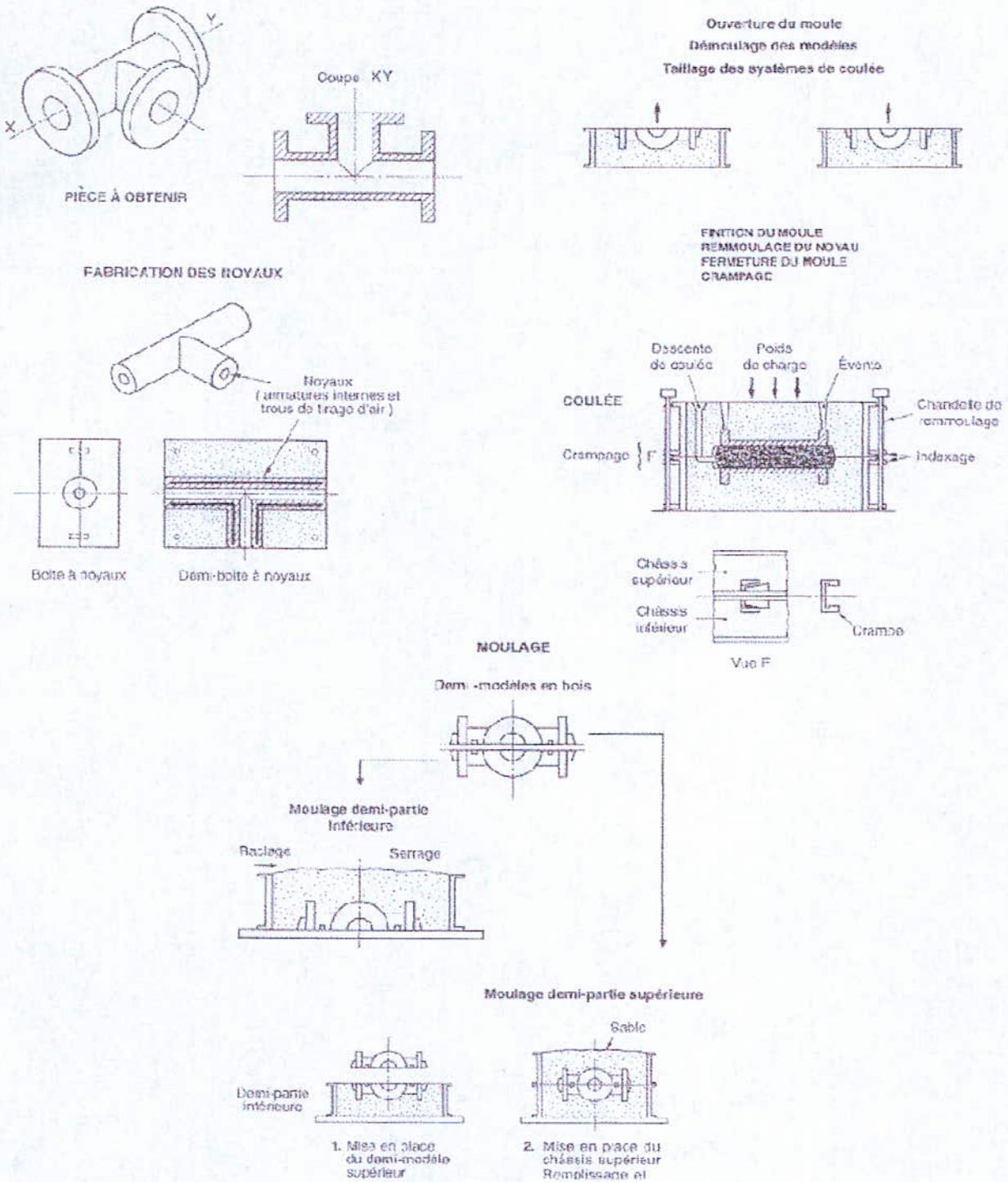


Figure 8 : Exemple de Fabrication d'un élément de tuyauterie par moulage main

**CHAPITRE III :**

**DEFAUTS DE**

**FONDERIE**

Les défauts présents dans les pièces de fonderie ont des aspects et des formes qui dépendent des causes qui ont générées.

Ces défauts sont causés soit par l'élaboration, soit par le moule.

L'étude de chaque défaut sera elle-même divisée en trois parties [7]:

- Les origines.
- L'aspect.
- Les remèdes.

### III-1 Défauts dus au métal :

#### III-1-1 Défauts d'élaboration :

##### 1. Dus à une erreur dans la composition chimique des charges.

###### - Origines :

La désignation du défaut suffit à déterminer son origine. Il résulte, soit d'une erreur dans le calcul de la composition de la charge solide, soit de l'emploi de matières métalliques mal connues du point de vue chimique, soit de pesées incorrectes, soit d'oubli ou d'inattention, soit encore d'une fusion mal conduite.

###### - Remèdes:

Ils sont simples en apparence. Il suffira de classer les matières premières entreposées sur parc en fonction de leur composition chimique, de veiller attentivement à l'exactitude des pesées, de vérifier la justesse de la bascule. Le fondeur devra en outre suivre la fusion avec la plus grande attention.

##### 2. Dus à une fusion mal conduite.

###### - Origines :

Cette anomalie peut être due à :

- une dissolution exagérée de gaz dans l'alliage.
- une suroxydation de certaines matières premières.
- un mélange de corps étrangers plus réfractaires que le produit élaboré.
- une mauvaise conduite de l'appareil de fusion.
- des défauts d'origine métallurgique provoqués par une exagération de certains phénomènes - retrait - rochage - ségrégations: retassures, piqûres, bouillonnements, composition hétérogène, etc....

- **Remèdes :**

On parera à ces défauts en :

- n'utiliser qu'exceptionnellement des matières exagérément fragmentées (limailles, tournures) dont l'effet est de modifier le fonctionnement de l'appareil de fusion.  
On veillera au contraire à récupérer les tournures à part qui, sous forme de lingots, serviront de base à une analyse moyenne.
- proscrire sévèrement l'emploi de matières premières suroxydées qui risqueraient de compromettre la désoxydation du bain.
- charger les matières premières dans un ordre préalablement établi : ainsi les matières les plus volatiles ou les plus oxydables seront chargées en fin de fusion et les matières les plus difficiles à fondre seront chargées directement sur le coke ou dans la partie du four la plus chauffée.
- conduisant et en réglant convenablement la flamme de chauffe.

### 3. Dus à un métal trop froid ou chargés d'impuretés.

- **Origines :**

Les causes de ce défaut sont identiques aux précédentes.

- **Aspect:**

Le produit élaboré manque de coulabilité.

- **Remèdes :**

- Eviter de charger des matériaux suroxydés.
- Pratiquer une désoxydation parfaite.
- Doser avec le plus grand soin la quantité de combustible et de vent.
- Afin d'éviter l'oxydation.
- Conduire convenablement la chauffe, jusqu'à la température nécessaire.
- Dans la mesure du possible, régler la température automatiquement.

## III.1.2 Défauts due a l'alliage

### 1- Effets du retrait :

- Le retrait n'est pas un défaut: c'est la constatation du changement dimensionnel des pièces de fonderie. Toute pièce, on le sait, est plus petite que l'empreinte

dans laquelle a été coulé l'alliage. Ce retrait apparent total résulte de la juxtaposition de plusieurs phénomènes physiques :

- **A l'état liquide**, l'alliage coulé dans le moule se contracte en refroidissant. Aussi longtemps qu'il demeure liquide, on ne constate qu'une baisse des niveaux aux évents et coulées. Le métal « descend » dans le moule.
- **Durant la solidification**, la combinaison de phénomènes physiques et physico-chimiques s'accompagne de changements de volume, presque toujours imprévisibles, mais qui se traduisent en fait le plus souvent par une contraction. Notons cependant qu'il n'en va pas de même dans le cas de fontes grises complètement graphitisées au cours de la solidification; on peut alors constater un gonflement.
- **A l'état solide**, et jusqu'à la température ambiante, la pièce coulée se refroidit et suit la loi générale qui régit les phénomènes de dilatation: la pièce se contracte.

Le retrait total est fonction de nombreux facteurs: il est notamment influencé par :

- La composition de l'alliage.
- La structure de l'alliage qui varie elle-même très sensiblement avec la vitesse de refroidissement dans le moule.
- La gêne opposée par le moule au retrait.
- L'intervalle de solidification de l'alliage, etc....

Ainsi, à l'exception du cas idéal où nous nous trouvons en présence d'empreintes de formes géométriques particulièrement simples, remplies avec des alliages parfaitement définis dans des conditions bien déterminées, il est très difficile de prévoir le retrait exact que devra subir une pièce de fonderie.

L'appréciation nécessaire pour l'établissement du modèle impliquera simultanément diverses précautions et des mesures correctives qui permettront, après contrôle des premières pièces coulées, de corriger les cotes (sur épaisseurs, modifications de formes, etc...). L'emploi d'un mètre à retrait ne saurait assurer en aucune façon des garanties suffisantes.

Le retrait peut être à l'origine de nombreux défauts susceptibles de provoquer, soit la rupture des pièces, soit des inexactitudes dimensionnelles, soit des retassures, des criques, des déformations, etc....Le modelleur devra tenir compte de ces facteurs et utiliser un mètre à retrait correspondant au chiffre choisi. Parmi les défauts imputables au retrait, nous citerons :

#### a) La retassure :

La retassure est, soit une cavité, apparente ou invisible, soit un groupe de cavités provoquées par la contraction du métal coulé dans l'empreinte considérée. La retassure est continue ou divisée à l'extrême. Elle peut être formée d'une infinité de petites cavités ou porosités.

L'importance du vide est tout à la fois fonction du volume total du métal liquide constituant la masse, de l'importance de la surchauffe de l'alliage coulé, de l'importance du retrait spécifique de l'alliage coulé.

**-Aspect :**

Les retassures qui peuvent affecter les pièces de fonderie se présentent sous les formes les plus diverses :

- Entonnoir ou excavation à parois rugueuses dans la partie supérieure des masses.
- Cavité interne, à paroi rugueuse ou à paroi parsemée de « picots » ou de ramifications arborescentes (dendrites).
- Zones poreuses présentant de nombreuses cavités de petites dimensions très rapprochées et donnant l'illusion de séparer les grains du métal.

Dans la conclusion de l'importante étude consacrée par M. PORTEVIN à ce problème, l'éminent savant nous apprend que les risques de retassure seraient éliminés s'il était possible de :

- Couler un alliage de volume invariable.
- Si la masse coulée était isotherme, les changements éventuels du volume auraient lieu dans toute la masse coulée.
- Si la masse coulée refroidissait par couches parallèles horizontales (coulée continue de lingots).
- Si on alimentait les retassures en métal liquide au fur et à mesure de leur formation (masselottes, coulée continue).

**-Remèdes :**

Pour éviter ou limiter les retassures dans les pièces on s'efforcera donc, dans chaque cas, de mettre en pratique les principes énoncés ci dessus. Cependant, les remèdes proposés s'avèrent souvent dangereux et susceptibles de provoquer l'apparition de nouveaux défauts.

On ne saurait donc trop conseiller de ne les utiliser qu'à bon escient et avec une grande prudence.

**1- Diminuer le retrait général de l'alliage :**

- Vérifier si la composition chimique est conforme aux épaisseurs.
- Couler à une température aussi basse que possible sans toutefois exagérer.
- Ajouter des éléments à l'alliage - impuretés de faible nocivité ou

éléments neutres, par exemple : Les alliages relingotés retassent moins que ceux de première fusion.

- (Gazer) l'alliage coulé: il présentera, par suite du rochage à la solidification, une retassure apparente plus faible. On utilisera des poudres anticriques en fonderie d'alliages légers.

**2- Faciliter la solidification dirigée** par calibrage des sections d'attaques de coulée, usage de (filtres), de refroidisseurs (internes ou externes).

**3- Alimenter en métal liquide les parties qui se solidifient en dernier lieu :**

- Jets de coulée, canaux et attaques de grosse section formant réserve de métal chaud en charge sur les pièces.
- Masselotage des masses
- Ouverture large des alimentations (permettant le pompage).

**4- Augmenter la pression au-dessus des parties à charger :**

- Masselottes ordinaires au-dessus des parties à alimenter et liaisons masselotte-pièce suffisante.
- Masselottes « atmosphériques ».
- Maintenir les masselottes « chaudes ».

**5- Étudier le tracé de la pièce**

Pour supprimer, dans la mesure du possible, les parties massives, pour leur assurer une épaisseur sensiblement constante ou pour les évider par l'emploi de noyaux.

**b) Les criques :**

Ces défauts se produisent en surface. Ils sont caractérisés par des fissurations peu profondes cheminant le long des grains de métal et apparaissant, à chaud, sous l'action du retrait.

**- Origines :**

Les criques sont dues à une gêne du retrait linéaire. Cette gêne provient, soit de la forme de la pièce, soit d'une cause extérieure - moule étuvé, noyaux trop rigides, armature mal conçue ou mal placée dans le noyau, etc. Ajoutons qu'en fonction de la plus ou moins grande résistance à chaud de l'alliage coulé, celui-ci présentera une plus ou moins grande aptitude à la crique.

**- Aspect**

Les criques apparaissent sous forme de fissures dirigées perpendiculairement à l'action du retrait. Les grains constituant l'alliage semblent arrachés les uns aux autres.

**- Remèdes :**

Divers procédés permettent d'éviter les criques :

- Diminuer le retrait linéaire par l'étude du pourcentage des constituants de l'alliage.
- Réduire les oppositions au retrait par une étude des formes de la pièce

et de la méthode de moulage.

### III.2 Défauts du au moule :

#### III.2.1 Défauts aux gaz et origines des gaz :

Les gaz apparaissant dans les moules après leur remplissage peuvent provenir soit du moule, soit des noyaux, soit de réactions chimiques entre l'alliage et certains corps-soutiens, coquilles, etc..., soit de l'alliage lui-même - gaz dissous, rochage, etc... Les principaux gaz rencontrés dans le métal liquide sont :

- L'air contenu dans l'empreinte.
- L'air entraîné dans le moule par le jet de coulée au cours de la coulée.
- Les gaz provenant du moule et des noyaux, et notamment la vapeur d'eau contenue dans le sable.
- Les matières volatiles provenant de la décomposition des agglomérants constituant les noyaux.
- Les produits de la combustion de diverses matières contenues dans les agglomérants et les enduits.
- Les gaz résultant des réactions du métal sur des supports rouillés, des coquilles mal poteyées.
- Les gaz provenant de l'alliage coulé, quelle qu'en soit l'origine.

#### 1. La soufflure :

##### - Origines :

Elle apparaît lorsque des gaz dissous dans le métal n'ont pu être évacués lors de la solidification. On notera que ces gaz proviennent de sources diverses : ils ont pu, soit être introduits dans le métal, soit s'y trouver préalablement. Quelle que soit leur origine, ils forment des poches plus ou moins importantes qui se répartissent au sein de la masse métallique. Il convient de distinguer le refus de la soufflure:

Dans le premier cas, la poche de gaz se forme, soit à la surface de la pièce, soit à proximité de cette surface, dans le second, la poche de gaz apparaît au sein même du métal.

##### - Aspect:

#### a) Les soufflures de peau.

- Elles suivent de près le commencement de la solidification du métal: l'alliage libérant progressivement des gaz, on constate alors l'apparition de poches gazeuses qui, par décantation, ont tendance à remonter à la surface du bain.

#### b) Les soufflures internes.

- Ce phénomène apparaît lorsque les bulles de gaz ont été stoppées au cours de leur ascension. Emprisonnées sous forme de bulles, elles présentent des parois lisses.

Il nous paraît utile de rappeler brièvement les origines des gaz générateurs de soufflures. Ceux-ci peuvent provenir :

- Du moule: Présence de bulles d'air entre les grains de sable ; Humidité du sable ; Humidité en surface d'un moule métallique ; Air contenu dans l'empreinte ; Matières volatiles contenues dans le sable ; Décomposition par la chaleur des matières contenues dans le sable.
- Du métal: Gaz dissous (rochage) ; Gaz résultant de réactions chimiques dans le métal.

De réactions entre le métal et le matériau du moule. C'est le cas des alliages ultra-légers.

**- Remèdes :**

Divers remèdes permettent de parer aux risques des soufflures :

- Réduire la pression des gaz et, partant, diminuer la quantité de gaz dégagés dans le moule. Ces résultats peuvent être obtenus soit en abaissant le pourcentage d'humidité contenue dans le sable, soit par étuvage des moules.

- Diminuer les quantités de matières volatiles et de gaz de combustion dégagés.

- Eviter que l'air ne soit entraîné par la coulée en veillant à l'exécution correcte des entonnoirs de coulée, des chenaux et des attaques de coulée.

- Faciliter l'évacuation des gaz. On atteindra ce but en améliorant la qualité du sable, en augmentant sensiblement le nombre des trous d'air dans le moule, en surveillant attentivement le fonctionnement du tirage d'air entre les noyaux, en plaçant les événements de section suffisante aux points convenables.

- Utiliser des refroidisseurs, des supports toujours parfaitement secs et désoxydés.

## 2. Le refus:

**- Origines :**

Ce défaut peut être dû, soit à une mauvaise perméabilité du sable constituant le moule, soit à des tirages d'air obstrués. Il apparaît, en outre, lorsque les événements sont inexistantes ou de trop faible diamètre.

**- Aspects :**

- Le refus se présente sur la surface de la pièce sous la forme d'une cavité à parois lisses et à contours arrondis. Il doit sa forme arrondie à la poche d'air qui est emprisonnée et dont la pression a été suffisante pour s'opposer au remplissage correct de l'empreinte.

**- Remèdes :**

Il est indispensable d'accroître sensiblement les sections d'évacuation de l'air, et partant

- De prévoir un nombre suffisant d'évents que l'on disposera aux emplacements

- les plus favorables.
- D'augmenter la perméabilité du moule grâce à une étude très soignée du serrage, en utilisant un sable plus gros, en réduisant la teneur en humidité.
- D'augmenter le temps de remplissage du moule. On évitera ainsi la turbulence du métal liquide. De plus, les gaz auront le temps de s'évacuer.
- De couler à plus basse température afin de diminuer le pouvoir dissolvant du métal liquide.
- D'éviter les dégagements brusques de gaz contre les parois du moule (couches ou enduits peu stables, poteyages chargés d'impuretés organiques, etc....).

### 3. Les piqûres:

Ces petites cavités, disposées dans la pièce et provenant d'un dégagement gazeux, se présentent sous la forme d'un ramassis de petites. Les Anglais les appellent (pinholes): les trous d'épingle.

#### - Causes :

Les gaz qui se dégagent en petites bulles lors de la solidification du métal peuvent être provoqués par :

- Un rochage, conséquence d'un mauvais dégazage du métal.
- Une dissolution d'hydrogène au cours des manutentions du métal liquide (poche mal séchée, moule en attente, alors que son sable est chaud, buée condensée sur un noyau frais, etc....).
- Un entraînement d'air à la coulée. La paroi des (bulles) est alors oxydée.
- Les réactions gazeuses dont le métal coulé peut être le siège. Le métal, en effet, n'est pas calme (acier non calmé, alliage léger trop fraîchement chargé de (poudre anticriquet). Il s'ensuit l'apparition de piqûres dans la masse, formées par les produits gazeux distillés.
- L'air ou la vapeur d'eau qui, par effet de trompe, émulsionnent le métal coulé. Les piqûres peuvent être décelées dans la zone des coulées. Elles sont souvent oxydées et accompagnées de mousses.
- Le métal rencontre dans son trajet une zone fortement humide (coulée ou chenal mal raccordé) qui aura pour effet de diminuer la densité apparente de la pièce.

Il peut arriver qu'un morceau de moule ou de noyau soit entraîné dans la masse du métal et se mette brutalement à distiller. C'est là la cause de l'apparition d'une zone localisée de piqûres, voire de soufflures.

#### - Remèdes :

Il conviendra, en règle générale :

- De dégager l'alliage coulé.
- D'attendre un certain laps de temps avant de couler un métal calmé.
- De n'utiliser que des poches, ringards, coquilles parfaitement secs, chauds et déshydratés par un chauffage à plus de 300°.

- De veiller au tracé des dispositifs de coulée (effet de trompe).
- De bien sécher les raccords en moules sables ou les flamber.
- De veiller à obtenir un parfait état de siccité, de désoxydation, de protection des parois métalliques: refroidisseurs, support, coquilles, etc.

### III.2.1 Défauts du au sable :

Un sable de fonderie, correctement choisi pour un type de fabrication donnée doit répondre à certaines conditions.

Il devra notamment être susceptible de :

- Prendre l'empreinte du modèle dans ses moindres détails.
- Conserver au cours des manutentions la forme de cette empreinte.
- Résister à toute action dégradante du métal fondu.
- Permettre l'évacuation des gaz formés au cours de la coulée.

L'absence d'une seule de ces qualités peut être la cause de l'apparition de nombreux défauts sur les pièces.

#### 1. L'érosion.

##### - Origines :

Lorsque les grains de sable adhèrent malles uns aux autres, ils sont entraînés par le courant de métal liquide. Le manque de cohésion du sable est la cause principale de l'érosion. Celle-ci peut résulter également du passage d'une importante quantité de métal sur des parties fragiles.

##### - Aspect :

Elle se manifeste par la présence sur la pièce d'excroissances métalliques rugueuses sur lesquelles adhère du sable.

##### - Remèdes :

Modifier le dispositif de coulée en changeant la disposition des attaques, en augmentant leur nombre, en diminuant la température de coulée.

#### 2. Les rugosités. Les grippures. Le grésage.

##### - Causes :

Ces défauts sont dus, soit à l'utilisation de sables de moulage ou de noyantage à grains trop gros, soit à l'emploi de sables contenant de petites mottes d'argile non écrasées.

La rugosité des pièces de fonderie peut être causée par un excès brutal, local ou général de la pression du métal dans le moule.

a) Excès local: Elle peut affecter les petites pièces placées directement en bout d'un canal d'alimentation. Le métal, par effet dynamique, bute brutalement dans l'empreinte et abreuve le sable. On dit que la pièce a (du poil aux pattes).

b) Excès local ou général: Le moule est peu perméable. Les gaz sortant brutalement du sable provoquent une brusque pression dans le moule (coulées figées). Le métal cherche à fuir à travers le sable. Le (coup de gaz) est toujours à l'origine des pièces grippées.

Le ( coup de gaz ) peut être causé, soit par un excès de noir, soit par Un noir trop riche en matières volatiles (fonte), soit par un noyau tiède remoulé dans un moule froid et laissé en attente avant de couler.

**- Remèdes :**

On luttera contre ce défaut en :

- Utilisant un sable à grains fins susceptible de se serrer sans difficulté.
- Améliorant la finesse du sable par addition de matières pulvérulentes.
- Préparant le sable avec soin.
- Disposant convenablement les pièces dans les grappes.
- Remoulant les noyaux froids et en coulant aussitôt [7-8].

**DEUXIEME PARTIE :**

**ETUDE**

**EXPERIMENTALE**

**Chapitre IV :**  
**ELABORATION DE**  
**L'ALLIAGE ZA12**

## INTRODUCTION :

Lés travaux d'élaboration de l'alliage ZA12 ont été réalisés à l'unité fonderie aluminium de l'entreprise fonderie de Rouïba (DFR).

La réussite du procédé d'élaboration de l'alliage ZA12 doit tenir compte des considérations suivantes :

1. l'optimisation de la composition chimique de l'alliage + peut se faire que si on maîtrisait les pertes au feu des élément Al, Mg, Cu.

Ces pertes sont dues a des réactions d'oxydation d'évaporation ou de combinaison chimique.

2. l'interaction du fer du creuset et des outils avec ; le bain fondu de l'alliage ce qui agit négativement sur la qualité de l'alliage.

### IV.1 Procédé d'élaboration :

Pour élaborer l'alliage ZA12 dans de bonne condition nous avons adopté les mesures suivantes :

- utilisation d'alliages mères contenant le Magnésium ceci afin de limiter les pertes au feu ;
- procédé au poteyage du creuset en acier avant la fusion afin de limiter la dissolution du fer dans le bain liquide de l'alliage.

#### IV -1-1 Schéma du procédé :

##### 1. préparation des charges

Les matériaux utilisés pour l'élaboration du ZA12 sont :

- Al pur ;
- ZAMAK 3 ;
- AG10 (alliage Al-Mg contenant 10% Mg) ;
- Cu pur .

Nous avons vérifié l'état des charges, nous avons constaté l'absence de contamination et d'oxydation.

La préparation des charges a été réalisée de la manière suivante :

- Sciage pour obtenir de petite pièce et des copeaux pour faciliter la pesée et la fusion ;
- Pesée des charges séparée en ZAMAK 3, AG10, Cu et Al ;
- Réalisations des mélanges ZAMAK3 + AG10 + Al.

2. Poteyage du creuset en acier à l'aide d'un enduit pour limiter l'interaction du fer avec le bain fondu de l'alliage.
3. chauffage du creuset dans un four a gaz. le brûleur est situé au dessous du creuset.
  - Introduction de la charge (mélange ZAMAK 3 + AG10 + Al) dans le creuset lorsque ce dernier atteint une température d'environ 250°C ;
  - Lorsque le bain devient liquide on constate la formation d'une couche blanche opaque d'alumine, on procède à un écrémage et on introduit la Cuivre et on brasse à l'aide d'une tige en acier préchauffé.
  - Lorsque le Cuivre se dissout complètement on dégrasse à l'aide d'une louche et on coule l'alliage fondu dans un moule à la température désirée.

Le contrôle de la température est réalisée par une sonde électronique K a lecture digitale.

## IV.2 Optimisation de la composition :

### Introduction :

Pour optimiser la composition de l'alliage obtenue nous devons connaître les taux des pertes en éléments Al, Cu, Mg qui se produisent lors de la fusion.

- L'Aluminium a une faible densité ( $2.7\text{g/cm}^3$ ) et une grande affinité, il forme une couche d'oxyde  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a la surface de bain fondu.
- Le Magnésium a une faible densité et une grande affinité pour l'oxygène, il forme des scories grises à la surface du bain.
- Le Cuivre a une densité élevée ( $8.9\text{ g/cm}^3$ ) il tend a se condensé au fond du creuset, pour éviter ce phénomène, on doit procédé au brassage du bain.

### 1. Détermination des pertes aux feux :

#### 1.1 Calcul des charges :

Le calcul des charges se fait de manière suivante :

Les composants de la charge M sont dans le tableau 4 suivant :

Tableau 4 : les composant

ZAMAK 3	Masse $M_1$
AG10	Masse $M_2$
Al pur	Masse $M_3$
Cu pur	Masse $M_4$

- sachant que :

- Le Zinc provient totalement du ZAMAK 3.
- Le Magnésium provient du ZAMAK 3 et AG10.
- L'Aluminium provient du ZAMAK 3, de AG10 et de l'Aluminium pur.
- Le Cuivre provient du ZAMAK 3 et du Cuivre pur.

Soit :

A, b, c, d les fractions respectives du Zn, Al, Cu, Mg dans l'alliage ZA12

$$a = M_{Zn} / M$$

$$b = M_{Al} / M$$

$$c = M_{Cu} / M$$

$$d = M_{Mg} / M$$

les fractions des éléments dans les composants de la charge sont :

Dans ZAMAK 3

$$a_1 = (M_{Zn})_{Zamak3} / M_1$$

$$b_1 = (M_{Al})_{Zamak3} / M_1$$

$$c_1 = (M_{Cu})_{Zamak3} / M_1$$

$$d_1 = (M_{Mg})_{Zamak3} / M_1$$

Dans AG10

$$a_2 = (M_{Zn})_{AG10} / M_2 = 0$$

$$b_2 = (M_{Al})_{AG10} / M_2$$

$$c_2 = (M_{Cu})_{AG10} / M_2 = 0$$

$$d_2 = (M_{Mg})_{AG10} / M_2$$

Dans Al pur

$$a_3 = (M_{Zn})_{Al} / M_3 = 0$$

$$b_3 = (M_{Al})_{Al} / M_3$$

$$c_3 = (M_{Cu})_{Al} / M_3 = 0$$

$$d_3 = (M_{Mg})_{Al} / M_3 = 0$$

Dans Cu pur

$$a_4 = (M_{Zn})_{Cu} / M_4 = 0$$

$$b_4 = (M_{Al})_{Cu} / M_4 = 0$$

$$c_4 = (M_{Cu})_{Cu} / M_4$$

$$d_4 = (M_{Mg})_{Cu} / M_4 = 0$$

L'analyse chimique des composants est présentée dans le tableau 5 :

Tableau 5 : les fractions des éléments Zn, Al, Cu, Mg pour 1 kg de ZA12.

	masse	% Zn	% Al	% Cu	% Mg
ZA 12	M=1000g	a	b	c	d
Zamak3	M <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> =0.957	b <sub>1</sub> =0.0419	c <sub>1</sub> =0.001	d <sub>1</sub> =0.0006
AG10	M <sub>2</sub>	a <sub>2</sub> =0	b <sub>2</sub> =0.9	c <sub>2</sub> =0	d <sub>2</sub> =0.1
Al	M <sub>3</sub>	a <sub>3</sub> =0	b <sub>3</sub> =0.9995	c <sub>3</sub> =0	d <sub>3</sub> =0
Cu	M <sub>4</sub>	a <sub>4</sub> =0	b <sub>4</sub> =0	c <sub>4</sub> =1	d <sub>4</sub> =0

Le calcul de la charge permet d'écrire

$$a + b + c + d = 1. \quad \dots\dots\dots (1)$$

- Conservation en Zinc

$$a M = a_1 M_1 . \quad \dots\dots\dots (2)$$

- Conservation en Al

$$b M = b_1 M_1 + b_2 M_2 + b_3 M_3 . \quad \dots\dots\dots (3)$$

- Conservation en Cuivre

$$c M = c_1 M_1 + c_4 M_4 . \quad \dots\dots\dots (4)$$

- Conservation en Magnésium

$$d M = d_1 M_1 + d_2 M_2 . \quad \dots\dots\dots (5)$$

C'est un système a quatre équations a quatre inconnus : M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>

$$M_1 = (a/a_1) M . \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$M_2 = [(d.a_1 - d_1.a) / d_2.a_1] M . \quad \dots\dots (7)$$

$$M_3 = [(b.d_2.a_1 - b_1.d_2.a - b_2.d.a_1 + b_2.d_1.a) / b_3.d_2.a_1] M . \quad \dots\dots (8)$$

$$M_4 = [(c.a_1 - c_1.a) / c_4.a_1] M . \quad \dots\dots (9)$$

La masse de l'alliage est fixée à 1Kg.

Pour l'alliage ZA12 de composition :

%Zn = 86.3% \_\_\_\_\_ a = 0,863 .

%Al = 12% \_\_\_\_\_ a = 0,12 .

%Cu = 1.5% \_\_\_\_\_ a = 0,015 .

%Mg = 0.2% \_\_\_\_\_ a = 0,002 .

Les quantités des composants de la charge sont données dans le tableau 6 :

Tableau 6 : Composition de la charge pour l'alliage a 12%Al.

Composant	Zn (M <sub>1</sub> )	AG10 (M <sub>2</sub> )	Al (M <sub>3</sub> )	Cu (M <sub>4</sub> )
Quantité (g)	902.625	10.974	73.340	14.097

## 1.2 Détermination des pertes aux feux :

On réalise la fusion de 5 alliages A<sub>1</sub> à A<sub>5</sub> dont

- la composition en Cu et Mg est fixe respectivement 1.5% et 0.2% ;
- la composition en aluminium varie de 12 à 16%.

La masse totale de chaque alliage est de 1 Kg.

Tableau 7 : les charges préparées des alliages

Alliages	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
Composition Al	12%	13%	14%	15%	16%
Charges (g)					
ZAMAK 3	902.625	892.166	881.707	871.248	860.789
AG10	10.974	11.078	11.183	11.288	11.392
Al	72.340	82.689	93.038	103.387	113.737
Cu	14.097	14.108	14.118	14.129	14.139

L'analyse chimique des alliages après fusion a donné les résultats suivants :

Tableau 8 : Analyse chimique des alliages élaborés.

	Al	Cu	Mg
A <sub>1</sub> (12%)	11.227	0.763	0.184
A <sub>2</sub> (13%)	12.187	0.721	0.172
A <sub>3</sub> (14%)	13.274	0.784	0.175
A <sub>4</sub> (15%)	14.307	0.830	0.181
A <sub>5</sub> (16%)	15.195	0.736	0.169

Les résultats des analyses montrent les pertes aux feux :

- pour l'Aluminium 0.75%.
- pour le Cuivre 0.80%.
- pour le Magnésium 0.02%.

L'influence de la température sur les pertes au feu a donné les résultats suivants

Tableau 9: Influence de la température de coulée sur les pertes :

		Température de coulée (°C)	500	550	600
Perte au feu	Al (%)		11.227	11.151	11.083
	Cu (%)		0.763	0.725	0.712
	Mg (%)		0.184	0.179	0.172

Pour constater que plus la température de coulée est élevée plus les pertes sont importantes.

### IV.3 Etude de coulabilité :

La coulabilité est l'aptitude de l'alliage a remplir complètement les cavité de l'empreinte et a donner des formes minces et complexes.

Pour étudier la coulabilité de l'alliage ZA12, en fonction de la composition en aluminium et en fonction de la température de coulée, nous avons procédé a l'étude des pièces couler au sables. C'est une étude qualitative mais de rigueur acceptable pour le fondeur.

La pièce choisie est un support de plateaux a gâteau.

Les résultats de cette étude sont exposés dans les figures suivantes.

L'étude des pièces par observation directe donne les résultats suivants.

#### Alliages a 12% :

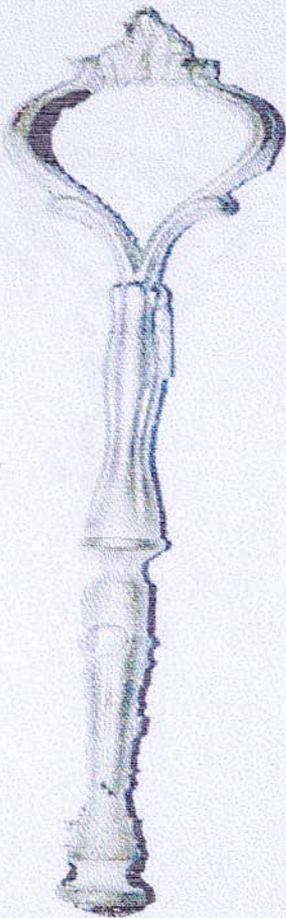
La forme de la pièce est satisfaisant, absence de défauts et état de surface proche de celui de la pièce d'origine. (Figure 9)

#### Alliages de 13% a 16% :

La pièce contient beaucoup de défauts et la coulée a débordé en particulier à 600°C. (Figure 10, 11, 12, 13).

#### Conclusion :

C'est l'alliage A2 a 12% d'Al qui donne les meilleurs résultats en particulier a 500°C et 550°C.

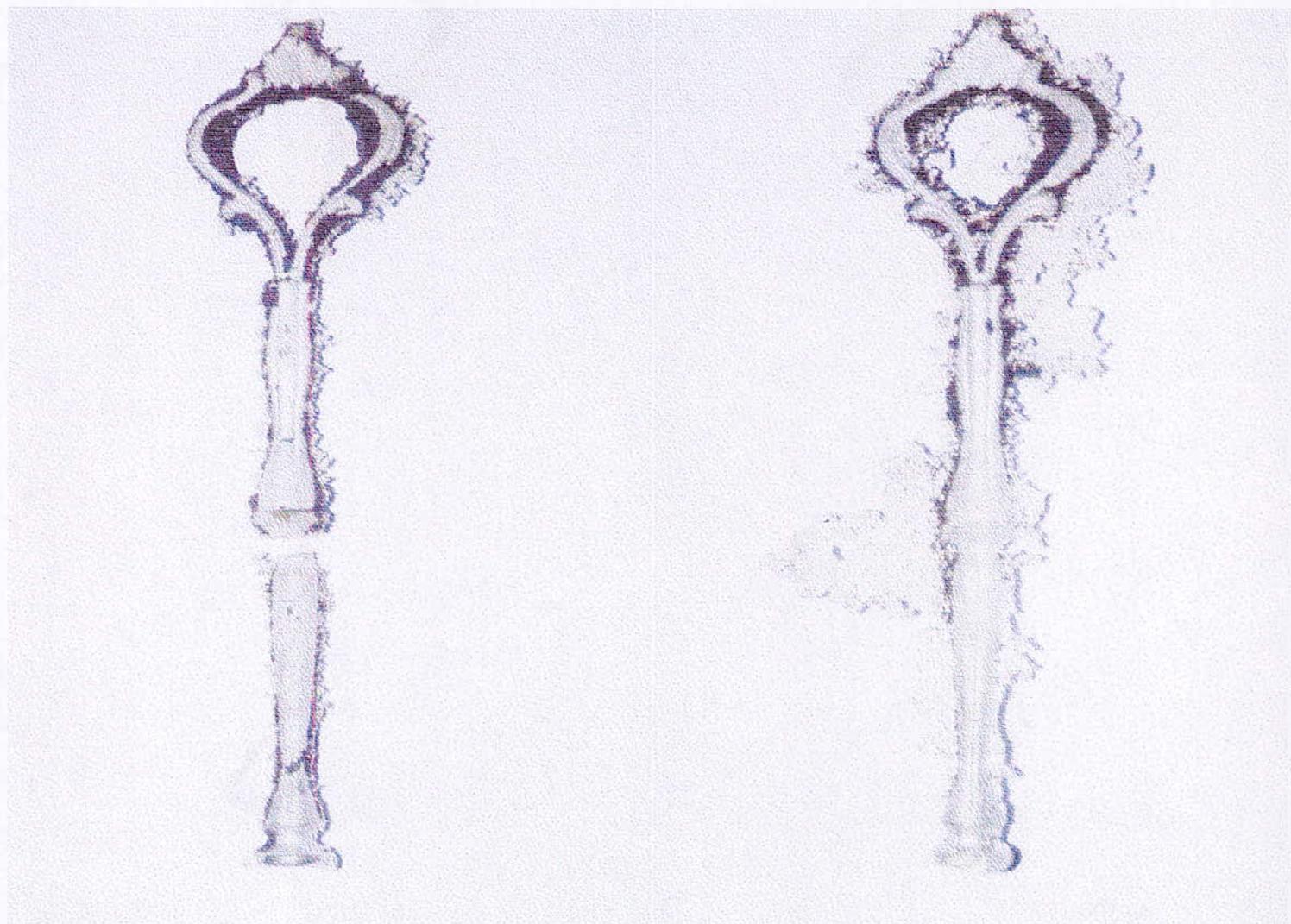


a- 500°C



b- 550°C

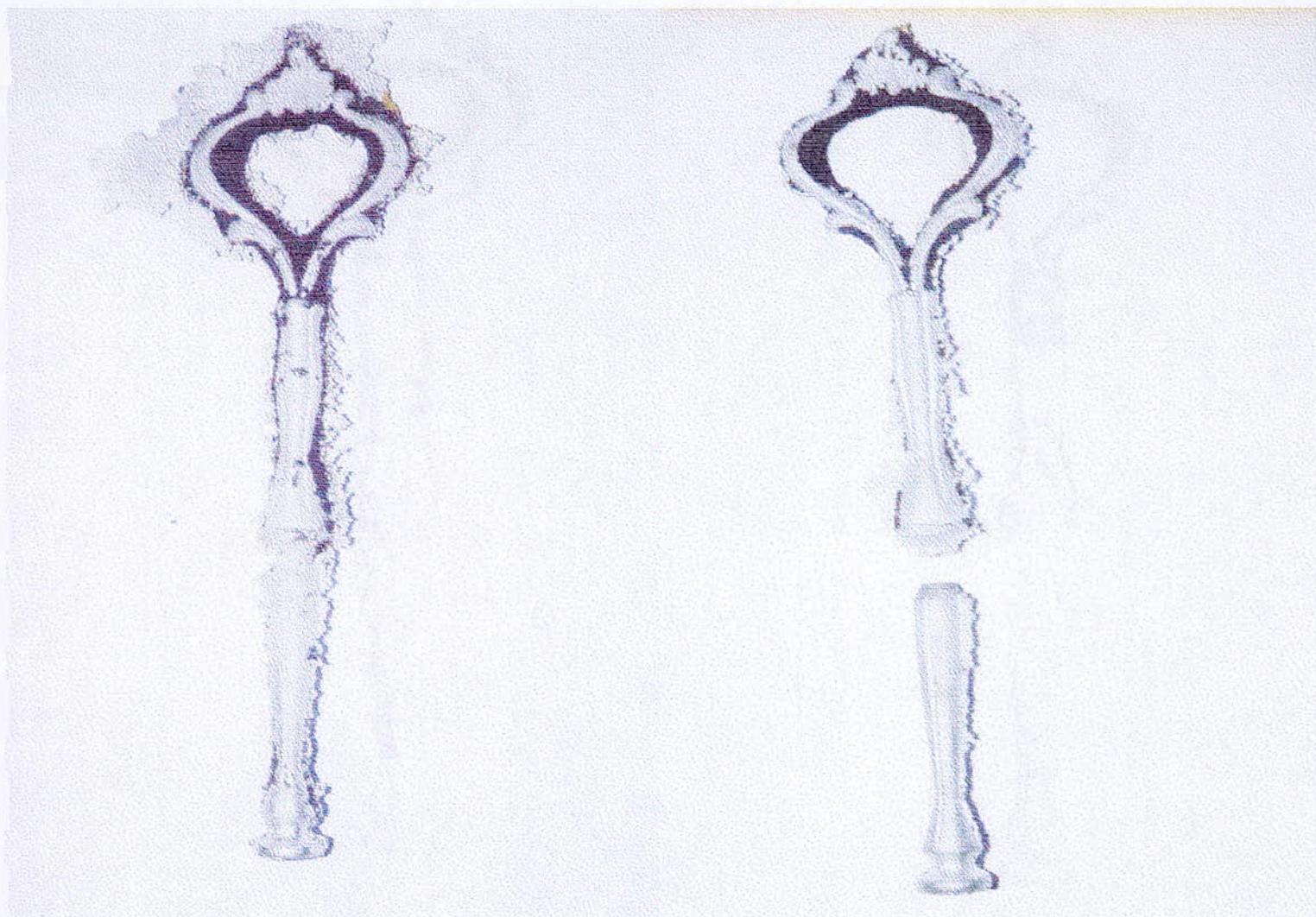
Figure 9 : pièces coulées en alliages A<sub>1</sub>



a- 500°C

b- 600°C

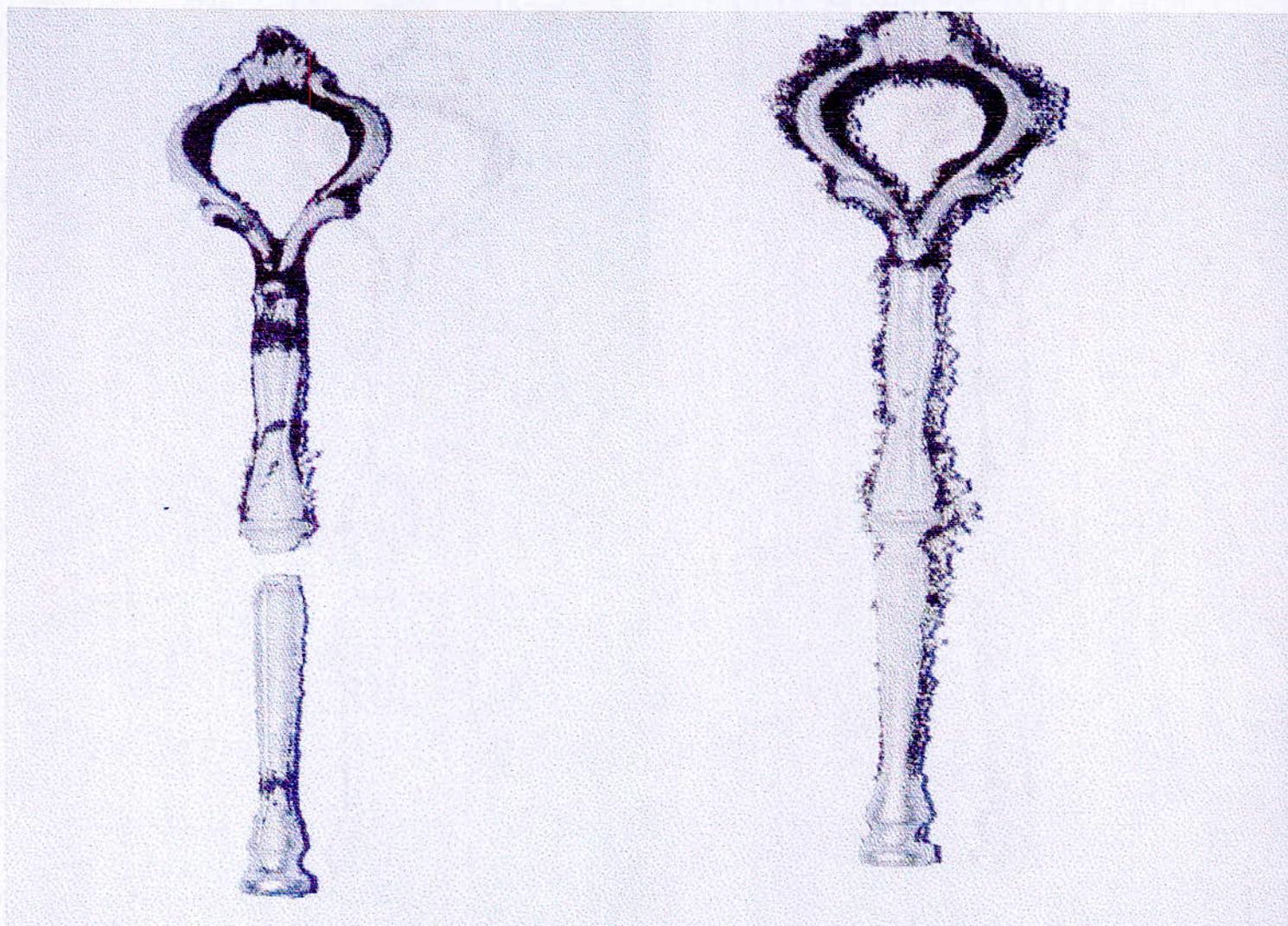
Figure 10 : pièces coulées en alliages A<sub>2</sub>



a- 500°C

b- 600°C

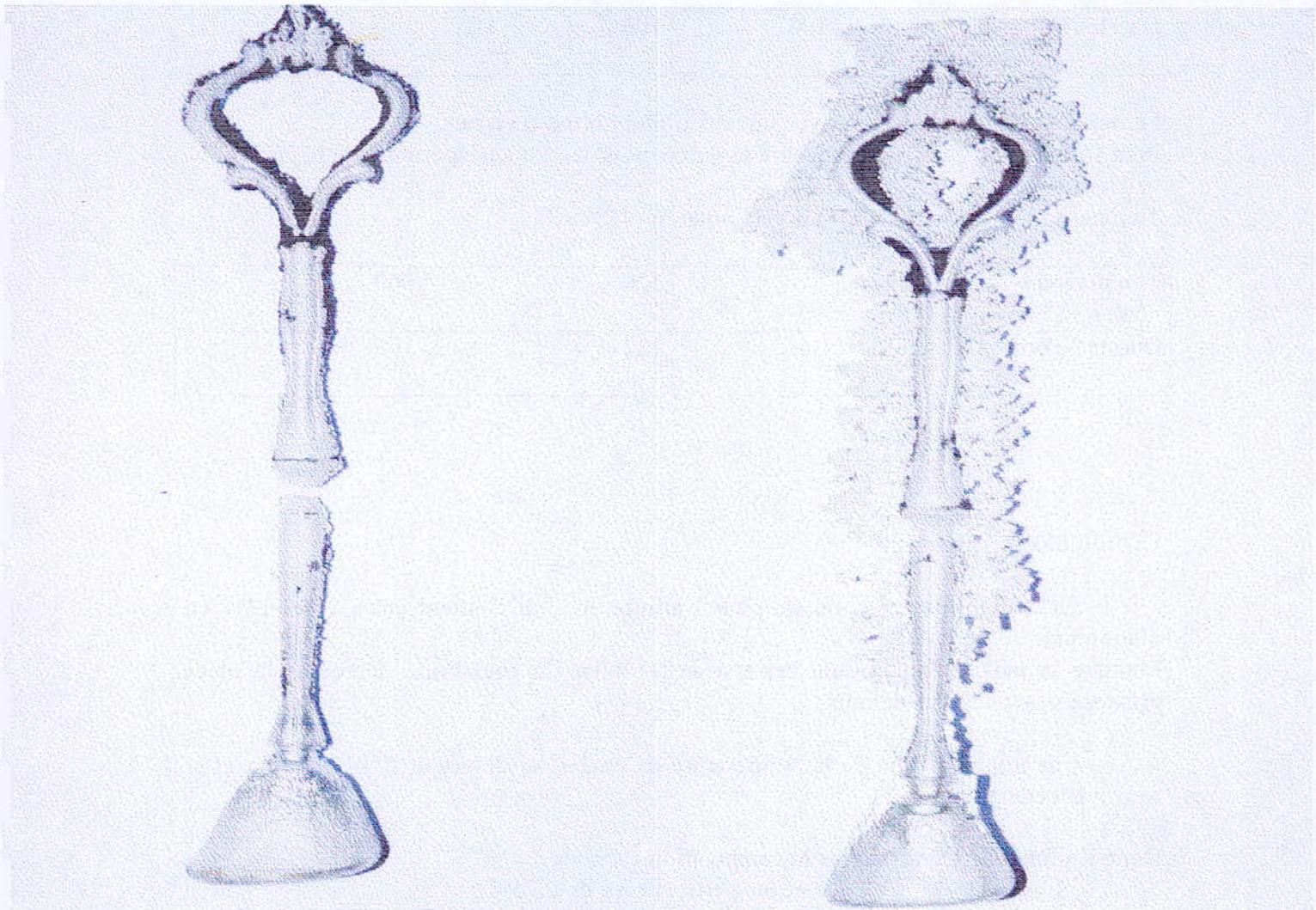
Figure 11 : pièces coulées en alliages  $A_3$



a- 550°C

b- 600°C

Figure 12 : pièces coulées en alliages A<sub>4</sub>



a- 550°C

b- 600°C

Figure 13 : pièces coulées en alliages  $A_5$

#### IV.4 Caractéristiques mécanique de l'alliage :

Nous avons procédé à des mesures de la dureté Vikers des alliages coulés, les résultats sont présents dans le tableau suivant :

Tableau 10 : Dureté Vikers des alliages coulés a 550°C

alliage	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
Dureté HV	112	108	105	105	103

La dureté de l'alliage décroît avec un taux d'aluminium croissant.

Pour l'alliage A<sub>1</sub> nous avons mesuré la dureté pour les trois température de la coulée .

Tableau 11 : Les résultats de la dureté pour A<sub>1</sub> (12% Al).

Température de coulée en °C	500	550	600
Dureté Vikers	110	112	109

#### Conclusion :

La coulabilité est optimale pour l'alliage A<sub>1</sub>, qui contient entre 11 et 12% en aluminium

Lorsque le taux en aluminium dépasse cette valeur la coulabilité décroît et la pièce présente beaucoup des défauts.

Une augmentation de la température de coulée au dessus de 550°C à pour effet aggraver cette situation.

Donc l'alliage ZA12 doit avoir la composition suivante :

- Al : 11 a 12% avec les pertes au feu de 0.75% ;
- Cu : 1.5% avec un perte au feu 0.8%
- Mg : 0.2% avec un perte au feu

**Chapitre V :**

**ETUDE DU MOULAGE**

**AU SABLE DE**

**L'ALLIAGE ZA12**

**INTRODUCTION :**

Nous avons réalisé une étude de moulage de l'alliage ZA12 au sable. Le procédé moulage a main avec le sable durci au CO<sub>2</sub>.

Les travaux ont été réalisés dans la fonderie aluminium de l'entreprise de fonderie de ROUIBA (DFR).

Notre étude porte sur deux pièces (figure 14)

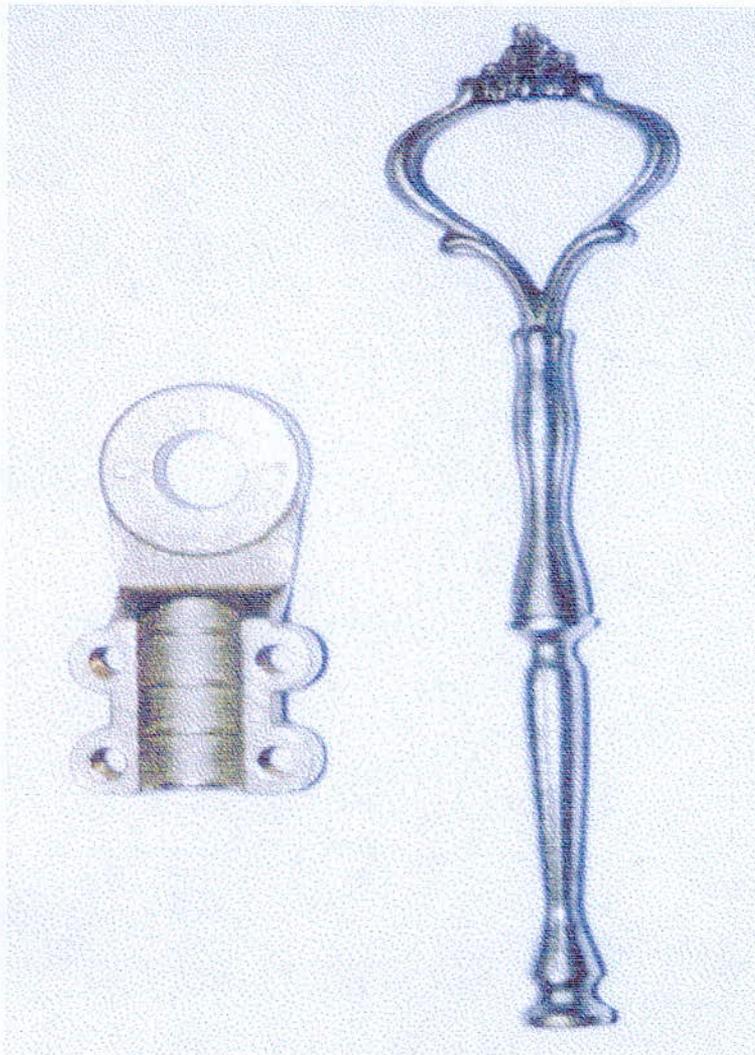


Figure 14 : les pièces d'origine

- première pièce : support du porte plat a gâteau.
- deuxième pièce : cosse a bride pour câbles électriques.

## V.1 Moulage de la première pièce :

### V.1.1 Description de la première pièce :

la pièce étudiée fait partie du porte plat a gâteau utilisé en orfèvrerie. C'est une poignée qui porte deux ou trois assiettes aux plats. Cette pièce est utilisée après un revêtement décoratif : le chromage, le laitonnage ou l'argentage.

La forme est présentée dans la figure 15

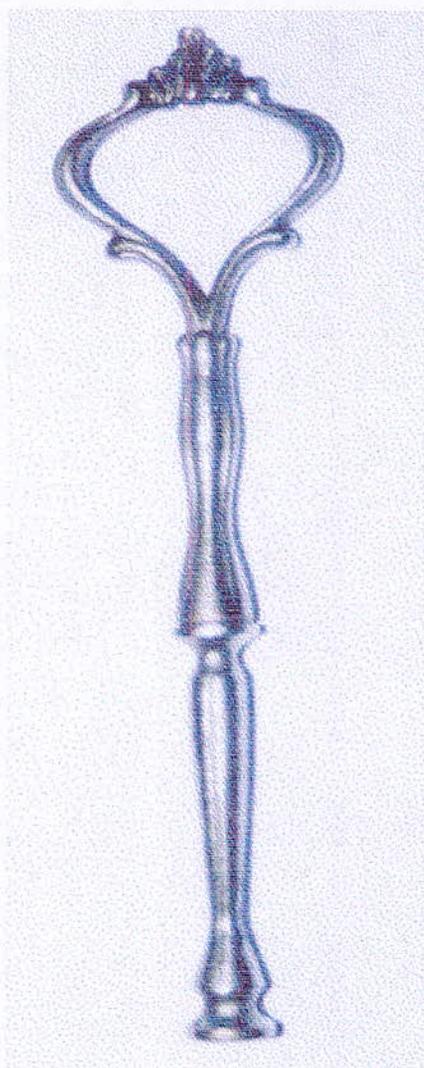


Figure 15 : support à plat.

La pièce d'origine a été utilisée comme modèle car la précision dimensionnelle n'est pas un facteur important.

Cette pièce est classée comme décorative donc la forme et l'état de surface sont prioritaires.

Nous avons utilisé pour le moulage, le procédé au sable durci au CO<sub>2</sub>. Les avantages de ce procédé par rapport au sable à vert sont :

- 1- une bonne prise de la forme de l'empreinte.
- 2- le sable n'exige pas un serrage important.
- 3- donne un bon aspect de la pièce.

Les inconvénients de ce procédé sont :

- 1- coût plus élevé.
- 2- sable irrécupérable.

Le matériel utilisé pour la fabrication du moule est composé de :

- Châssis ou un cadre en bois.
- Une planche en bois pour le serrage du sable et l'ébranlage du châssis.
- La spatule.
- Bouteille de gaz CO<sub>2</sub>.
- Noir minérale.
- Une colle de sable.
- Souffleur.

Le moule est composé en deux parties (ou demi-moules)

- le demi-moule inférieur.
- le demi-moule supérieur.

La réalisation du moule se fait de la manière suivante :

1)- la partie inférieure :

- On pose le châssis en bois sur une table de travail propre et niveau.
- On remplit la moitié du châssis avec le sable silicate.
- On va serrer le sable à l'aide d'une planche.
- On remplit totalement le châssis avec le sable.
- On réalise bon serrage du sable avec une bonne finition de la surface.
- On utilise le noir minéral sur le sable pour que la pièce ne colle pas avec le sable.
- On pose la pièce sur le sable.
- On frappe la pièce à l'aide d'une planche tous doucement, pour atteindre une bonne empreinte de la pièce, il faut prendre en considération de ne pas dépasser le plan de joint de la pièce, il faut que le niveau de sable soit avec le niveau de plan de joint de la pièce, on appui bien sur les parties décoratives pour obtenir une forme de l'empreinte bien précise, on utilise la spatule.
- On bouge (vibre) la pièce. Pour qu'elle ne colle pas avec le sable.
- On ébranle le châssis (on frappe sur tous les coté de châssis) pour que le sable ne

colle pas avec le cadre en bois l'ors de gazéification.

- on va gazer cette partie inférieure par le CO<sub>2</sub>, on vérifie que le gazage a été bien fait.
- Après, on sépare le châssis en bois de la partie inférieure réalisée.
- On enlève la pièce.
- On fait quatre trous dans les quatre coté a l'aide de la spatule, ils ont le rôle des goujons.
- On souffle cette partie inférieure avec le souffleur pour le nettoyer.

On a terminé la partie inférieure, on va faire la partie supérieure a l'aide de cette partie inférieure.

2)- la partie supérieure :

On va faire respectivement.

- On rend la pièce (modèle) à sa place dans la partie inférieure.
- On met du noir minéral sur toute la partie surtout sur la pièce.
- On pose le châssis de la partie supérieure sur cette partie inférieure.
- On remplis la moitié du châssis soigneusement avec le sable silicate.
- Il faut serrer bien le sable pour obtenir une belle empreinte sur la partie supérieure.
- On remplis la partie supérieure avec le sable, il faut serrer le sable et le damer bien pour obtenir une surface plane.
- Il faut ébranler bien le châssis supérieur dans tous les coté.
- On va gazéifier la partie supérieure avec le CO<sub>2</sub>.
- Il faut vérifier que le sable est bien gazé.
- Après, on enlève le châssis de la partie supérieure.
- On sépare la partie supérieure de la partie inférieure tous doucement, et verticalement.
- Après, on enlève la pièce.
- La partie supérieure est faite.

Après la fabrication des deux demi-moules on réalise a l'aide d'une spatule sur les deux parties la descente de coulée avec les événements et les attaques et le chenal.

On a conclu que pour cette pièce, on peut faire la coulée en chute, et il n'est pas nécessaire de faire les événements et les attaques.

Mais après avoir deux expériences avec tout le système d'alimentation (Descente de coulée, chenal, les attaques, les événements).

Il suffit de souffler les deux parties et coller ces deux parties avec la colle.  
Le moule est prêt pour la coulée.

### V.1.3 Coulée de la première pièce :

La coulée des pièces est réalisée à la température de 550°C. Les pièces coulées sont présentées dans la figure 16

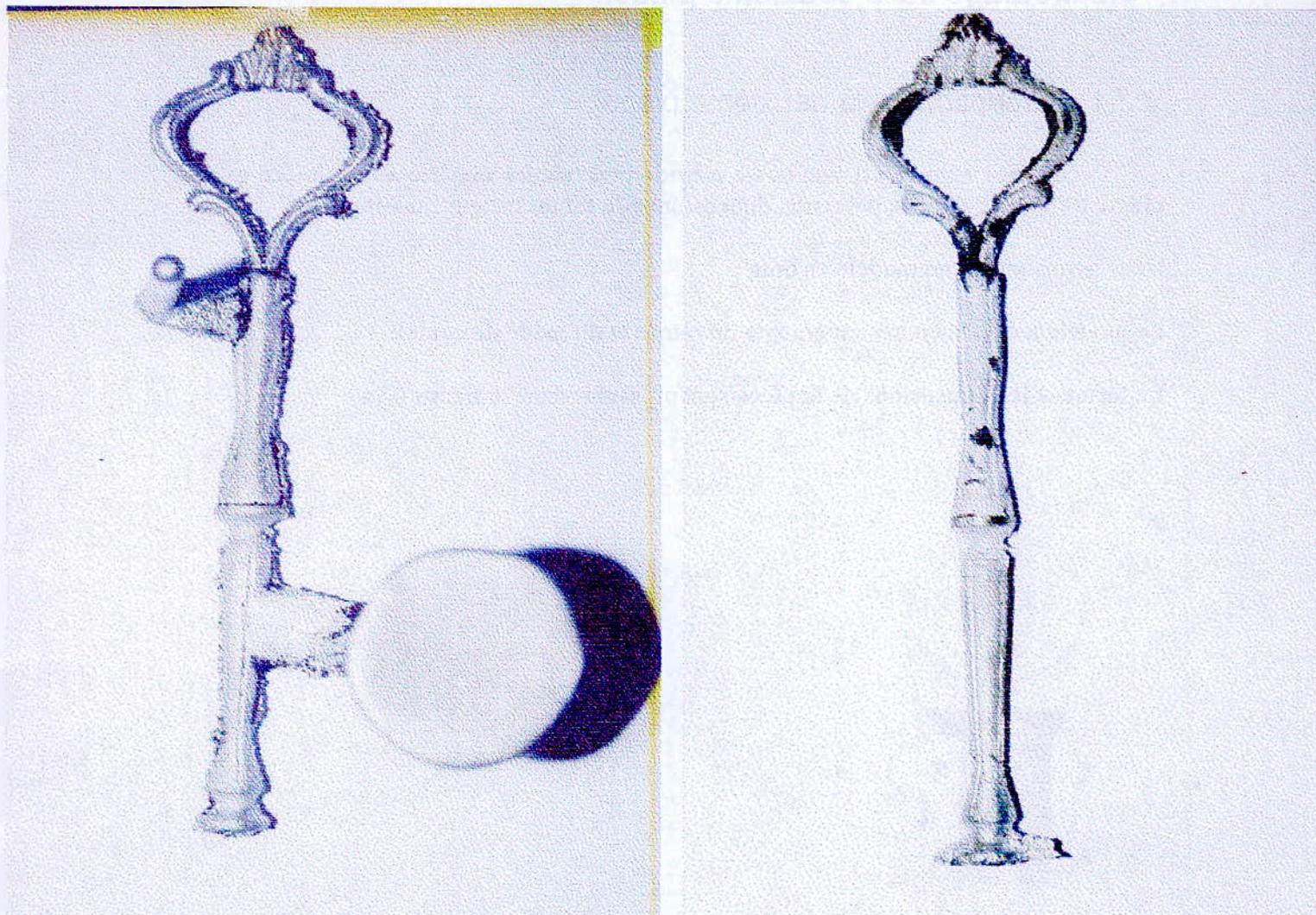


Figure 16 : pièces de support coulé

- a) Coulée avec descente, attaques, évent.
- b) Coulée en chute.

La coulée en source permet d'obtenir le meilleur résultat on constate que l'utilisation des descentes, des attaques, et des évents n'a pas empêché l'apparition des défauts.

## V.2 Moulage de la deuxième pièce :

### V.2.1 Description de la deuxième pièce :

La pièce étudiée est une cosse à bride pour câbles électriques. La pièce est de classe technique, donc la précision dimensionnelle est un facteur important.

Nous avons utilisé un modèle en bois.

Le modèle a été conçu, tenant compte du retrait et du mode de coulée.

La forme et les dimensions de la pièce sont présentes dans la figure 17.a

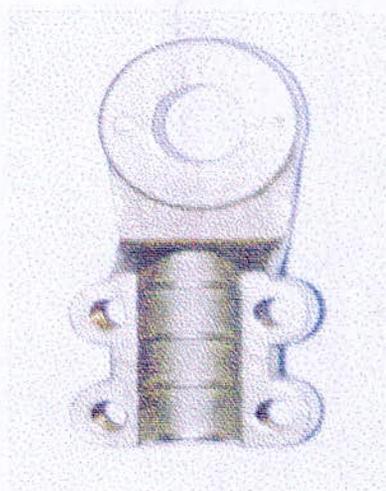


Figure 17.a : cosse à bride.

Pour la crosse à bride on a réalisé un modèle en bois, les étapes de la réalisation sont :

- Dessin technique de la pièce dans le bureau d'étude de DFR (figure 17.a).
- Réalisation du modèle dans le secteur de moulage.

Les étapes de la réalisation du modèle sont :

1- Peinture de la planche à dessin de forme rectangulaire (100mm sur 40mm).  
 2- Dessin sur cette planche (épure), on a tracé le dessin de la planche sur de face et vue de profil.  
 3- Préparation du moule.  
 4- L'ajout géométrique de la pièce sur le délit avec le matériel.

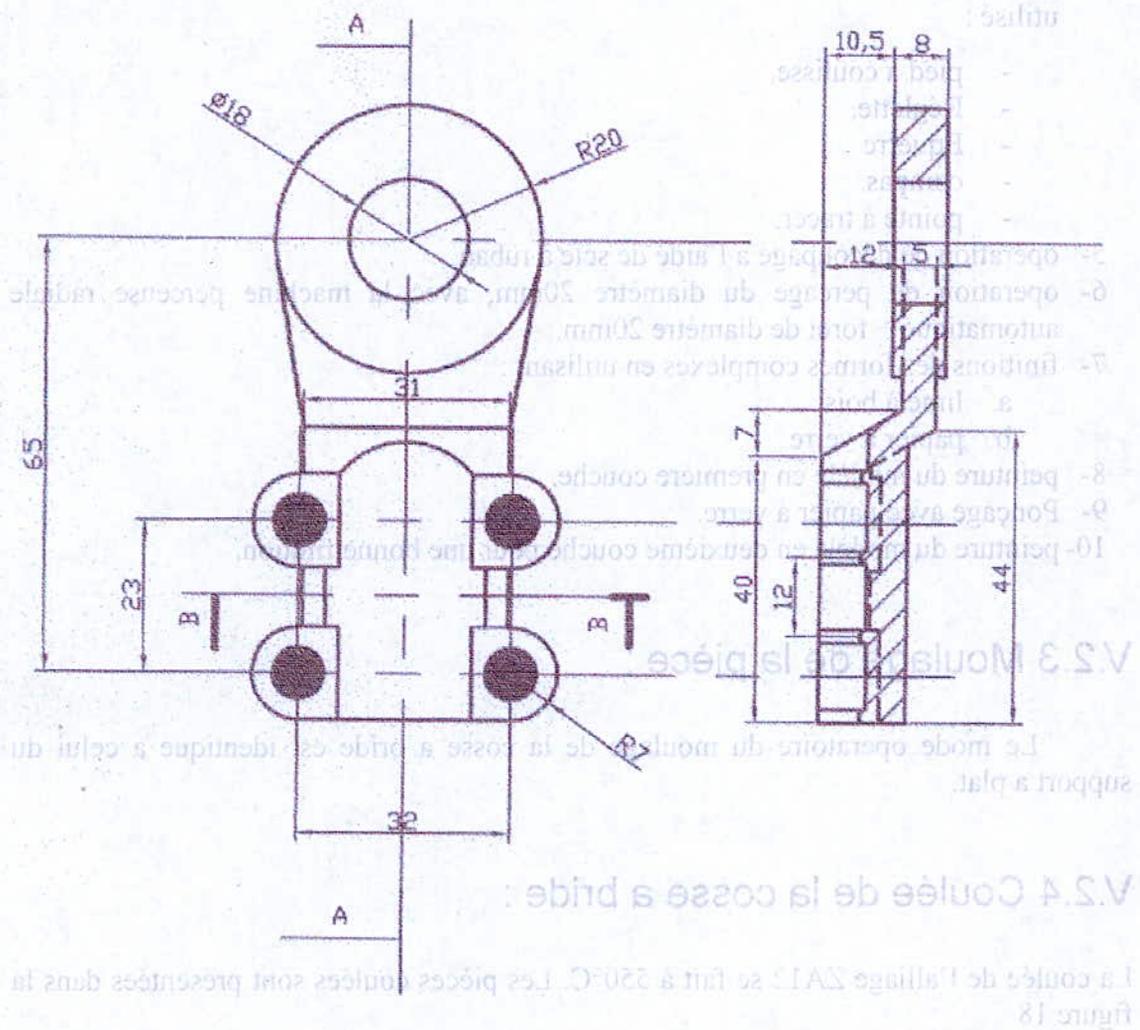


Figure 17.b dessin technique du crosse à bride

## V.2.2 Modelage :

Pour la cosse a bride on a réalisé un modèle en bois, les étapes de la réalisation sont :

- Dessin technique de la pièce dans le bureau d'étude de DFR (figure 17.a).
- Réalisation du modèle dans le secteur de modelage.

Les étapes de la réalisation du modèle sont :

- 1- Peinture de la planche a dessin de forme rectangulaire 100mm sur 40mm.
- 2- Dessin sur cette planche (épure), on a tracé le dessin sur la planche, vue de face et vue de profile.
- 3- Préparation du débit.
- 4- Traçage géométrique de la pièce sur le débit avec un retrait de 1%, Le matériel utilisé :
  - pied a coulisse.
  - Réglette.
  - Equerre.
  - compas.
  - pointe à tracer.
- 5- opération de découpage a l'aide de scie à ruban.
- 6- opération de perçage du diamètre 20mm, avec la machine perceuse radiale automatique + foret de diamètre 20mm.
- 7- finitions des formes complexes en utilisant :
  - a. lime à bois.
  - b. papier à verre.
- 8- peinture du modèle en première couche.
- 9- Ponçage avec papier à verre.
- 10- peinture du modèle en deuxième couche pour une bonne finition.

## V.2.3 Moulage de la pièce :

Le mode opératoire du moulage de la cosse a bride est identique a celui du support a plat.

## V.2.4 Coulée de la cosse a bride :

La coulée de l'alliage ZA12 se fait à 550°C. Les pièces coulées sont présentées dans la figure 18

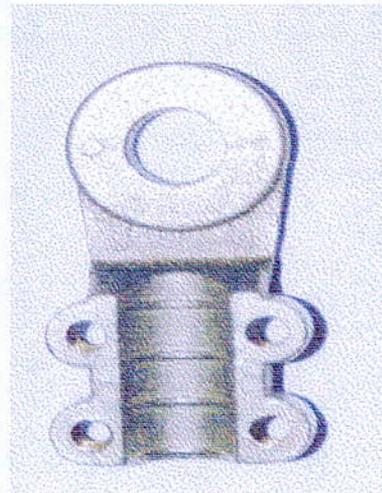
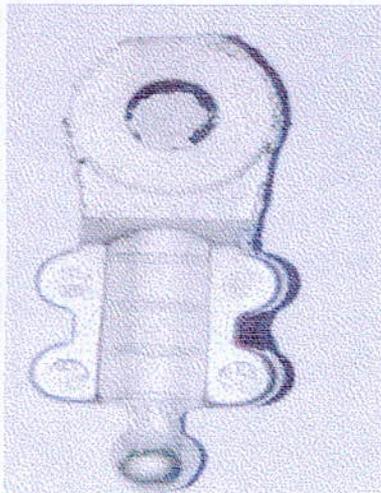


Figure 18 : (a)- pièce coulée de cosse a bride.  
(b)- la pièce originale

Nous constatons que la coulée en chute donne de meilleurs résultats et elle est plus économique.

La pièce n'a pas subit de finition mécanique (perçage, préparation de surface).

**CONCLUSION**

**GENERALE**

## CONCLUSION GENERALE

L'objet de cette étude est de contribuer à la maîtrise technique de l'élaboration et du moulage de l'alliage ZA12 pour résoudre le problème de la fonderie des alliages de zinc, moulable au sable et en coquille.

Les travaux ont été réalisés à la fonderie de Rouïba qui a fourni les matériaux et les moyens qui nous ont permis de conduire ce travail.

Notre premier objectif était d'élaborer l'alliage ZA12. Les résultats obtenus ont montré que l'alliage dont la composition en Al varie entre 11% et 12% qui donne les meilleurs résultats (grâce aux essais de coulabilité), c'est à dire que la composition des éléments doit être :

Pour l'Al : la composition varie de 11 à 12%.

Pour l'Cu : la composition varie de 1,25 à 1,75%.

Pour l'Mg : la composition varie de 0,15 à 0,25%.

Et le reste du zinc.

Tenant compte des pertes au feu, la composition des charges en élément évoluera de la manière suivante :

Pour l'Al : la composition varie de 11,75 à 12,75%.

Pour l'Cu : la composition varie de 2,05 à 2,55%.

Pour l'Mg : la composition varie de 0,17 à 0,27%.

Le mode de chargement doit se faire de la manière suivante :

- Alliage Zn-Al avec alliage d'Al.
- Mg seul (pur) ou sous forme d'alliages (exemple : AG10).
- Cuivre

Après l'addition du cuivre procéda à un brassage de bain pour dissoudre complètement le cuivre.

Parallèlement on a utilisé le procédé du sable durci au CO<sub>2</sub> pour fabriquer le moule. Les résultats obtenus par l'alliage ZA12 sont très acceptables.

Finalement on a testé les deux types de coulée :

- Coulée en chute sans (attaques, chenaux ou événements).
- Coulée avec tout le système d'alimentation (chenaux, attaques, événements).

Les résultats obtenus par la coulée en chute sont meilleurs parce que l'alliage 12% se comporte mieux à ce moulage de plus les pièces n'ont pas de défaut.

**RECHERCHE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Centre technique du zinc et de ses alliages, LE ZINC sa métallurgie et ses applications.1978
- [2] Yves HÉMON. Fonderie et moulage des alliages de zinc. Technique d'ingénieur, M3650, 2000.
- [3] AIDE MEMOIRE DUNOD, METALLURGIE, tome 1, tome 2 1965
- [4] LA CHAMBRE SYNDICALE DU ZINC ; Revue " ZINC ET ALLIAGES ".
- [5] IRMANN R., " La fonderie d'aluminium en coquille et en sable " Ed. Dunod 1957
- [6] J.J.PERRIER, S.JACOB. Moulage des alliages d'aluminium – Généralités. Technique d'ingénieur, M3636, 2004.
- [7] SYNDICAT GENERAL DES FONDEURS DE FRANCE "Cours élémentaire de fonderie : défaut de fonderie".
- [8] J.J.PERRIER ; S.JACOB. Défauts et conception des pièces. Technique d'ingénieur, M3638, 2004.
- [9] Saad ZOUGARI. Etude des conditions d'élaboration des alliages de cuivre type Cu-Zn. Projet de fin d'études, E.N.P d'Alger, 1998.
- [10] SEBIHI Hamoud. Etude métallographique des alliages de zinc Zamak 3 et Zamak 5. Mémoire de fin d'études, E.N.P d'Alger, 1985.

الملخص :

الهدف من هذا العمل هو تحضير و قولبة مزيج الزنك ZA12 بطريقة القولبة بالرمل المصلب بغاز ثاني اوكسد الكربون CO<sub>2</sub> النتائج المتحصل عليها مكنتنا من تثبيت تركيبة المزيج وأسباب قولبته بالرمل.

الكلمات المفتاحية : قولبة , زماك , إلزرو , القولبة بالرمل .

Résumé :

Le but de ce travail est l'élaboration et le moulage d'un alliage du Zinc ZA12 par le procédé de moulage au sable durci par le CO<sub>2</sub>.

Les résultats obtenus ont permis de fixer la composition de l'alliage ZA12 et les conditions de son moulage au sable.

Les mots clés : Moulage, ZAMAK, Ilzro 12, Moulage par sable.

Abstract :

The objective of this work is making and the moulding of an alloy of Zinc ZA12 by the process of moulding to the sand hardened by CO<sub>2</sub>.

The results obtained made it possible to fix the composition of alloy ZA12 and the conditions of its moulding at sand.

Key words: Moulding, ZAMAK, Ilzro 12, Moulding by sand.