

République Algérienne Démocratique et Populaire

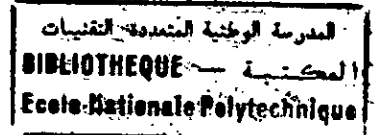
3/03

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Métallurgie

Projet de fin d'études



THEME

**ÉTUDE DE MOULAGE EN COQUILLE
D'UNE COSSE A BRIDE
EN LAITON**

Proposé et dirigé par M^{cr} : K.ABADLI

Réaliser par M^{cr} : BENZAOUI HAMID

Promotion :2003

يهدف هذا العمل إلى دراسة سباكة خليط النحاس و الزنك Cu-Zn في قالب دائم من الحديد الزهري. كما قمنا بتحضير القالب و الخليط، و قمنا بعدة تجارب سباكية، وهذا من أجل معرفة الشروط اللازمة للسباكة.

الكلمات المفتاحية:

السباكة، النحاس، الزنك، القالب، Cu-Zn ، الحديد الزهري.

Abstract:

The objective of our work is to study the casting of zinc and copper alloy, with a permanent mold made of cast-iron.

Several experiments has been conducted after having alloy and mold prepared in order to define the condition for the best casting results.

Key words:

Casting, Zinc, Copper, Alloy, Mold, Cast-iron

Résumé:

L'objectif de ce projet est de mettre en oeuvre le moulage d'un alliage de cuivre et de zinc, au moyen d'une coquille en fonte.

Plusieurs essais ont été conduits après preparation du moule et de l'alliage, dans le but de définir les meilleures conditions de coulée du laiton

Mots clés:

Moulage, Cuivre, Zinc, Coquille, Fonte, Moule, Coulée.

Dédicaces

Ce travail, aussi modeste soit il est dédié à

La mémoire de mon père,

Ma très chère mère,

Mon frère qui a remplacé mon père,

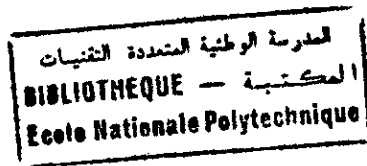
Deida (hakouki)

Ma sœur, ma belle sœur

Ma femme,

Et tous ceux qui comptent pour moi

Hamid



Remerciements

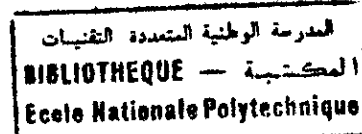
Je remercie très chaleureusement mon promoteur Monsieur Abadli pour le vif intérêt qu'il a accordé à mon projet de fin d'études, durant toutes l'année

Je tien à remercier Monsieur le président et Messieurs les membres du jury qui ont examiné ce travail.

Je suis reconnaissant à l'ensemble des enseignants de notre département pour leur contribution à notre formation.

Je remercie les Messieurs T-DJAMA, SLIMAN, et NASSIM

SOMMAIRE



INTRODUCTION GÉNÉRALE

PREMIER PARTIE : ÉTUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : LAITONS DE FONDERIE : CONSTITUONS ET PROPRIÉTÉS

I.1 Les catégories des laitons	4
I.2 Propriétés physiques des laitons.....	10
I.3 Propriétés mécaniques des laitons.....	12
I.4 Mise en œuvre des laitons.....	14

CHAPITRE II : ÉLABORATION DES LAITONS

II.1. Methodes d'élaboration des laitons.....	19
II.2. Fours de fusion.....	20
II.3. Creusets.....	22
II.4. Paramètre de la fusion.....	23
II.5. Règle de la fusion.....	24

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UNE COQUILLE POUR COULÉE DU LAITON

III.1. Principe du moulage en coquille.....	26
III.2. Avantages et Inconvénients du procédé	26
III.3. Conception de la coquille	27
III.4. Constitutions d'une coquille.....	30

CHAPITRE IV : LES DÉFAUTS DE FONDERIE

IV.1. Défauts liés à la coulée.....	36
IV.2. Défauts liés à la solidification et refroidissement des pièces.....	40
IV.3. Défauts provoqués par les gaz.....	41
IV.4. Défauts produits au cours du démoulage.....	42

DEUXIÈME PARTIE : MÉTHODE EXPÉRIMENTALE ET LES RÉSULTATS

CHAPITRE V : CONCEPTION ET RÉALISATION D'UNE COQUILLE POUR COULÉE DU LAITON

V.1 La pièce à coulée.....	44
V.2 Matériaux de construction.....	45
V.3 Le dessin technique de la pièce.....	45
V.4 La complexité du joint de moulage.....	46
V.5 Système d'attaque.....	48
V.6 Système de verrouillage.....	51
V.7 Système d'éjection de la pièce.....	51
V.8 La réalisation.....	52
V.1 Présentation final de la coquille.....	
CHAPITRE VI : FUSION ET COULÉE DU LAITON	
VI.1. Alliages employés.....	55
VI.2. Conduite de la fusion et de la coulée du laiton.....	55
VI.3. Préparation de potyage.....	56
VI.4. Les essais de la coulée.....	56
VI.5. Essai avec basculement de la coquille.....	62
VI.6. Conclusion.....	63
CHAPITRE VII : ÉLABORATION DES ALLIAGES Cu-Zn-AI POUR COSSE A BRIDE	
VII..1. Alliage à élaborer.....	64
VII..2. Condition d'élaboration.....	64
VII..3. Calcule de la charge.....	65
VII..4. Ordre de chargement.....	67
VII..5. Fusion et coulée.....	68
VII..6. Caractéristiques des alliages élaborées.....	69
CONCLUSION GÉNÉRALE	72
BIBLIOGRAPHIES.....	73

Introduction générale

Le procédé de moulage en coquille des laitons permet d'obtenir des pièces de qualité et de grande précision. En plus des considérations technologique, nous pouvons, ajouter le rentabilité économique, car le coût de fabrication des pièces est rendu meilleur, par une exploitation de la coquille, qui peut produire jusque 10 000 pièces.

L'objet de notre étude est multiple.

- Etude de conception de la coquille d'une pièce
- Réalisation de la coquille
- Etude de la fusion , et de la coulée du laiton
- Elaboration des alliages Cu-Zn-Al pour la fabrication de la pièce

Nous avons choisir d'étudier la réalisation, par coulée en coquille, d'une **cosse à bride**, en laiton. Le choix est détermine par les considérations suivants :

- Le choix de l'alliage. Le laiton est un alliage qui a des bonnes propriétés de coulée, à condition de maîtriser la composition en Zn et en élément d'addition.
- Le choix du procédé de moulage. La coulée en coquille, présente des avantages, comme l'état de surface, les caractéristiques mécaniques, et la rapidité de l'opération.
- Le choix de la pièce. C'est un produit qui n'est pas fabrique en Algérie, mais importé. C'est un produit qui à une demande important dans l'industrie électrique.

Nos travaux sont présente dans ce mémoire. Dans la premier partie, nous avons regroupé l'étude bibliographique, qui contient :

- Les laitons de fonderie :constituants et propriétés
- Élaboration des laitons
- Conception d`une coquille pour coulée du laiton
- Les défauts de fonderie

Dans la seconde partie nous exposons les résultats des travaux, qui contient :

- Conception et réalisation d`une coquille pour coulée du laiton
- Fusion et coulée du laiton
- Élaboration des alliages Cu-Zn-Al pour cosse a bride

CHAPITRE I
LAITONS DE FONDERIE
CONSTITUANT ET PROPRIETES

Introduction :

Les laitons sont des alliages à base de Cu et de Zn, ils contiennent de 5 à 45% en poids de Zn et, éventuellement, d'autres éléments tels que: Sn, Pb, Mn, Al, Si, Ni, As qui sont ajoutés en faibles proportions. Ces additions confirment aux laitons de meilleures propriétés de fonderie.

Suivant la teneur en Zn et la présence d'éléments d'additions, les laitons peuvent être moulés et corroyés à chaud et à froid.

Les laitons présentent une excellente aptitude à la mise en oeuvre supérieure à la plus part des alliages industriels par tous les procédés tels que : matriçage, emboutissage, usinage, frappe à froid,... etc.

I.1 Les catégories des laitons :

I.1.1 Les laitons binaires :

Les laitons binaires ou simples, sont les alliages Cu-Zn sans d'autres additions, ces alliages sont décrits par le diagramme d'équilibre en figure 1.

D'après ce diagramme les laitons sont constitués dans les conditions d'équilibre d'une seule phase jusqu'à environ 36% Zn.

Ces alliages ont un intervalle de solidification très étroit et une température de fusion (liquidus) qui décroît de 1084 à 903 °C.

Lorsque le taux de Zn croît jusqu'à 33% ces deux phénomènes entraînent un bon comportement des alliages lors de la coulée. La phase α de structure CC est très malléable à froid, ce qui explique la grande aptitude de ces alliages à la mise en forme par laminage, emboutissage, frappe à froid, repoussage,... etc.

Lorsque le taux de Zn dépasse 36% et jusqu'à 46% les alliages Cu-Zn sont dans les conditions d'équilibre biphasé $\alpha+\beta'$. La phase β' ordonnée et formée de deux réseaux cubiques simples enchevêtrés se transforme au-dessus de 454 °C en une phase β désordonnée qui cristallise dans le système cubique centré.

La phase β' est dure et fragile, les alliages biphasés se comportent bien à l'usinage à froid et à la mise en oeuvre à chaud car la phase β issue de β' est très malléable au-dessus de 500 °C. La structure binaire ($\alpha+\beta$) permet de meilleures conditions de mise en forme à chaud.(filage, matriçage).

- Laitons ayant une teneur inférieure à 20% Zn sont appelés demi-rouge ;
- Laitons ayant une teneur comprise entre 25 et 36% Zn ($25 < \%Zn < 36$) possèdent les meilleures propriétés de ductilité et connaissent la gamme d'application la plus large.

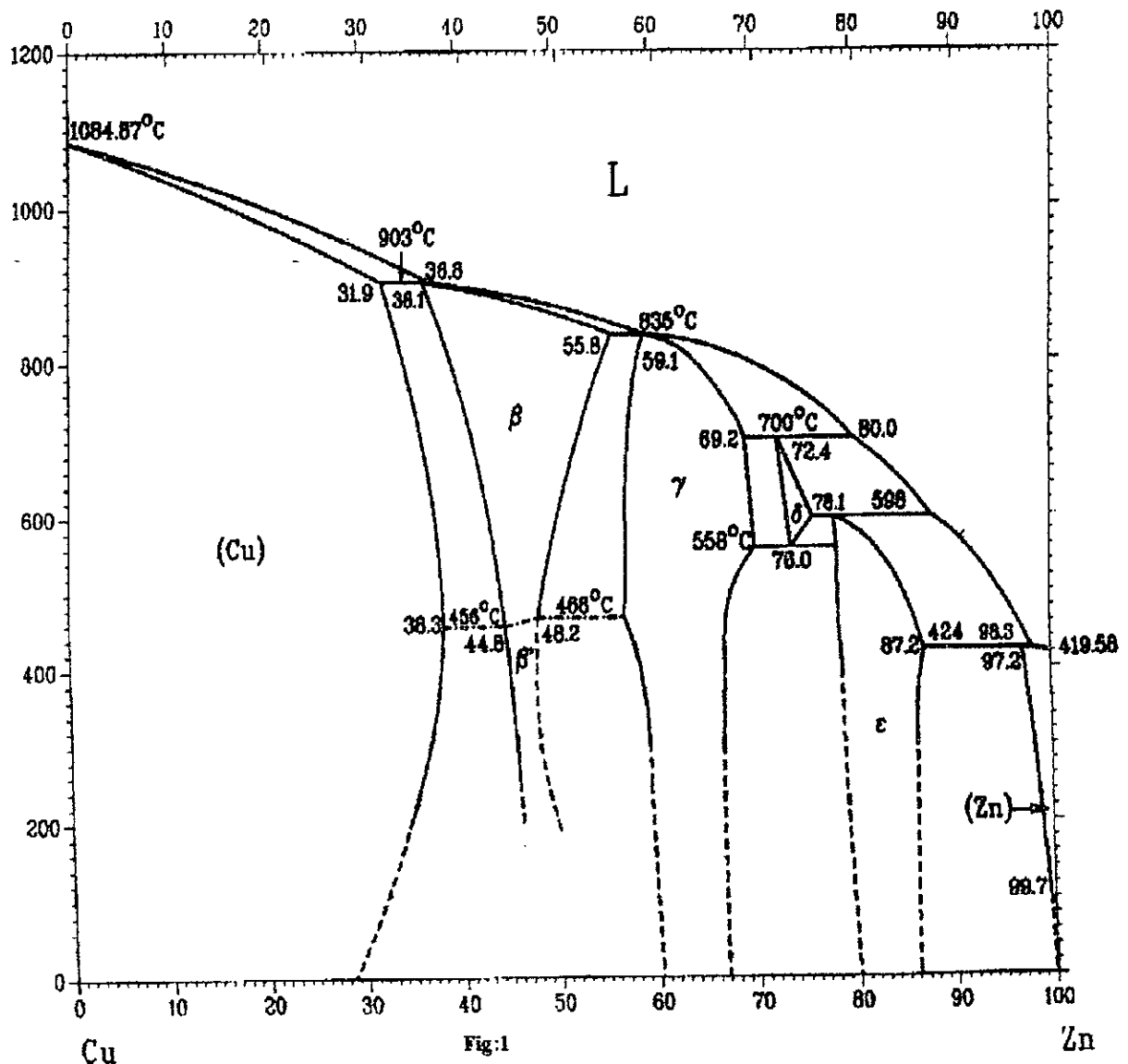


Fig-1- Diagramme d'équilibre des laitons binaires .

I.1.2 Les laitons au Plomb :

L'addition du plomb dans les alliages Cu-Zn a pour objectif d'augmenter l'aptitude à l'usinage des ces alliages. Le Pb est insoluble, et se répartir sous forme de globule. Lors des opérations d'usinage ces globules provoquent la fragmentation des copeaux, et diminuent le frottement de l'outil sur la pièce.

Les laitons au plomb contient une large gamme de composition, qui va des alliages monophasés de type $\text{CuZn}_{33}\text{Pb}_2$, jusqu'au biphasés comme $\text{CuZn}_{40}\text{Pb}_3$.

Nous considérons trois compositions de base de ces alliages :

- $\text{CuZn}_{35}\text{Pb}_2$

Cet alliage à teneur élevée en cuivre autorise des déformations à froid importantes. C'est un alliage de sertissage et de frappe à froid qui accepte facilement les opérations complémentaires d'usinage.

- $\text{CuZn}_{33}\text{Pb}_2$

La structure $\alpha+\beta$ riche en β à température élevée en fait d'abord un alliage de matriçage. A la température ordinaire la structure $\alpha+\beta'$ est voisine de celle de l'alliage $\text{CuZn}_{40}\text{Pb}_3$ et permet les opérations d'usinage de finition dans de bonnes conditions.

- $\text{CuZn}_{40}\text{Pb}_3$

C'est l'alliage de décolletage par excellence, il permet les usinages de grandes séries à vitesse de coupe élevée. La présence importante de plomb favorise le fonctionnement des copeaux.

Les laitons au plomb sont définis par les normes NF A51-101 (laminés) et NF A51-105 (barres).(1)

I.1.3 Les laitons complexes :

Ce sont des alliages Cu-Zn (laiton simple) avec l'addition des éléments tel que : Ni, Mn, Sn, Al, Cd, Si... etc. Les additions doivent être en faible quantité afin que les éléments soient dissous dans les phases α et β' . Ces additions entraînent deux conséquences :

1. La modification des propriétés intrinsèques des phases dans lesquelles ils entrent en solution.
2. La modification des quantités relatives des phases qui correspondent à la structure biphasée.

Pour mettre en évidence la modification relative des phases du diagramme d'équilibre des laitons biphasés, sous l'effet d'une addition d'autres éléments, on applique la théorie du titre fictif de Guillet. Selon cette théorie, à chaque élément d'addition on attribue une équivalence en Zn. On passera ainsi du titre réel en cuivre %Cu au titre fictif $(\text{Cu}\%)_f$ par application de la formule

$$(\text{Cu}\%)_f = \text{Cu}\% \frac{100}{100+x(k-1)}$$

-x est la teneur de l'élément d'addition considéré.

-k est le coefficient d'équivalence de l'élément d'addition, il représente le pourcentage de zinc qui a le même effet que l'addition de 1% de cet élément

Les coefficients d'équivalence des principaux éléments d'addition sont :

Elément	Ni	Co	Pb	Mn	Cd	Fe	Sn	Al	Si
k	-1,2	-1	0	0,5	0,7	0,9	2	6	10

Trois cas possibles :

$k = 1$ $Cu' \% = Cu \%$ pas de changement.

$k < 1$ $Cu' \% < Cu \%$ la proportion de α est augmentée, β' diminue, l'alliage est plus ductile et il a une bonne malléabilité à froid.

$k < 1$ (Si, Al, Sn) la proportion de β' augmente. Bonne aptitude à l'usinage et à la déformation à chaud.

Parmi, les laitons complexes, les plus utilisés, nous citons :

1- $CuZn_{30}As$

Cet alliage possède une bonne résistance à la corrosion en milieu aqueux. La présence d'arsenic est fondamentale pour éviter la dézincification. Il est couramment utilisé dans la fabrication de tubes pour échangeurs en eau douce.

2- $CuZn_{29}Sn_1$ (laiton amirauté)

L'addition de 1 % d'étain 70/30 arsénié favorise la formation en service d'un film d'oxyde stannique SnO_2 résistant et protecteur. C'est pour cette raison que la principale application de cet alliage concerne la fabrication de tubes d'échangeurs thermiques et d'évaporateurs en contact avec des eaux acides ou polluées, cependant peu salines.

3- $CuZn_{38}Sn_1$ (naval brass)

Cet alliage est adapté à la fabrication des laminés épais pour plaques d'échangeurs.

4- $CuZn_{22}Al_2$

L'addition d'aluminium aboutit à un meilleur résultat que dans les cas précédents avec une tenue particulièrement bonne à la corrosion érosion. On trouve les mêmes applications dans le domaine des échangeurs thermiques pour utilisation en eau douce ou en eau de mer.

5- CuZn₃₅Pb_{2,5}As

Cet alliage destiné au décolletage présente l'intérêt d'être non dézincifiable dans les eaux agressives en raison de sa structure monophasée et de la présence d'arsenic.

Il est utilisé en robinetterie et notamment pour la réalisation de siège de robinet.

6- Les laitons haute résistance

Ce sont des alliages désignés par le symbole CuZn⁺ le signe + indique la présence de nombreux éléments d'addition destinés à accroître leur résistance mécanique.

Parmi ces alliages, on peut notamment citer les compositions suivantes

- CuZn₃₇Mn₂Al₁FePb.
- CuZn₃₅Mn₃Al₂SiPb.

Ces alliages de hautes performances se caractérisent par une charge de rupture qui peut dépasser 600 MPa, et une limite élastique qui atteint 300 MPa.

7- Les alliages à mémoire de forme

Les alliages du type CuZnAl et CuZnAlNi entrent dans cette catégorie.

8- Le laiton moulé CuZn40 (Y30 et 40)

Cet alliage qui contient environ 1 % d'aluminium et 2% de plomb est le laiton classique de la fonderie en coquille, il constitue l'alliage de base pour la fabrication des pièces de robinetterie fondues.

9- Le laiton moulé $CuZn_{23}Al_4$ (Y20)

Cette composition caractérisant un alliage de fonderie de haute résistance, la teneur modérée en zinc et la présence d'aluminium et de manganèse (3%) en quantité importante favorise l'obtention de pièces moulées à caractéristiques mécaniques élevées.

I.2. Propriétés physique des laitons :

La plupart des propriétés physiques des laitons sont influencées par la teneur en zinc. Les additions de plomb, contrairement aux autres éléments d'addition ne modifient pratiquement pas ces propriétés. Les propriétés physiques des principaux laitons sont indiquées sur le tableau (1).

Tableau 1. Propriétés physique des laitons [1]

	CuZn5	CuZn10	CuZn15	CuZn20	CuZn30	CuZn33	CuZn36	CuZn40	CuZn35 Pb ₂	CuZn39 Pb ₂	CuZn40 Pb ₃	CuZn29 Sn ₁	CuZn22 Al ₂
Température du liquidus (°C)	1065	1045	1025	1000	955	935	930	905	910	895	890	875	1000
Température du solidus (°C)	1050	1020	990	965	915	905	905	900	885	880	875	890	935
Masse volumique à 20°C (Kg/dm ³)	8,86	8,8	8,75	8,67	8,53	8,5	8,45	8,39	8,51	8,45	8,48	8,45	8,33
Capacité thermique massique à 20°C (J/Kg.K)	376	376	376	376	376	376	376	376	376	376	376	376	376
Conductivité thermique à 20°C (W/(m.K))	234	188	159	138	121	121	121	121	117	117	121	109	100
Conductivité électrique à 20°C (%IACS)	56	44	37	32	28	28	28	28	26	27	28	25	23
Résistivité électrique à 20°C (10 ⁻⁸ Ω.m)	3,1	3,9	4,7	5,4	6,2	6,2	6,2	6,2	6,6	6,4	6,2	6,9	7,5
Coefficient de température de la résistivité de 0 à 100°C (10 ⁻³ /°C)	2,3	1,9	1,6	1,5	1,5	1,6	1,7	2	1,5	1,6	1,8	1,3	1,3

I. 3. Propriété mécanique des laitons :

I.3.1 Caractéristiques mécaniques :

La plupart des caractéristiques mécaniques des laitons augmentent avec la teneur en zinc

Les caractéristiques mécaniques des laitons sont sur le tableau (2).

Tableau 2 : Caractéristiques mécaniques des laitons. [1]

a- Laitons binaires (valeurs moyenne)

	État.	Charge de rupture (MPa)	Limite élastique à 0,2% (MPa)	Allongement (A %).	Dureté Vickers.
CuZn ₁₀	Recuit	275	100	45	65
	H ₁₁	320	250	25	85
	H ₁₂	370	320	12	105
	H ₁₄	430	380	5	127
CuZn ₃₃	Recuit	340	120	60	80
	H ₁₁	375	280	42	105
	H ₁₂	430	360	22	125
	H ₁₄	525	430	8	150
CuZn ₃₆	Recuit	350	120	60	80
	H ₁₁	375	280	43	105
	H ₁₂	430	350	23	122
	H ₁₄	520	425	8	150
CuZn ₄₀	Recuit	370	160	40	90
	H ₁₁	390	265	30	120
	H ₁₂	440	314	25	135
	H ₁₄	510	440	8	162

b- Laitons complexes moulés (valeurs minimales)

	Mode D'obtention	Charge de rupture (MPa)	Limite élastique à 0,02 % MPa	Allongement (A %).	Dureté Brinell 10/3000
CuZn ₄₀	Moulé Y30	340	-	8	-
CuZn ₂₃ Al ₄	Moulé Y20	500	250	8	160

c- Laiton au Plomb (valeurs minimales pour un écrouissage moyen)

	Diamètre ou épaisseur (D ou e)(mm)	Charge de rupture (MPa)	Limite élastique à 0,2% (MPa)	Allongement (A %).
CuZn ₃₃ Pb ₂	3 ≤ D ou e ≤ 7	450	320	7
	7 ≤ D ou e ≤ 15	410	300	10
	15 ≤ D ou e ≤ 30	370	250	18
CuZn ₃₆ Pb ₂	3 ≤ D ou e ≤ 7	480	350	5
	7 ≤ D ou e ≤ 15	430	300	8
	15 ≤ D ou e ≤ 30	380	250	15
	30 ≤ D ou e ≤ 50	360	200	20
	50 ≤ D ou e ≤ 80	350	180	25
CuZn ₄₀ Pb ₂	3 ≤ D ou e ≤ 7	500	370	4
	7 ≤ D ou e ≤ 15	450	360	6
	15 ≤ D ou e ≤ 30	400	300	12
	30 ≤ D ou e ≤ 50	380	250	18
	50 ≤ D ou e ≤ 80	370	220	22

d-laitons complexes corroyés (valeurs moyennes)

	État.	Charge de rupture (MPa)	Limite élastique à 0,2% (MPa)	Allongement (A %).	Dureté Vickers.
CuZn ₂₉ Sn ₂	Recuit	380	180	50	90
	H ₁₁	450	380	20	165
CuZn ₂₂ Al ₂	Recuit	400	200	45	100
	H ₁₁	550	450	20	165

I.3.2 Déformabilité à chaud:

la teneur en impuretés (notamment Pb et Bi) étant sévèrement limitée. Les laitons α sont très déformables à chaud bien que leur résistance mécanique fasse limiter l'importance des passes de laminage ou des rapports de filage.

I.3.3 Déformabilité à froid :

tous les laitons α renommés pour leur ductilité à froid supportent des réductions de 90% et plus par laminage ou étirage et tréfilage et ils se prêtent à des mises en forme par pliage, emboutissage, formage, gravage mécanique (tôles) et forgeage à froid (barres et fils).

I.4. Mise en œuvre des laitons :

I.4.1 Le décapage :

Le décapage des laitons, appelé dérochage dans certaines industries lorsqu'il est suivi de brillantage, s'effectue généralement dans l'acide sulfurique dilué (10 à 15 % dans de l'eau) à des températures ne dépassant pas 30 à 40 °C .

La durée de décapage est de quelques minutes pour des pièces ayant subi un usinage seul. En revanche, pour des pièces qui ont subi une opération de matriçage le décapage peut demander quelques heures et nécessiter une action mécanique complémentaire (grattage, brossage, eau sous pression) .

Après décapage, les pièces sont rincées soigneusement à l'eau courante , puis séchées immédiatement par un procédé approprié (air chaud, sciure de bois , etc.) .

I.4.2 Traitements thermiques des laitons :

Les traitements thermiques ont pour but d'une part, de permettre la transformation des produits en homogénéisant la composition et la structure de fonderie et de permettre la suppression de l'écrouissage dû aux déformations à froid, d'autre part de conférer aux produits obtenus les caractéristiques mécaniques , électriques ou de tenue à la corrosion .

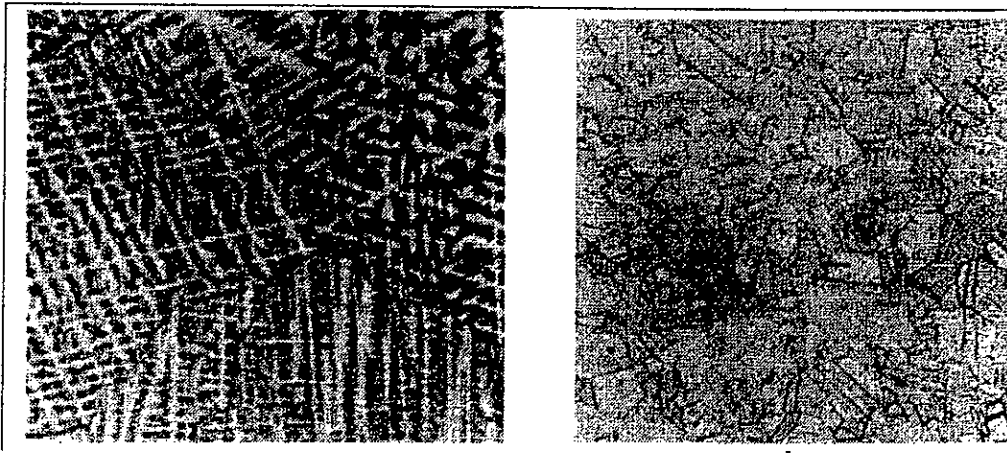
1) Recuit d'homogénéisation :

Les hétérogénéités de composition dans un alliage brut de coulée sont appelées ségrégations microscopiques ou macroscopiques, elles résultent des vitesses de refroidissements élevées. L'équilibre entre les deux phases liquide et solide n'a pas le temps d'être établi (l'intervalle de solidification est plus grand).

Ainsi dans les laitons (de 30 à 36 % Zn) l'enrichissement du liquide en soluté peut même dépasser la composition maximale d'équilibre de la phase α (37.5 % Zn), à la température péritectique il se forme alors une phase hors équilibre β' lors du refroidissement.

Le traitement d'homogénéisation consiste à réchauffer les alliages d'une manière générale, qui sont fortement ségrégés à une température aussi élevée que possible et pendant un temps suffisant pour que par diffusion les composants se répartissent conformément au diagramme d'équilibre.

L'homogénéisation peut se faire également par corroyage à chaud, il est préférable



de l'utiliser pour des laitons de composition proche du domaine biphasé (30 à 36%Zn), le corroyage doit d'abord faire disparaître toutes les phases présentes hors équilibre

2) Recuit de détente :

Ce traitement est destiné à détruire les contraintes résiduelles produites par laminage , étirage ou emboutissage ; qui peuvent provoquer :

- Des distorsions lors de l'usinage et du découpage , dues au déséquilibre des contraintes résiduelles .
- Une instabilité du comportement en service .
- Une susceptibilité de l'alliage à la corrosion sous contraintes (season cracking) .

La déformation à froid engendre des contraintes internes qui le plus souvent sont hétérogènes ou ne s'équilibrent pas mutuellement.

Les contraintes résiduelles ne sont généralement pas très dangereuses seules , mais lorsqu'elles sont accompagnées d'agent corrosifs , de chocs thermiques ou de contraintes externes , elles peuvent favoriser la naissance et la propagation de fissures .

Parmi tous les alliages cuivreux , ceux qui sont les plus sensibles à la corrosion sous tension sont les laitons riches en zinc ($> 20 \% \text{Zn}$) .

Les agents corrosifs les plus dangereux sont les vapeurs , les solutions ammoniacales, les solutions de sels de mercure ainsi que certains métaux fondus .

Lorsque les caractéristiques mécaniques dues à l'écrouissage doivent être conservées, le recuit de détente est effectué dans des conditions de température et de durée de maintien telles que l'homogénéisation ou l'équilibre des contraintes ne se fasse que par relaxation .

Il faut donc opérer au-dessous de la température de début de recristallisation. Les caractéristiques mécaniques sont d'autant plus altérées que la température est plus basse, mais le temps nécessaire pour obtenir une relaxation complète est alors augmenté

Ce recuit est effectué à des températures allant de 100 à 300 °C , pour des raisons de stabilité dimensionnelle des pièces en cours d'usinage .

Alliages	Température °C	Durée de maintien h
CuZn ₅	190	1
CuZn ₁₀	200	1
CuZn ₁₅	230	1
CuZn ₂₀	250	1
CuZn ₃₀₋₃₅	260	1
CuZn ₄₀	250	1
CuZn ₃₉ Pb ₂	250	1
CuZn ₂₉ Sn ₁	290	1

Tableau 3 : Condition de recuit de détente laitons. [1]

3) Recuit de recristallisation :

Le traitement de recristallisation est effectué afin de détruire les effets de l'écroutissage et de recréer une structure adaptée aux déformations ultérieures ou à certaines sollicitations de service. Il en résulte une augmentation de la malléabilité et de la ductilité, liées à une diminution de la dureté, de la limite élastique et de la charge à la rupture.

La température de ce recuit n'a pas été rigoureusement défini mais, ce traitement se fait dans un intervalle avec une limite supérieure qui donne une grosseur des grains maximale, de faibles additions en zinc augmentent légèrement la température de recristallisation du cuivre, mais au-delà de 5 %, la température diminue pour les laitons monophasés α , lorsque la teneur en zinc augmente.

I.4.3 Résistance à la corrosion :

1) Résistance aux agents chimiques

Le cuivre, qui est l'élément de base entrant dans la constitution des laitons, présente une résistance remarquable à la corrosion dans de nombreux milieux et transmet cette propriété à ses alliages. Cependant, l'élément d'addition principal qui constitue le zinc est un élément qui a pour résultat de diminuer la résistance à la corrosion.

Ainsi , les laitons à faibles teneurs en zinc auront une résistance à la corrosion d'autant plus proche de celle du cuivre que les teneurs en cuivre seront importantes.

A l'inverse , les laitons à fortes teneurs en zinc connaissent une altération de leur résistance proportionnelle à cette teneur en Zn .

D'une façon générale , les laitons biphasés connaissent un affaiblissement de leur tenue à la corrosion par rapport aux laitons monophasés.

2) *La dézincification*

La dézincification est un type de corrosion particulier, caractérisant principalement les laitons biphasés en présence d'eau agressive. Lorsque ce phénomène se produit, la zone dézincifiée est remplacée par une masse poreuse de cuivre, qui n'a plus la même solidité. Il ne s'agit pas d'une attaque sélective du zinc, mais plutôt d'une dissolution simultanée de cuivre et de zinc avec redéposition de zinc.

Dans les laitons biphasés la phase β plus anodique est préférentiellement attaquée, mais la phase α peut l'être éventuellement aussi. Dans α , tout le métal est affecté (généralement moins sévèrement que les laitons biphasés) . Mais dans ces alliages cette forme de corrosion a pratiquement disparu grâce à l'introduction de certaines additions comme l'arsenic à 0,03 % .

Dans les laitons $\alpha + \beta$ qui sont les plus touchés par la dézincification , aucune solution parfaite n'a été avancée (dans ce cas l'addition de As ne semble pas efficace) .

L'introduction de 1 % d'étain réduit cependant l'importance du phénomène en eau de mer. Ainsi le laiton Naval brass (CuZn39Sn 1) trouve des applications marine sous forme de plaques épaisses .

3) *Corrosion sous tension (season cracking)*

La crique dite saisonnière est une fissuration inter cristalline sous l'action combinée de contraintes mécaniques et d'agents corrosifs .

ELABORATION DES LAITONS

CHAPITRE III

II. ÉLABORATION DES LAITONS :

II.1.Méthodes d'élaboration des laitons :

Les charges de fonderie. pour l'élaboration du laiton, doivent comporter. si possible, une certaine proportion de métaux neufs et, en particulier, une addition suffisante de zinc pour former l'alliage avec le cuivre introduit suivant la teneur désirée et pour tenir compte d'une perte à la fusion de l'ordre de 1 à 2 %.

Il est d'abord nécessaire de s'assurer de la qualité des murailles employées, d'éliminer l'aluminium, les alliages légers et les alliages de plomb, d'étain et d'antimoine. Le fer doit être séparé soigneusement à l'aimant, ou mieux, au trieur magnétique.

Le laiton est généralement préparé par fusion au creuset dans un four à mazout, mais le four électrique à induction basse fréquence est certainement préférable. par la facilité qu'il apporte pour réaliser les conditions optimales de fusion.

L'opération effectuée au creuset doit être conduite de la façon suivante :

- Le creuset, préalablement chauffé au rouge cerise, est chargé de quelques menues mitrailleurs, puis le cuivre en lingots et les gros déchets sont introduits dans le creuset ;
- La charge est ensuite recouverte d'une pelletée du charbon de bois sec en petits morceaux (braisette) et d'un quart de pelletée de chlorure de sodium préalablement séché ;
- Le feu est poussé énergiquement. au four et à mesure de la fusion, le chargement du cuivre restant et, de la muraille est poursuivi le chauffage du four doit se faire en allure presque neutre, plutôt oxydante que réductrice ;
- Dès que la fusion de la chargé est achevée, des vapeurs de zinc commençant à apparaître, le bain est écumé. Le zinc complémentaire est alors ajouté. Du charbon de bois et du sel sont de nouveau mis sur le bain et la chauffe est poussée jusqu'à une ébullition franche du zinc. Cette ébullition est constatée dès le début par la vibration que prend un ringard plongeant dans l'alliage

liquide, la température dépasse alors 1080-1100 °C. Au-dessus, l'ébullition devient franche et il y a émission abondante de fumée résultant de la combustion des vapeurs de zinc à l'air (un dispositif de captage efficace des fumées au-dessus du four est indispensable) ;

- On procède alors à un écumage très soigné après avoir ajouté préalablement, si l'on a affaire à des matières de mauvaise qualité, du borax ou un mélange de verre pilé et de carbonate de soude, S'il y a lieu, la température est abaissée ensuite en introduisant un morceau de laiton au titre visé, mais parfaitement propre et sec. Pour des laitons dont la teneur en cuivre est supérieure à 80 % on ajoute dans le creuset, juste avant coulée, 70 g de phosphore, de cuivre pour 100 kg de métal; mais pour des laitons dont la teneur en cuivre, est inférieure à 80%, l'addition du phosphore de cuivre est inutile et nocive.

II.2. Fours de fusion :

La fonderie d'alliages cuivreux utilise des fours de types très variés et utilisant des combustibles très divers : coke, houille, gaz, gaz pauvre, bois, huile lourde. Parfois, l'énergie électrique est également mise à contribution.

II.2.1. Fours a creuset :

Presque partiellement enfoncé dans le sole, pour des commodités de chargement, d'entretien et de conduite. Il n'y a souvent pas de cheminée, les gaz s'échappent librement à l'air, ainsi que les fumées.

- 1- **Fours potagers** : Les plus anciennement employées, simples, consommation de coke élevée. Ils sont enfoncés dans le sol. Ils sont à tirage naturel, soit à foyer soufflé.

- 2- **Fours basculants** : La virole en tôle est garnie de réfractaire. Le creuset est fixé à l'intérieur sur un fromage. Le four bascule sur deux tourillons. Fours toujours soufflés.

II.2.2. Fours sans creuset :

- 1- **fours charlier** : Cylindre sur tourillons. L'horizontal. Les fonds sont démontables. Brûleur à gaz ou à mazout au centre. La porte de chargement est sur le cylindre, coté brûleur. Garnissage, pisé serré sur un mandrin. Métal en contact avec flamme et gaz.
2. **Fours à réverbères**: Très anciens, utilisés pour les fusions de gros tonnages, monument, cloches, hélices. De forme très compliquée.
3. **Réverbère sur tourillons** : Petit appareil chauffé au mazout ou au gaz. La cheminée sert de rehausse de chargement. Le basculement se fait à l'aide d'un mouvement de la poche de fonderie. Ces sont intéressants pour les petits tonnages.

II.2.3. Fours électrique :

Au contraire du four de sidérurgie, le four électrique pour alliages cuivreux n'a pas un but d'affinage. Il permet seulement une plus grande précision et une plus grande régularité dans les opérations. L'analyse cherchée peut être approchée avec sûreté de très près. La perte au feu est minimum et pratiquement constante d'une opération à l'autre. Bien conduit cet appareil ne revient pas plus cher que les fours à coke. Le développement du four électrique en fonderie d'alliage cuivreux a pris naissance aux États-Unis, à la suite des travaux de recherche et d'essais de bureau des mines de Washington.

- 1- **Fours électriques à creuset** : D'abord chauffés par des résistances placées autour du creuset. On a eu de graves inconvénients : fumées abondantes

(combustion des résistances) fusion très lente, rendement très bas. Pour augmenter le rendement et ne pas chauffer le réfractaire, on a imaginé des fours à plusieurs creusets. Les résistances ont une durée très courte. Le prix de revient est prohibitif.

2. Fours électriques à sole : Il existe trois types des fours à sole.

- Four à résistance, à radiation.
- Four à Arc.
- Fours à induction.

II.3.Creusets :

Dans certains fours, le métal est contenu dans un récipient appelé creuset, chargé de recevoir la charge et de la protéger du contact du combustible et des gaz.

II.3.1.Creusets en terre réfractaire :

Ne sont plus employés pour les alliages cuivreux. Leurs inconvénients étaient trop importants. Constitués par un mélange de sable silico-argileux et d'argile. Ce mélange est placé dans des moules et serré à la presse hydraulique. Le creuset démoulé est légèrement étuvé, pour faire évaporer l'eau d'addition et durcir la terre. Puis, peu à peu, le creuset est chauffé.

II.3.2.Creusets en Plombagine :

Mélange de graphite et d'argile. On doit épurer le graphite de sa chaux et des oxydes métalliques. Ces creusets sont moulés comme les précédents, mais peuvent être cuits plus facilement. Ils doivent être conservés dans des endroits secs. Ces creusets sont moins fragiles que les précédents. Leur mise en service doit être faite avec précaution.

II.3.3. Creusets en graphite :

Au lieu d'agglomérer le graphite avec l'argile (agglomérant volumineux et mauvais conducteur), on utilise d'autres agglomérant (Brai). Le graphite beaucoup plus pur conduit mieux la chaleur et le creuset est bien moins fragile. Ce sont les creusets à chauffe extra. rapide. Dans la plupart des cas, on peut mètre ces creusets directement en service dans le four ; il suffit de conduire la première fusion avec douceur.

II.3.4. Creusets en acier :

Bons conducteurs. Ne craignent pas les différences brusques de température, mais se laissent attaquer et il se dissout du fer dans le métal. Ces creusets sont utilisés couramment pour les fours d'attente de coquilles ou les fours d'attente de machines à couler sous pression. On doit les protéger fréquemment pour diminuer l'attaque de l'acier par l'alliage de cuivre.

II.4. Paramètre de la fusion :

Pour une charge de composition donnée les paramètres de la fusion sont :

- 1-La composition et la granulométrie de la charge, la qualité et la quantité de la charge.
- 2-La température de fusion. Elle détermine la température de coulée.
- 3-La température de coulée: Si elle est trop élevée, elle provoque la surchauffe. La structure finale de l'alliage sera à gros grains et fragile.
- 4-La durée de fusion : Elle a les mêmes effet que la température de coulée.
- 5-Les traitements du bain : Pour obtenir un alliage sain.
- 6-L'état du four, du creuset et de l'outillage.
- 7-Le mode de chauffage qui influe sur la qualité des alliages.
- 8-L'atmosphère : Influe sur la qualité de l'alliage (gaz dissout, oxydes,...)

II.5. Règle de la fusion :

1. Préparation et contrôle de la qualité des charges
 - Éviter les erreurs dans la manipulation des charges. (Stockage, étiquetage avec composition spécifique).
 - Éviter toutes traces d'humidité, d'oxydation et de corrosion
2. L'outillage : Utiliser des outils de fusion en acier ou en fonte doivent être soigneusement poteyés et préchauffés préférer les creusets en graphite ou en Carborundum si non il faut poteyés et préchauffer le creuset en acier avant l'opération.
3. Contrôle de la température du four : Il faut une bonne régulation. Éviter un maintien à température élevée et éviter la surchauffe, toujours inutile.
4. Utiliser des flux absolument secs. Un étuvage est nécessaire sauf pour les flux contenant de l'hexachlorure. Utiliser des flux appropriés à l'alliage considéré pour une opération bien définie, et suivant un processus déterminé, à la température et en qualité indiquée.
5. Éviter de perturber le bain par (décrassage, introduit des flux et brassage). Sauf si nécessaire car les réactions avec l'air peuvent provoquer un gazage ou une oxydation.
6. Ne charger le métal que dans un creuset chaud.
7. Ne jamais introduire dans le bain d'outil froid (il peut être chargé d'humidité). Risque de projection et de bouillonnements, et à coup sûr dissolution de gaz.
8. Protéger le bain dès sa formation, surtout dans le cas des laitons par addition d'un flux de protection.
9. Utiliser les ringards de graphite ou mieux les ringards recouverts d'argile, de préférence à ceux en fer.
10. Couler dès que le four atteint la température de coulée. Ne pas surchauffer à l'excès pour limiter le plus possible l'absorption des gaz.
11. Dans le cas de coulée à la poche, couler dans des poches chaudes.

12. Obtenir un bain liquide parfaitement homogène.
13. Obtenir une surchauffe suffisante pour permettre la bonne venue des pièces et le fonctionnement normal des alimentations.

CHAPITRE III
CONCEPTION D'UNE COQUILLE
POUR COULEE
DU LAITON

III.CONCEPTIOND'UNE COUILLE:

III.1Principe du moulage en coquille :

Dans le moulage en coquille du laiton, le moule est des élément métalliques (généralement fonte ou acier) dont l'assemblage adapte aux formes de la pièce à réaliser, permet le moulage. La coulée et démoulage des pièces .L'introduction du métal liquide dans le moule est essentiellement déterminée par la pesanteur : Cette particularité a fait donner le nom de coulée par gravité à cette méthode . pour la distinguer de la coulée sous pression.

La coulée par gravité des alliages non ferreux (cupro-aluminium et alliages légers) implique généralement de couler un métal porté à une température plus ou moins élevée dans un moule chaud. Dans ce cas particulier du laiton. La méthode appliquée exige que l'on coule sans turbulence un alliage porté à une température relativement basse dans les moules relativement froids.

III.2 Avantages et Inconvénients du procédé:

III.2.1 Avantages :

Par rapport au moulage en sable, le moulage en coquille par gravité du laiton présente les avantages suivants :

- Excellent état de surface facilitant le polissage ;
- Précision dimensionnelle permettant des surépaisseurs d'usinage
- Structure cristalline plus fine du métal, qui se traduit par une amélioration très sensible des caractéristiques mécaniques et une meilleure étanchéité ;
- Emploi d'un personnel rapidement formé ;

III.2.2 Inconvénients :

- nécessité d'orienter les fabrications vers du travail de série (amortissement des outillages):
- augmentation du poids des jets et masselottes (coulée en coquille généralement unitaire- coulée en sable moulage en grappe)

III.3.Conception de la coquille :

III.3.1. Matériaux de construction

Contrairement aux cupro-aluminiums généralement coulés à une température voisine de 1075 °C dans des coquilles chaudes et même très chaudes, (il n'est pas rare de voir des outillages atteindre le rouge sombre en cours d'utilisation), le laiton est coulé moins chaud . (950 à 980 °C). dans des coquilles relativement froides (100 à 125 °C) Il n'est donc pas nécessaire pour les laitons de faire appel à des aciers fortement alliés pour la construction des différents éléments qui composent le moule. Les matériaux généralement retenus sont les suivants :

- La fonte grise perlitique à grains fins ;
- Les aciers spéciaux ;
- les alliages non ferreux.

1) La fonte grise perlitique à grains fins

Elle répond à la composition chimique ci-après :

Carbone	3,40 à 3,50 %
Silicium	1,50 à 1,80 %
Manganèse.....	0,90

Soufre.....<0,10

Pour améliorer la résistance aux chocs thermiques, de cette fonte, on peut procéder à une légère addition de molybdène (0,70 à 0.90 %) Les blocs coulés à partir de cet alliage doivent être parfaitement sains dans la masse, la moindre piqûre dans les empreintes provoquant sur les pièces des défauts de surface très importants. Une coquille en fonte grise perlitique à grains fins, avec ou sans addition de molybdène, permet d'obtenir 15 000 à 10 000 moulages.

2) les Aciers

Certains aciers faiblement alliés, donnent également de bons résultats, mais présentent de plus grands risques de déformation. Parmi ces aciers on prend l'acier de nuance 25CrMo4, et sa composition moyenne est la suivante :

Carbone0,25 %
Silicium <0,40%
Manganèse.....0,70%
Chrome.....1,00%
Molybdene1,00%

Ce acier donne des durées de vie du moule légèrement supérieures 20 000 à 25 000 moulages

3) Alliages non ferreux

Les coquilles en alliages légers ou cuivreux (bronze au laiton) sont généralement réservés de la réalisation des faibles séries. Leur durée est voisine de :

- 500 moulages pour les coquilles en alliages légers ;
- 4 000 à 5 000 moulages pour les coquilles en alliages cuivreux.

III.3. Étude de moulage :

Le temps de réalisation d'une couille est de deux à trois fois à celui d'une plaque modèle destinée au moulage on sable (le nombre d'empreintes étant identique) et, de ce fait la réalisation est au moins deux à trois fois plus onéreuse. Aussi le choix du bon sens de moulage est primordial car il autorise difficilement l'erreur, les modifications risquant de poser des problèmes insolubles. Le préparateur pièce devra au cours de son étude de moulage, peser et estimer dans tas différentes solutions possibles les paramètres suivants :

- le remplissage de l'empreinte ;
- la venue de la pièce dimensionnelle ment ;
- la venue de la pièce qualitativement (homogénéité) ;
- la complexité du joint de moulage ;
- mise en mille (masse de métal fondu nécessaire à la coulée d'une pièce brute + jets + masselottes + bavures / masse de la pièce brute après ébarbage (jets, masselottes et bavures) d'après le calcul de la coulée et des masselottes) ;
- l'éjection ;
- le niveau d'ébarbage.

La recherche de la position du joint de moulage, celle de l'attaque de la pièce et celle de la pièce sont autant de points qui exigent, pour chaque ces, une étude approfondie. Une étroite collaboration entre fondeur et dessinateur est Indispensable. Il faut toujours simplifier le plus possible les formes des pièces, régulariser les épaisseurs, prévoir les dépouilles utiles au démoulage, éviter les angles rentrants vifs et les raccorder par de légers congés.

En complément aux impératifs d'obtention de pièces bonnes et de fiabilité de fonctionnement du moule, on tiendra compte des problèmes d'exploitation des éléments moulants pour les opérations de préparation (grenailage, poteyage). Le montage et le

démontage de ces éléments doivent être faciles. Il faut respecter les consignes de sécurité: manutentions, système de verrouillage, détrempage pour éviter des inversions au montage.

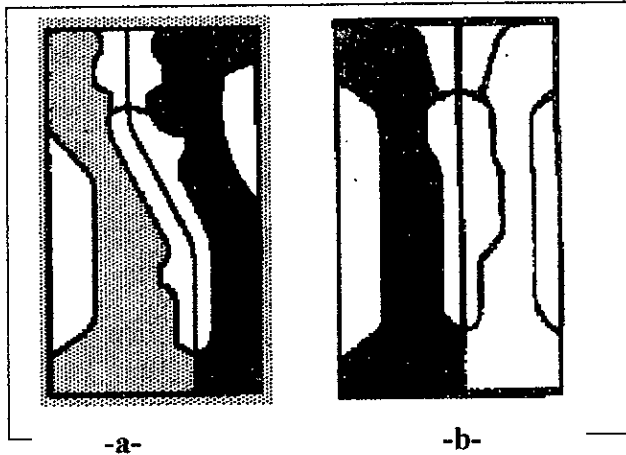


Fig-3- Plan de joint

a- joint brisé
b- joint plan

III.4. Constitution d'une coquille

Les quatre fonctions (moulage, remplissage, alimentation, éjection) sont assurés par les éléments suivants: la semelle, les chapes, les noyaux, les éléments de remplissage, et d'alimentation

III.4.1 La semelle :

La semelle ou marbre supporte les chapes, qui donnent l'empreinte, et en assure le centrage. Elle peut, dans certains cas, comporter une partie de l'empreinte ou l'empreinte dans sa totalité, les chapes jouant le rôle de chapes à jets. Très souvent, elle comprend tout ou en partie des portées de noyaux permanents ou destructibles. (fig-4-)

III.4.2 Les chapes :

Les chapes sont mobiles sur la semelle mais il arrive, pour certaines pièces, que l'on puisse en fixer une. Dans le cas de chapes à jet celles-ci sont également mobiles sur les chapes pièces qui assurent à leur tour le centrage. Les centrages en relief sont de préférence rapportés, de forme cylindrique ou prismatique, et les guidages réalisés par rainures et lardons. Selon l'importance du joint, on pourra parfaire le centrage des chapes par l'emploi de goujons et de bagues. (fig-4-)

III.4.3 Les noyaux :

Selon la forme de la pièce, et sa complexité on détermine deux types des noyaux.

- 1) *Permanents et métalliques* pour toutes les formes se trouvant en contre- dépouille par rapport au sens de démoulage des chapes et à la direction d'éjection de la pièce. Le guidage et le centrage seront assurés par le corps des noyaux auquel on ajoutera un détrempeur, si besoin est. Dans tous les cas, la butée du noyau nécessite un double épaulement (entrées de pinces) pour ressortir le noyau s'il y a coincement. Il est parfois nécessaire de concevoir des noyaux en plusieurs parties indépendantes et mobiles (noyaux à clefs), ce qui est courant pour les noyaux de pistons notamment.
- 2) *Destructibles et en sable* pour toutes les formes en contre- dépouille absolue (forme intérieure ne permettant pas une translation du noyau). Ce sont des mélanges à base de sable et de liants polymérisables en boîte chaude ou, le plus souvent, en boîte froide.

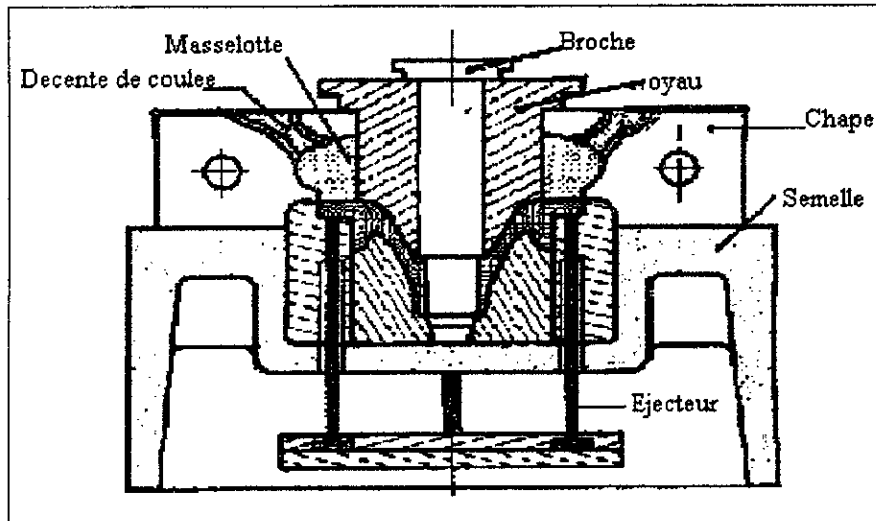


Fig-4- Schéma d'une coquille (Principaux éléments)

III.4.4 Eléments de remplissage :

Ils comprennent le système de coulée lui-même constitué par les descentes de coulée, le canal et une ou plusieurs attaques reliées à l'empreint. Le système de coulée, peut être choisi ,parmi les trois suivants :

- Coulée en source ;
- Coulée en chute ;
- Coulée latérale.

Le calcul sera effectuée en fonction de la masse de la pièce, de l'alliage, du temps de remplissage , par la méthode de calcul mise au point par NIELSEN et diffusée par le Centre Technique de l'Aluminium C.T.A.L. ou par la méthode de JANDER traduite par le Centre Technique des Industries de la Fonderie C.T.I.F. (1)

Actuellement, ce travail peut être fait sur micro-ordinateur. Malgré tous ces calculs, chaque outil ne sera pas exempt de mise au point, afin d'optimiser le système de remplissage, dans ses dimensions et dans ses formes. Normalement, le jeu des joints de moulage autorise l'évacuation de l'air remplissant l'empreinte mais il est souvent

nécessaire d'en accentuer le débit par des saignées (tirées d'air) de 2 à 3 mm de profondeur, débouchant sur une partie du joint détournés. Si, localement, une partie de pièce a du mal à venir, on met une goupille chanfreinée sur l'élément moulant pour faciliter l'évacuation de l'air, mais il est toujours difficile d'en assurer la fiabilité car il faut la démonter à chaque poteyage.

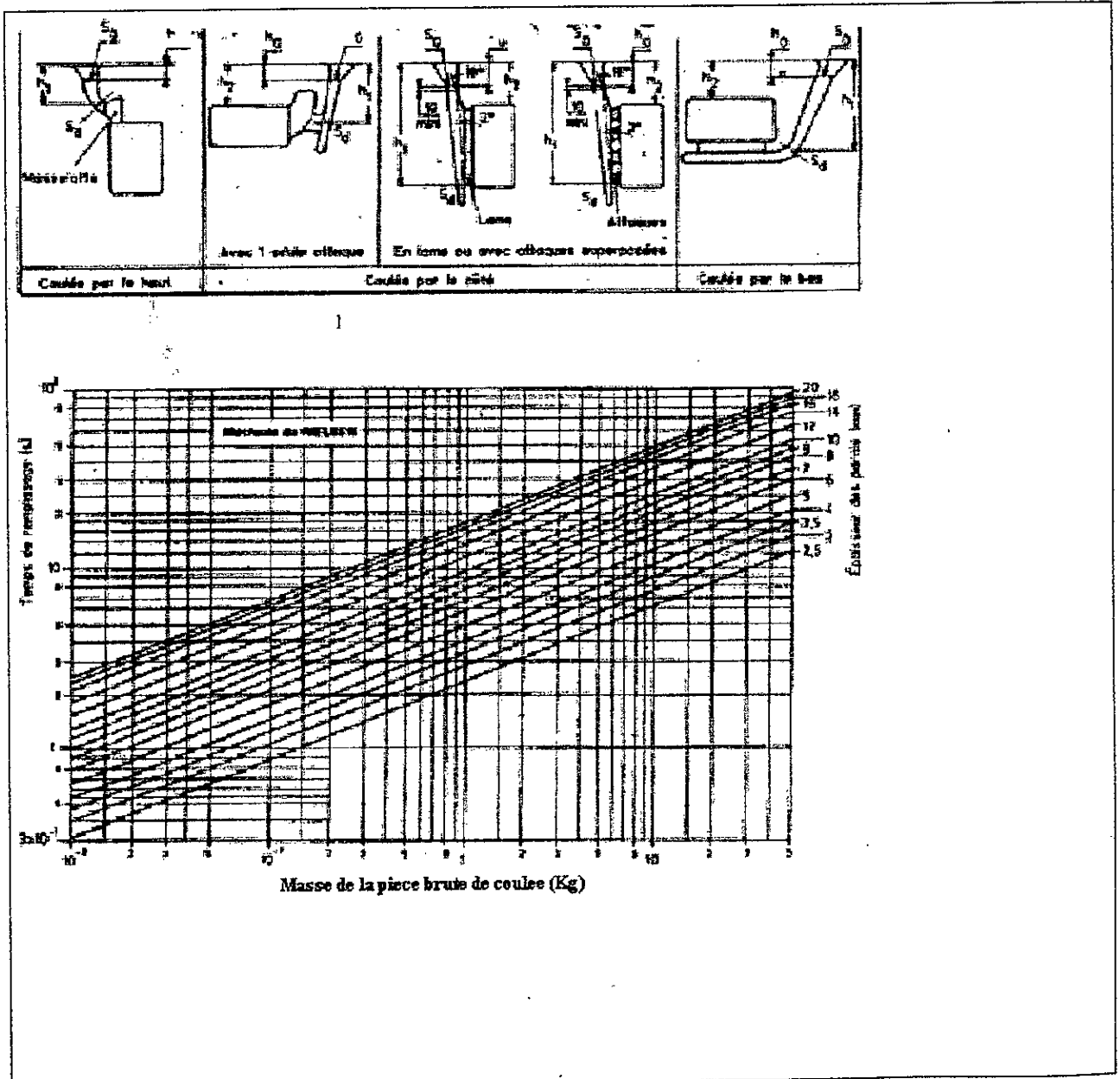


Fig-5- Différents modes de coulée et Méthode de NIELSEN

III.4.5 Eléments d'alimentation :

Ce sont eux qui permettent d'obtenir une pièce sans défaut dimensionnel, c'est-à-dire une pièce de fonderie compacte. Le principe même d'une solidification dirigée conduit à compenser la diminution de volume de l'alliage qui passe de l'état liquide à l'état solide par un apport de métal encore liquide fourni par les masselottes, celles-ci se situant en charge par rapport à la partie massive de la pièce à alimenter. Les masselottes sont borgnes ou atmosphériques. Elles peuvent être calorifugées pour limiter la mise au mille.

La détermination de la section de la décente de coulée, est réalisée après les calculs suivants :

- $S_d = V / 0.8T (2gh_1)^{1/2} = V / 3.5T (h_1)^{1/2}$ Coulée par le haut
- $S_d = V / 0.7T (g(h_2 + h_1))^{1/2} = V / 2.2T (h_1 + h_2)^{1/2}$ Coulée par le côté
- $S_d = V / 0.5T (g(h_2 + h_1))^{1/2} = V / 1.6T (h_1 + h_2)^{1/2}$ Coulée par le bas

V : volume de la pièce (cm^3)

S_d : la section de la décente de coulée (cm^2)

h_1 et h_2 en (cm), $g=9.81 \text{ m/s}^2$

T : temps de remplissage (s)

La Dimensions de l'entonnoir de coulée est :

-L` hauteur de l'entonnoir :

$h_0 = h_1/6$ coulée en lame, avec attaque superposée ou par le bas

$h_0 = h_1/3$ coulée par le haut et avec une seule attaque

-La section de la base de l'entonnoir :

$$S_0 = 2.4S_d$$

Les dimensions pratiques des descente et entonnoir de coulée, sont déterminée à partir de l'abaque présent dans la figure 6 .

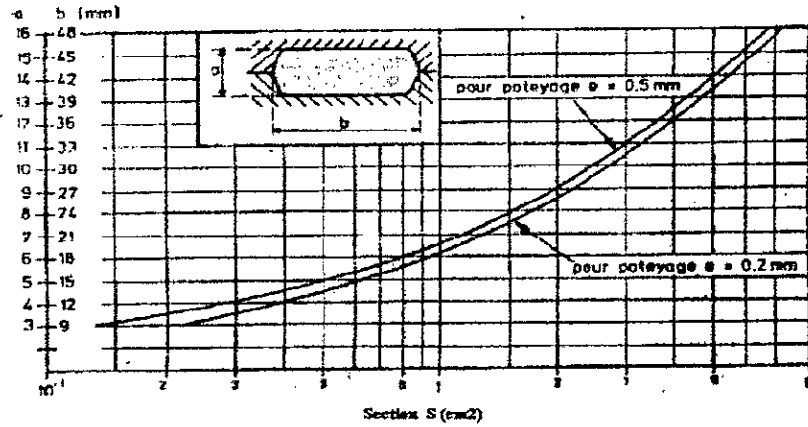


Fig-6- Détermination des dimensions de S_d et S₀ (a et b en (mm))

Les sections d'attaques sont calculées de la manière suivante :

1/ Remplissage par attaque plates superposées :

$$S_1 = S_d(h_1/10)^{1/2}$$

$$S_2 = S_d(h_2/10)^{1/2}$$

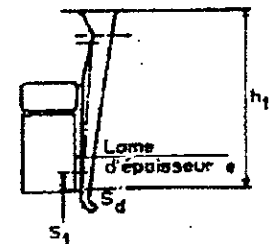
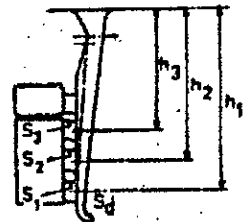
$$S_3 = S_d(h_3/10)^{1/2}$$

2/ Remplissage par une lame ou attaque verticale :

$$S_1 = S_d(h_1/10)^{1/2}$$

$$S_1 \leq e.3$$

e : épaisseur de la lame



CHAPITRE IV
LES DEFAUTS
DE FONDERIE

IV. LES DÉFAUTS DE FONDERIE :

Introduction :

En fonction de leur origine, les défauts rencontrés dans le moulage en coquille du laiton peuvent être classés en quatre catégories :

- défauts liés à la coulée proprement dite ;
- défauts liés à la solidification et au refroidissement des pièces ;
- défauts provoqués par les gaz ;
- défauts produits en cours de démoulage.

IV.1. Défauts liés à la coulée :

Dans cette catégorie sont classées les défauts suivants :

- a) les malvenues ;
- b) les reprises et fiasques ;
- c) les gerces ;
- d) les inclusions de sable ;
- e) les gouttes froides ;
- f) les inclusions de graphite ;
- g) les inclusions d'oxydes,

IV.1.1 Les malvenues :

Ces défauts sont liés à un remplissage imparfait de l'empreinte

Causes :

- 1) épaisseur de la pièce trop faible;
- 2) composition incorrecte de l'alliage;
- 3) dimensions ou forme incorrectes de l'attaque;
- 4) coulée trop lente ;
- 5) coquille ou métal trop froid ;
- 6) poteyage trop mince.

Remèdes :

- 1) revoir si possible le tracé de la pièce, adopter un tirage d'épaisseur uniforme ;
- 2) contrôle du titre à l'aide de l'éprouvette de flexion suivi des additions nécessaires à la remise au titre ;
- 3) revoir le rythme de basculement ;
- 4) vérifier la température du métal et des éléments du moule : apporter les corrections nécessaires pour ramener la température de la coquille à 125 (celle de l'alliage entre 960 et 980 °C) ;
- 5) prolonger la durée de solidification en diminuant la vitesse de refroidissement grâce à poteyage plus épais.

IV.1.2 Les reprises et fiasses

Ces défauts sont également liés aux conditions de remplissage des empreintes.

Causes :

- 1) le dispositif d'alimentation crée des turbulences ;
- 2) le redressement de la coquille est trop rapide;
- 3) le "lavage" de l'empreinte est insuffisant.

Remèdes :

- 1) revoir la forme du système d'alimentation, éviter les changements brusques de direction,
- 2) couler et redresser plus lentement la coquille. incliner celle-ci plus fortement, poteyer La zone intéressée par le défaut avec un produit légèrement plus concentré;
- 3) faire sortir le défaut de la pièce. autrement dit, accentuer le lavage de la pièce en prévoyant remonte ou une masselotte plus largement dimensionnée.

IV.1.3 Les gerces :

Ce défaut est lié à la teneur de l'outillage dans le temps.

Causes :

- chocs thermiques répétés ;

Remèdes :

- défaut généralement irréparable, il se produit en principe dans la zone de l'outillage intéressée par le système d'alimentation. On peut combattre les gerces dans une certaine mesure en recouvrant les parties défectueuses de la coquille par un poteyage plus épais.

IV.1.4 Les inclusions de sable :

Ce défaut est habituellement lié à un phénomène d'érosion. du noyau au moment de la coulée.

Causes :

- 1) qualité des noyaux défectueuses : pas assez cuits: trop cuits, déformés ;
- 2) imprécision dimensionnelle entre les portées de la coquille et celle de la boîte à noyaux ("frottage" au remmoulage).

Remèdes :

- 1) emploi de noyaux présentant un état de surface correct. Pour ce faire, vérification des conditions de fabrication des noyaux. Contrôle des mélanges de sable. Contrôle de la température de cuisson;
- 2) vérification des caractéristiques dimensionnelles des outillages, coquille et boîte à noyaux.

IV.1.5 Les gouttes froides :

Ces défauts sont liés aux conditions de remplissage de l'empreinte

Causes :

- écoulement turbulent engendré par une coulée saccadée.

Remèdes :

- revoir le rythme de basculement de la coquille.

IV.1.6 Les inclusions de graphite :

Ce défaut est lié au manque d'adhérence du poteyage sur les parois de l'empreinte de la coquille.

Causes :

- 1) emploi d'un bain de poteyage trop ancien;
- 2) le déprît de poteyage après chaque refroidissement est trop épais -bain trop concentré;
- 3) encrassement trop important de l'empreinte par l'oxyde de zinc .

Remèdes :

- 1) préparer un nouveau bain de poteyage;
- 2) diluer le bain par une addition d'eau non calcaire;
- 3) décaper complètement la coquille .

IV.1.7 Les inclusions d'oxydes :

Ce défaut est lié à la qualité de l'alliage employé. Il se présente sous forme de traînées de couleur marron ou noir qui affectent la préparation de la peau des pièces.

Causes :

- 1) teneur en magnésium insuffisante ;
- 2) teneur en aluminium insuffisante ;
- 3) température de coulée trop élevée .

Remèdes :

- 1) vérification du titre au moyen de l'éprouvette de flexion en fonction de l'aspect et des résultats donnés par celle-ci, procéder à une addition d'aluminium dans le bain ;
- 2) si la teneur en aluminium est correcte, on procédera à une addition de 10 g de magnésium pour 100 kg d'alliage;
- 3) baisser la température de l'alliage. Ramener celle-ci dans la fourchette 960-980°C.

IV.2. Défauts liés à la solidification et refroidissement des pièce :

Dans cette catégorie sont classées :

- a) les retassures;
- b) les criques.

IV.2.1 Les retassures :

Ces défauts résultent du changement de volume du métal entre l'état liquide et l'état solide.

Causes :

- 1) tracé incorrect de la pièce;
- 2) masselottage insuffisant ;
- 3) composition de l'alliage incorrecte ;
- 4) présence d'oxydes dans l'alliage.

Remèdes :

- 1) revoir le tracé de la pièce;
- 2) augmenter la dimension des masselottes. Si la masse ne peut être chargée convenablement, on aura recours à l'emploi de refroidisseurs en cuivre rouge ;
- 3) contrôle du titre par l'éprouvette de flexion, de temps en temps procéder à une analyse;
- 4) lavage du bain par un flux approprié.

IV.2.2 Les criques :

Causes :

- 1) tracé de la pièce incorrect, présence d'angles vifs ;
- 2) composition de l'alliage mal adaptée. Teneurs en aluminium, en plomb ou en étain excessives . Titre incorrect.

Remèdes :

- 1) prévoir, si possible, des congés de raccordement ou accentuer le poteyage dans les zones de l'empreinte à ce défaut (retardement de la solidification) ;
- 2) contrôle du titre à l'aide de l'éprouvette de flexion;
- 3) analyse.

IV.3. Défauts provoqués par les gaz :

Dans cette catégorie sont classées :

- a) les refuses ;
- b) les soufflures .

IV.3.1 Les refuse :

Ces défauts sont généralement provoqués par la formation de vapeur d'eau au cours de l'opération de coulée

Causes :

- 1) emploi, pour la réalisation des coquilles. d'un matériau de construction présentant des porosités. Celles-ci lorsqu'elles débouchent à la surface des empreintes retiennent une certaine quantité d'humidité, lors des opérations de poteyage, ce qui provoque des dégagements de gaz sous la forme d'eau au moment de la coulée ;
- 2) mauvaise technique de poteyage, refroidissement trop poussé de la coquille qui se traduit par la présence d'humidité sur les parois de l'empreinte;
- 3) emploi d'un poteyage de mauvaise qualité.

Remèdes :

- 1) il n'y a ici pas d'autres remèdes que celui d'employer des matériaux parfaitement sains ;
- 2) vérifier la température des coquilles à l'aide d'un pyromètre de contact par exemple. Rappelons ce sujet que la température idéale de la coquille, au moment de son remplissage, est d'environ 125 °C.
- 3) décaper complètement la coquille. Eliminer le poteyage de mauvaise qualité et le remplacer par un bain de poteyage de bonne qualité.

IV.3.2. Les soufflures :

Ces défauts sont engendrés par de l'air ou des gaz emprisonnés dans l'empreinte au moment du remplissage de celle-ci.

Causes :

- 1) pour les fabrication des noyaux en sable, emploi d'agglomérant dégagent de fortes quantités de gaz ou emploi d'un mélange à trop fort pourcentage d'agglomérant (émission d'une quantité importante de gaz de distillation au moment de la coulée) ;
- 2) insuffisance de tirages d'air, l'air emprisonné dans l'empreinte ne peut s'échapper librement au cours des opérations de coulée.

Remèdes :

- 1) utiliser, de préférence, des agglomérants dégageant de faibles quantités de gaz;
- 2) prévoir des tirages d'air en quantité suffisante .

IV.4. Défauts liés au cours du démoulage :

Dans cette catégorie est classé le "*pinçage*".

Ce défaut est lié au fait que le laiton à teneur réduite en cuivre utilisé pour le moulage en coquille. très fragile à la température du rouge vif ,le démoulage doit donc être effectué sans choc brusque .

Causes :

- 1) mauvais tracé de la pièce. présence d'angles vifs sur des pièces présentant des changements sections successifs ne permettant pas à l'alliage d'effectuer son retrait normalement;
- 2) démoulage de noyaux métalliques trop lent, conicité insuffisante.

Remèdes :

- 1) prévoir au raccordement de deux sections différentes des congés, si possible les dimensionner ;
- 2) démouler le plus rapidement possible les noyaux métalliques et prévoir sur ceux-ci des dépôts convenables. Eventuellement utiliser des noyaux démontables.

CHAPITRE V
CONCEPTION ET REALISATION
D'UNE COQUILLE
POUR COULEE DU LAITON

V. 1 La pièce à coulée :

La pièce est une cosse à serrage par bride, en laiton, utilisée dans les installations électrique. Les dimensions de la cosse à semelle ronde déportée, dépende de la section de câble, comme suite :

Section (mm ²)	L (mm)	Ø P (mm)	Ø B (mm)
6-50	43	21	9
6-70	55	25	11
16-120	64	30	13
25-150	70	32	13
25-185	75	36	13
70-300	85	40	19

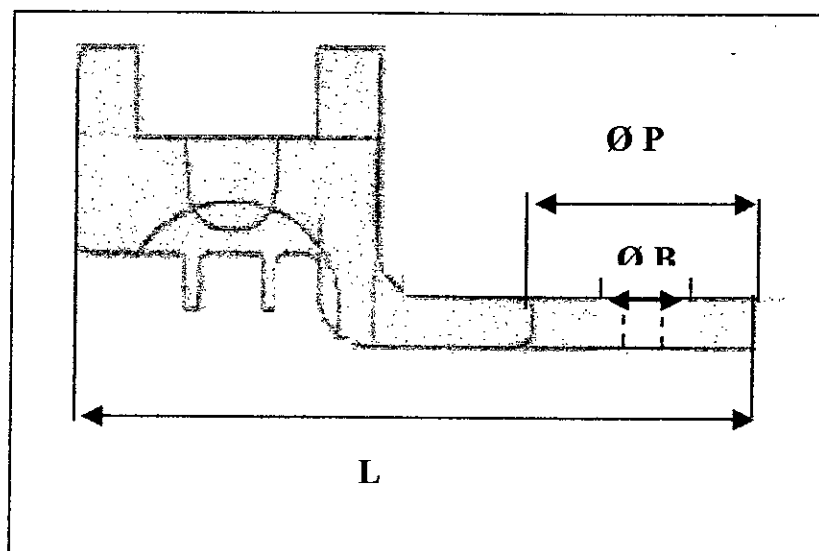


Fig 7 Crosse a bride

La cosse choisie est celle qui sert pour serrer les câbles des sections (16-120 mm²)

V.2 Matériaux de construction :

Le matériaux qu'on a utilise pour la construction de la coquille est compose de deux blocs en fonte grise perlitique à grains fins.

La composition chimique de la fonte sont :

Carbone	3,40 %
Silicium	1,80 %
Manganèse.....	0,90 %
Soufre.....	<0,10 %

Les dimensions des deux blocs sont :

Blocs 1 : (48*80*100) mm

Blocs 2 : (60*50*120) mm

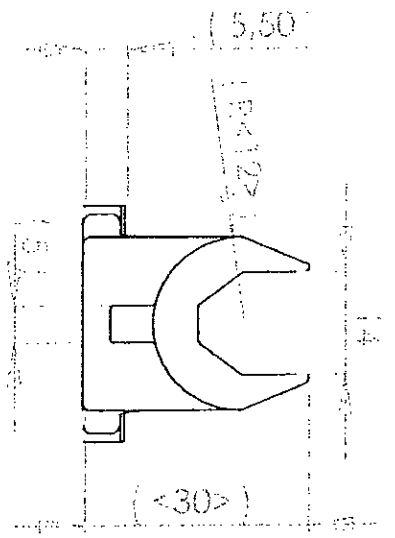
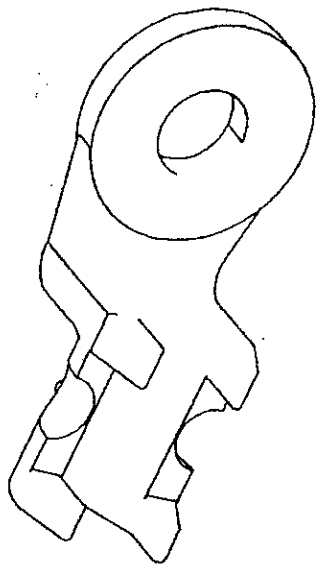
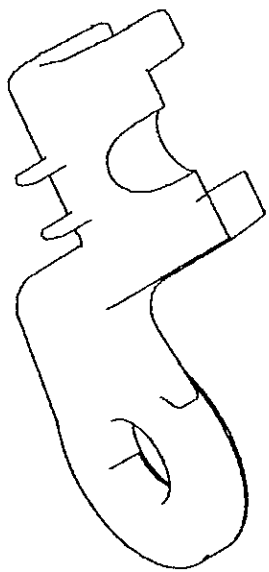
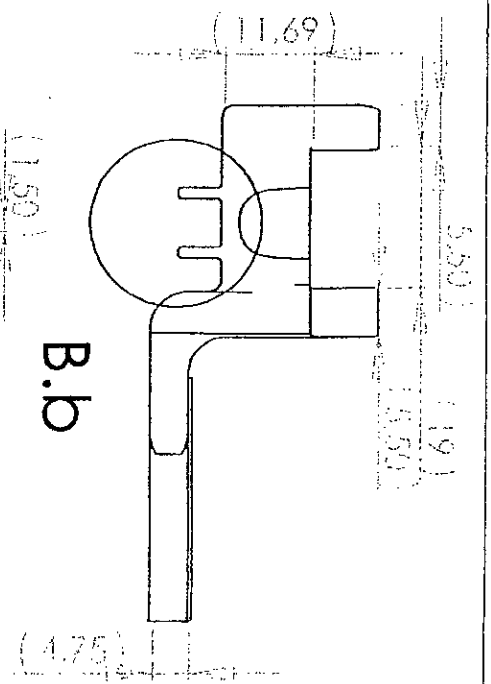
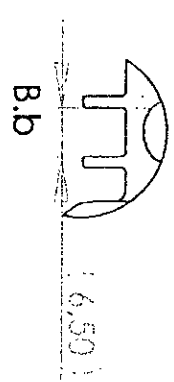
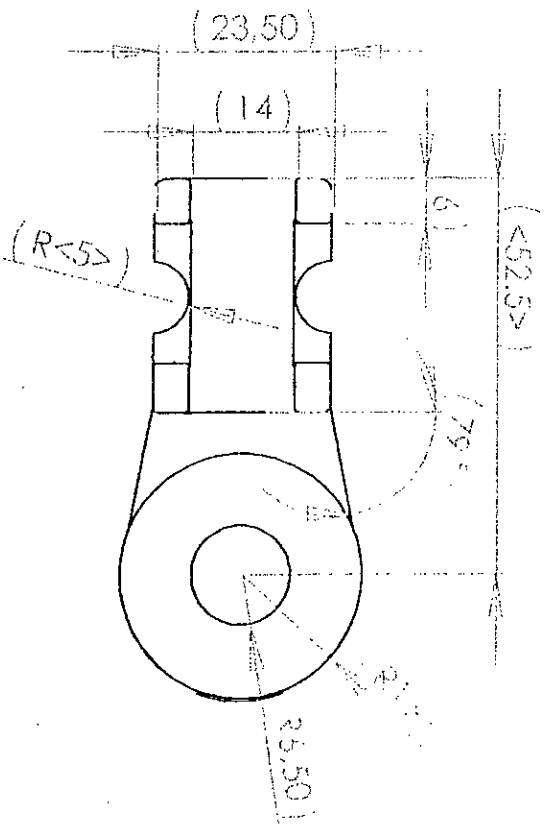
V.3 Le dessin technique de la pièce:

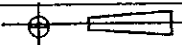
Pour assurer la santé, et la forme de la pièce moulée, il faut prendre les précautions suivantes :

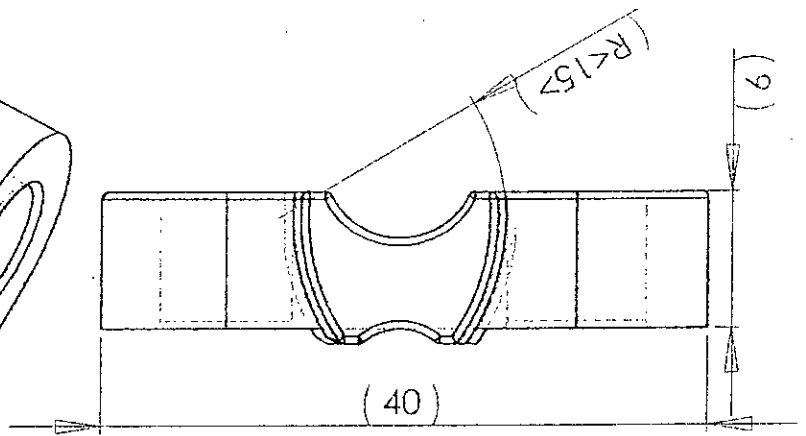
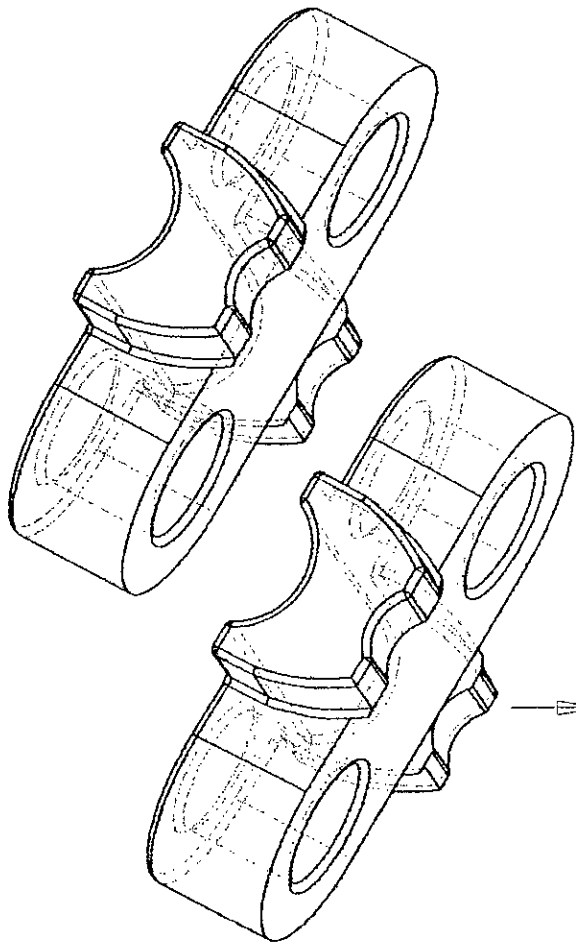
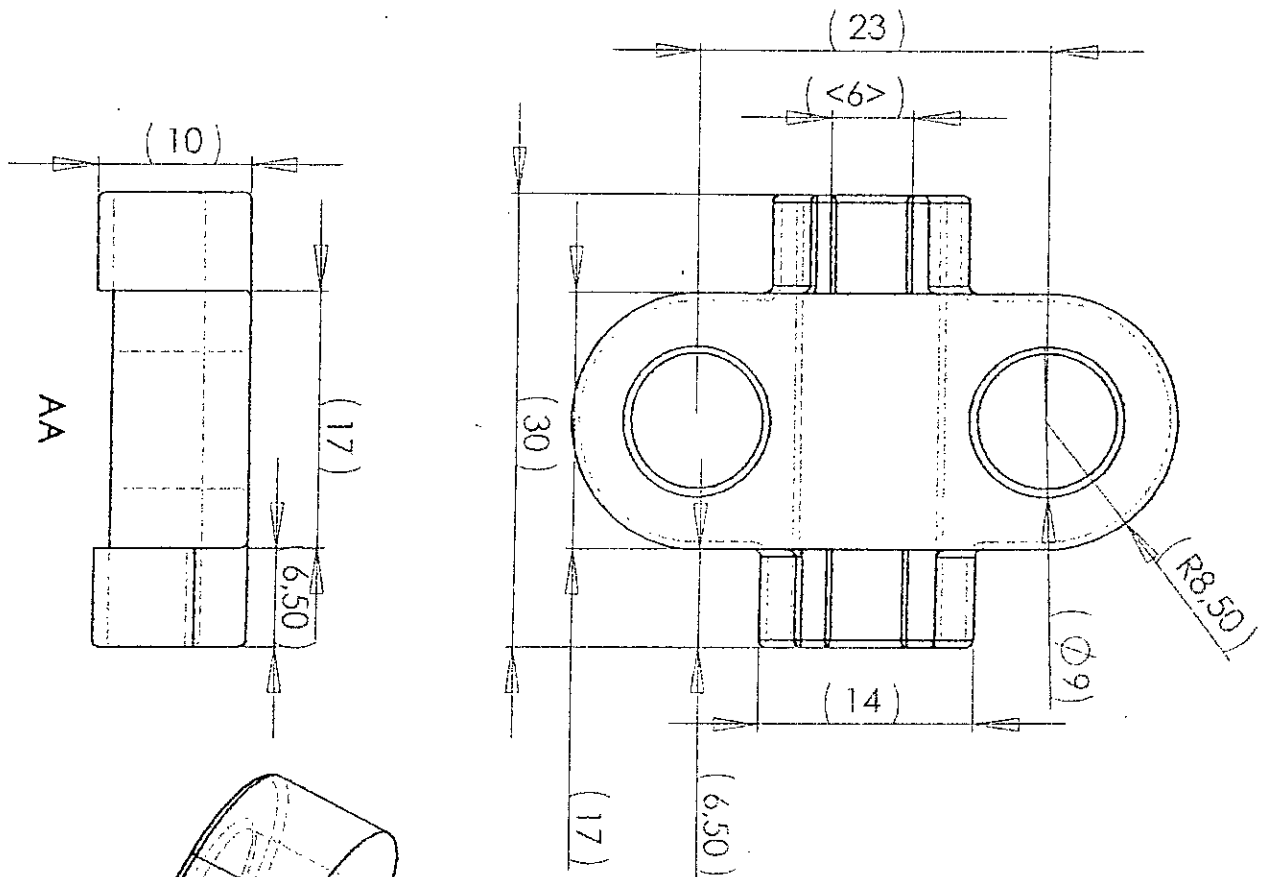
- Tracer les pièces d'épaisseurs aussi homogènes que possible.
- Eviter les angles vifs.
- Utilisation des noyaux.
- En tenir compte des retraits.

On doit tenir compte du retrait de l'alliage ,c-a-d :la différence entre les dimensions du modèle et celle de la pièce finie. Pour le laiton le retrait est de 15-18 mm/m.

Les dessins réalisée sont présentes dans les figures 8 et 9



2 : 1	PFE / EMP 2003	2 : 1
	PREMIERE PARTIE DE LA PIECE	
BENZAOUI Hamid		بن زاوي حميد



2 : 1	PFE / EMP 2003	2 : 1
	DEUXIEME PARTIE DE LA PIECE	
BENZAOUI Hamid		بن زاوي حميد

V.4 La complexité du joint de moulage :

Joint de coulée : c'est la ligne de contact des deux chapes, les paramètres qui déterminent le joint de coulée sont :

- La position de la pièce par rapport à la verticale ;
- La position de la pièce par rapport à l'horizontale ;
- La direction de l'éjection de la pièce

Nous avons choisi, un joint brisé pour la première partie de la cosse, et un joint plan pour la deuxième partie de la cosse (fig 10,11,et12).

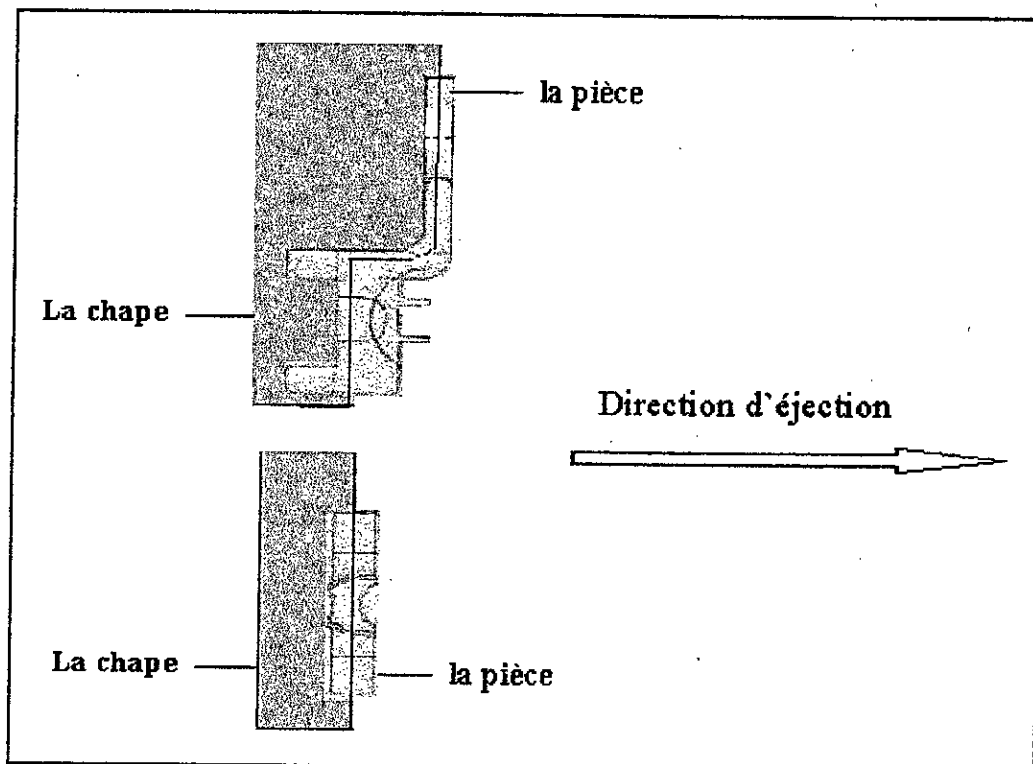


Fig 10 : Direction d'éjection

La position de la pièce , est verticale, car elle présente l'avantage d'un meilleur remplissage de l'empreinte (fig 11et12)

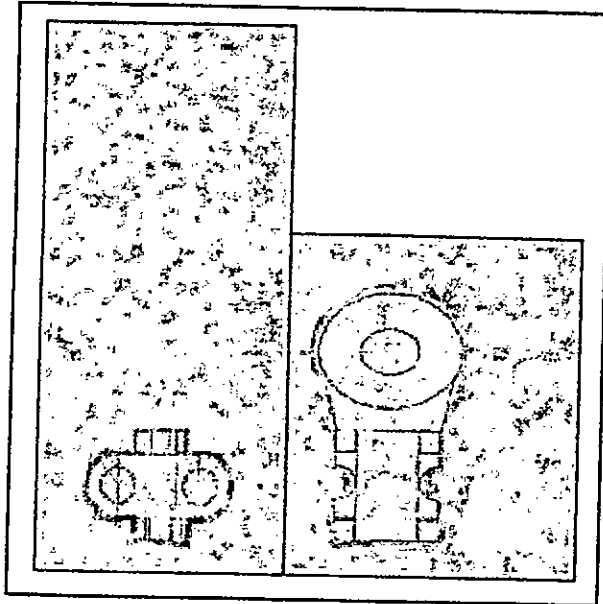


Fig 11 La position de la pièce par rapport à la verticale

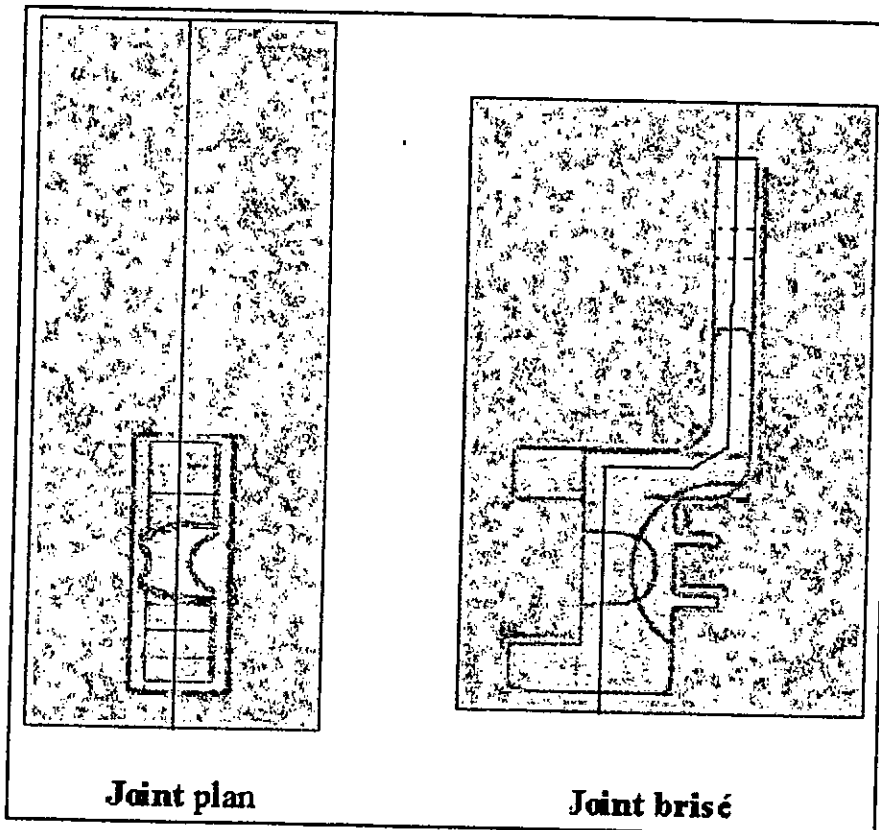


Fig 12 Présentation du joint de coulée

V.5 Système d'attaque :

Constitué de la descente de coulée, le canal et une ou plusieurs attaques reliées à l'empreinte.

Le calcul du système d'attaque sera effectué en fonction des paramètres suivants:

- Le temps de remplissage ;
- La masse de la pièce ;
- Volume de la pièce ;
- L'alliage.

Les éléments qui constituent le système d'attaque sont :(fig 13)

- La section de la descente de coulée ;
- L'entonnoir de coulée ;
- Détermination des dimensions de la descente et de l'entonnoir de coulée ;
- Détermination des épaisseurs d'attaque.

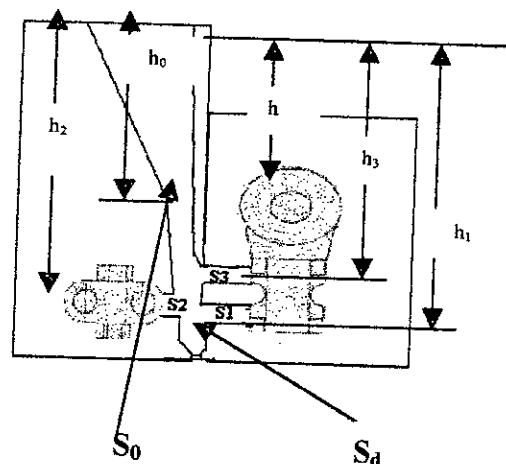


Fig 13 **Différents éléments d'attaque**

V.5.1 La section de la descente de coulée :

La section de la descente de coulée est déterminée par la relation suivant :

$$S_d = V / 0.7T (g(h+ h_1))^{1/2} = V / 2.2T (h+h_2)^{1/2}$$

S_d : La section de la descente de coulée ;

T : Le temps de remplissage

Selon le modele de la pièce, et la coquille étudiée on trouve les valeurs suivants :

$$e = 5\text{mm}$$

$$m = 210\text{g}$$

$$V = 19 \text{ cm}^3$$

$$h = 4\text{cm}$$

$$h_1 = 10.4\text{cm}$$

Pour déterminer le temps de remplissage on utilise méthode de NIELSEN.

On a e : Epaisseur moyenne des parois (mm) ;

m : Masse de la pièce brute de coulée(kg) masse de la pièce barbée*1.5).

a partir de la méthode de NIELSEN on a $T=2.42\text{s}$

Le calcul de S_d donne : 0.98 cm^2

V.5.2 L'entonnoir de coulée :

L'entonnoir est caractérisée par sa forme, sa hauteur, et sa base.

- **Hauteur de l'entonnoir**

$$h_0 = h_1/6 \quad \longrightarrow \quad h_0 = 1.73 \text{ cm}$$

- **Section de la base de l'entonnoir :**

$$S_0 = 2.4S_d \quad \longrightarrow \quad S_0 = 2.37 \text{ cm}^2$$

V.5.3 Détermination des dimensions de la descente et de l'entonnoir de coulée :

Dans notre expérience, nous avons utilisé le poteyage noir (solution de l'eau et poudre de graphite), qui correspond à une épaisseur de 0.5mm.

La détermination des dimensions de la descente et de la base de l'entonnoir en fonction du poteyage et des sections S_d et S_0 , sont obtenues a partir de l'abaque, donne dans la figure 14

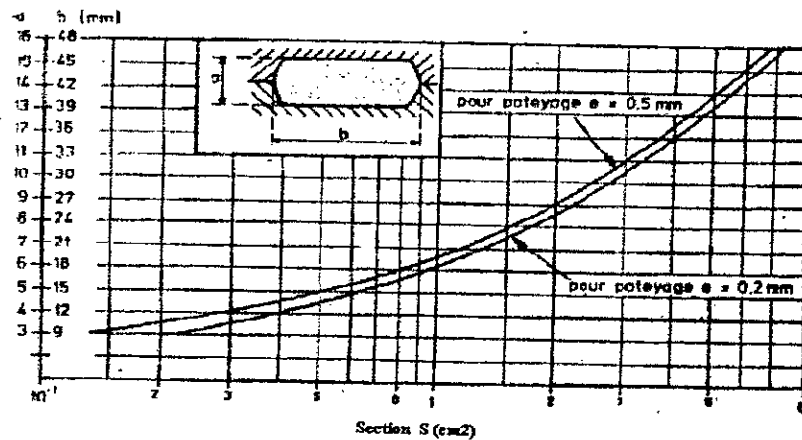


Fig 14 Détermination des dimensions de S_d et S_0 (a et b en (mm))

V.5.4 Détermination la section d'attaque :

La section d'attaque est déterminée par le calcul suivant :

$$S_i = S_d (h_i / 10)^{1/2}$$

avec les valeurs suivantes :

$$h_1 = 10.4$$

$$h_2 = 9.8$$

$$h_3 = 7.2$$

nous trouvons :

$$S_1 = 1.00 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = 0.96 \text{ cm}^2$$

$$S_3 = 0.82 \text{ cm}^2$$

V.6 Système de verrouillage :

C'est le système qui permet la fermeture du moule pour le remplissage, et l'ouverture pour l'éjection de la pièce, constituée de deux chapes montées sur un étau, l'une fixe et l'autre mobile grâce à un système vis-écrou manipulé manuellement par une manivelle.

V.7 Système d'éjection de la pièce:

C'est l'opération qui consiste à extraire la pièce solidifiée et à température élevée.

Pour faciliter le démoulage, deux facteurs interviennent :

- Poteyage : c'est un enduit, qui facilite l'éjection et peut être considéré comme un agent démoulant .
- L'action mécanique s'exerce par des éjecteurs repartis sur la pièce et qui la poussent hors du moule .

L'éjection de la pièce est assurée par deux bâtons, dits éjecteurs, qui passent à travers l'empreinte de la chape fixe et poussent la pièce pour l'extraire de l'empreinte .

Les éjecteurs sont montés sur un porte éjecteur relié à la chape mobile par deux tiges, lorsque le moule est fermé les éjecteurs sortent complètement de l'empreinte pour permettre la formation de la pièce, et lorsqu'il est ouvert, les éjecteurs pénètrent automatiquement dans l'empreinte de la chape fixe où la pièce est collée pour la pousser et l'extraire du moule .(fig 15)

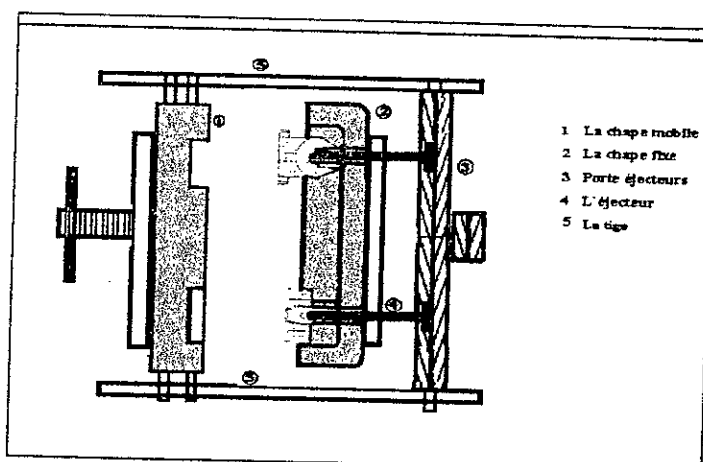


Fig 15 Système d'éjection

V.8 LA RÉALISATION :

V.8.1 Méthode de la réalisation :

Considérant la complexité relative de la pièce, et afin d'atteindre la précision voulue. Les modes d'usinage habituels ne permettent pas de réaliser l'empreinte de ce moule, alors on procède par la technique d'usinage par l'électro-érosion.

En usinage par électro-érosion, le métal est enlevé par des étincelles électriques éclatant entre une électrode-outil en cuivre et la chape à usiner qui sont immergées dans un liquide diélectrique.

La forme de l'électrode-outil qui est la même que celle de la pièce, est progressivement reproduite négativement dans la chape.(fig 16)

V.8.2 La réalisation :

1) Préparation des chapes :

Pour la préparation des chapes on a besoin de deux blocs en fonte grise perlitique.

Bloc (1) : Ce bloc est réservé pour la préparation de la chape qui constitue la première partie de la pièce. On rectifie avec une fraiseuse les faces de ce bloc pour avoir un parallélépipède parfait, en suite on le coupe en deux par une électrode-fil, suivant le joint de coulée de la première partie de la pièce (joint brisé).

Bloc (2) : Destiné à la deuxième partie de la pièce, il est coupé en deux parties identiques, celles-ci sont rectifiées par une fraise sur leurs six faces.

2) Préparation des électrodes-outils :

Les électrodes sont en cuivre électrolytique. Vu la complexité de la forme de la pièce, elle n'est pas réalisable avec une seule électrode, alors on a réalisé une combinaison de quatre électrodes de formes plus simples.(fig 16)



Fig 16 Les électrodes-outils

3) Réalisation des empreintes et le système d'attaque :

On place chaque demi-bloc avec les électrodes correspondantes dans la machine à électro-érosion pour obtenir les empreintes de forme négatives à celle de la partie correspondante de la pièce .

Pour le cas du système de coulée, il est usiné par une fraiseuse suivant la forme étudiée lors de la conception de la coquille.

4) Le montage:

Chacune des deux chapes est constituée de deux demi blocs, qui assemblés à l'aide de deux vis passant au milieu.(fig 17)

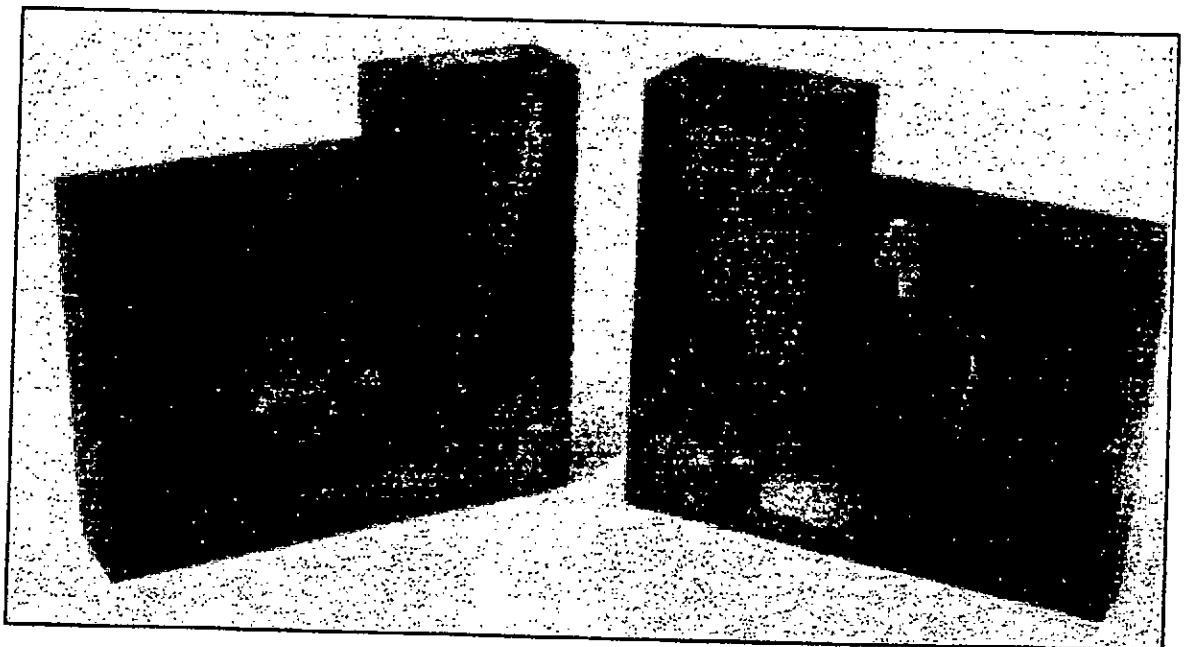


Fig 17 Présentation de la coquille

CHAPITRE VI
FUSION ET COULEE DU LAITON

VI.1. Alliages employés :

C'est l'alliage CuZn39Al1 sous forme de lingot qui a subi un découpage en morceaux de différentes tailles.

Les éléments d'additions sont :

- Le zinc pur se présente sous forme de petits morceaux.
- L'aluminium pur sous forme de barreaux cylindriques de diamètre Ø2mm.

La préparation de la charge a été réalisée de la manière suivante :

Pour trois (03) Kg de l'alliage CuZn39Al1 on ajoute 7.6 g de l'aluminium, et 217.8g du Zinc. La composition de la charge obtenue est :

$$\%Cu=57.22$$

$$\%Zn=40.50$$

$$\%Al=0.75$$

Les pertes au feu de zinc, et de l'aluminium sont :

$$\text{-Zinc : } 3.5\%$$

$$\text{-Al : } 0.14\%$$

la composition visée:

$$\%Cu=60.15$$

$$\%Zn=37$$

$$\%Al=0.6$$

VI.2. Conduite de la fusion et de la coulée du laiton :

Les conditions de la fusion et de la coulée sont :

VI.2.1 La température du four :

La température de fusion est fixée pour cet alliage est 1100 °C, et la température de coulée doit se situer entre 900 et 990 °C.

VI.2.2 La durée de la fusion :

Elle doit être aussi faible que possible afin d'éviter les phénomènes d'oxydation de surchauffe et de la dissolution de gaz. Mais elle dépend aussi du rendement du four.

VI.2.3 Température du moule :

On doit chauffer le moule à l'aide d'un chalumeau et la température du moule doit se situer entre 125 et 400 °C.

VI.2.4 Les flux :

- a) Flux de protection : On utilise le charbon de bois comme un flux de protection.
- b) Flux de désoxydation : Le Zinc ajouté en fin de fusion est un désoxydant efficace.
- c) Flux de dégazage : Une petite addition de l'aluminium permet un dégazage et une protection du bain par la formation d'une couche protectrice de Al_2O_3 .

VI.3 Préparation de potyage :

C'est une solution de poudre de graphite en suspension dans une solution d'alcool et d'eau, le graphite est broyé pour obtenir une poudre très fine, et l'alcool commerciale (éthanol à 90%).

On dissout 100g de graphite dans 500 ml d'eau, on ajoute 30 ml d'alcool et on agite bien. Le potyage a une action triple :

- Faciliter le démoulage ;
- Protéger l'empreinte (protection mécanique et thermique) ;
- Régler le refroidissement de l'alliage.

VI.4. Les essais de la coulée :

Nous avons procédé à plusieurs essais de coulée avant d'obtenir la forme exacte de la pièce, durant les premiers essais nous avons relevé des défauts en particulier le manque de remplissage. Nous avons corrigé les défauts au fur et à plusieurs des essais.

VI.4.1 Première essai :

Les Conditions :

- Une seule attaque de la première partie de la pièce (S_1) ;
- Température de la coquille 100 °C ;

- Température de coulée 990 °C ;
- Le potyage

Les résultats : (fig 19)

- Le métal n'a pas occupé complètement l'empreinte de la première partie de la pièce, (les malvenues);
- Le métal occupe complètement l'empreinte de la deuxième partie de la pièce,

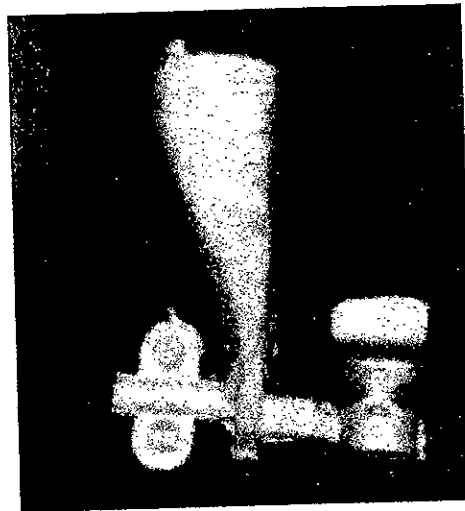


Fig-19 1^{er} essai de coulée

Les Causes :

- Dimensions ou forme incorrectes de l'attaque ;
- Coquille trop froide.

Les remèdes :

- augmenter la température de chauffage de la coquille.

VI.4.2 deuxième essai :

Les Conditions :

- Une seule attaque de la première partie de la pièce(S₁) ;
- Température de la coquille 250 °C ;
- Température de coulée 990 °C ;

- Le potyage

Les résultats : (Fig 20)

- Les malvenues au niveau de la semelle de la cosse ;
- Le métal occupe complètement l'empreinte de la deuxième partie de la pièce,

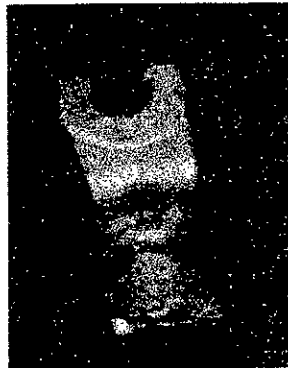


Fig 20 2^{ème} essai de coulée

Les Causes

- Dimensions ou forme incorrectes de l'attaque ;
- Une seule attaque est insuffisant.

VI.4.3 Troisième essai :

Les Conditions :

- deux attaques de la première partie de la pièce ($S_1 + S_2$);
- Température de la coquille 100 °C ;
- Température de coulée 900 °C ;
- Le potyage

Les résultats : (fig 21)

- Le métal n'a pas occupé complètement l'empreinte de la première partie de la pièce, (les malvenues);
- Le métal occupe complètement l'empreinte de la deuxième partie de la pièce,

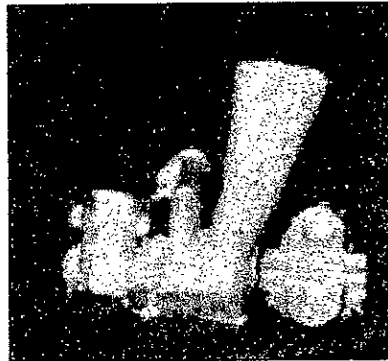


Fig 21 3^{ème} essai de coulée

Les Causes :

- Température de coulée est insuffisante;
- Coquille trop froide .

VI.4.4 Quatrième essai :

Les Conditions :

- deux attaques de la première partie de la pièce($S_1 + S_2$) ;
- Température de la coquille 250 °C ;
- Température de coulée 950 °C ;
- Le potyage

Les résultats : (Fig 22)

- même défaut pour la première partie de la pièce
- Le métal occupe complètement l'empreinte de la deuxième partie de la pièce,

Les Causes : Température de coulée est insuffisant

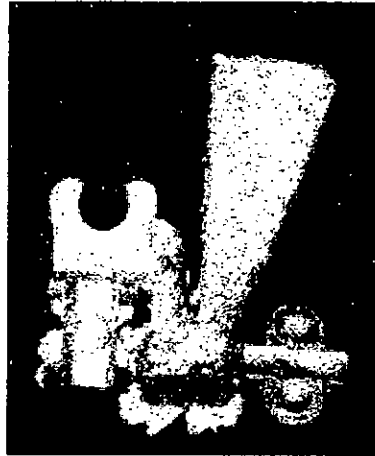


Fig-22 4^{ème} essai de coulée

VI.4.5 Cinquième essai :

Les Conditions :

- deux attaques de la première partie de la pièce ($S_1 + S_2$);
- Température de la coquille 250 °C ;
- Température de coulée 990 °C ;
- Le potyage

Les résultats : (Fig 23)

- Le métal n'a pas occupé complètement l'empreinte de la première partie de la pièce, (les malvenues);
- Le métal occupe complètement l'empreinte de la deuxième partie de la pièce,



Fig 23 5^{ème} essai de coulée

Les Causes : Le nombre des événements au niveau de la semelle de la cosse est très insuffisant.

VI.4.6 Sixième essai :

Les Conditions :

- deux attaques de la première partie de la pièce ($S_1 + S_2$);
- Température de la coquille 250°C ;
- Température de coulée 990°C ;
- Le potyage
- Un autre canal d'évent, est ajouté au niveau de la semelle de la cosse.

Les résultats : (Fig 24)

- Le métal n'a pas occupé complètement l'empreinte de la première partie de la pièce, (les malvenues);
- Le métal a occupé complètement l'empreinte de la deuxième partie de la pièce,

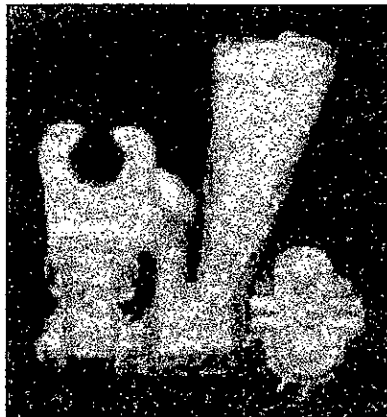


Fig-24 6^{eme} essai de coulée

Les Causes : l'épaisseur de la canal d'évacuation des gaz très étroit.

Les remèdes : élargir les événements.

VI.4.7 Septième essai :

Les Conditions :

- deux attaques de la première partie de la pièce ($S_1 + S_2$);
- Température de la coquille 250°C ;
- Température de coulée 990°C ;
- Le potyage
- L'élargissement des événements

Les résultats : (Fig 25)

- Le métal occupe complètement les deux empreinte de la pièce.

**Fig-25- 7^{ème} essai de coulée****VI.5 Essai avec basculement de la coquille :**

Nous avons procédé, aux essais de coulée avec basculement de la coquille, sous un angle de 30 à 45° par rapport à la verticale. La pièce coulée est plus saine, que celle obtenue par coulée avec la position verticale. (fig 26)

**Fig-26 Essai de coulée avec basculement**

VI.6 Conclusion :

Après avoir effectué ces essais de coulée, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- Le dessin de la coquille, a donné de bons résultats, car la forme de la pièce a été obtenue .
- Les évents n'ont pas été bien dimensionnée au départ, les correction effectuées sont permis de résoudre le problème du remplissage correct de la pièce .
- La maîtrise de la température de coulée influe sur la qualité de la pièce. Qui est de 990⁰C
- - Le chauffage de la coquille joue un rôle important
- Le basculement de la coquille donne de meilleurs résultats, que la coulée avec une position au verticale.

CHAPITRE VII
ELABORATION DES ALLIAGES
Cu-Zn-Al
POUR COSSE A BRIDE

VII. ÉLABORATION DES ALLIAGES Cu-Zn-Al POUR COSSE A BRIDE

VII.1. Alliage à élaborer :

Les alliages élaborés ont été obtenus par des charges composées d'un alliage mère (CuZn39Al1), de Zinc pur et d'aluminium pur de nuance A5.

Les compositions de l'alliage CuZn39Al1, Zinc et Aluminium sont :

- Alliage CuZn39Al1 :

Cu%	Zn %	Al%	Pb%	Ni%	Si%	Fe%	Reste%
59.57	36.21	0.54	2.49	0.34	0.02	0.62	0.08

- Zn pur : 99.99 %
- Al pur : 99.99%

L'alliage CuZn39Al1 sous forme de lingot a subi un découpage en morceaux de différentes tailles. (taille moyenne 10mm)

Le zinc se présente sous forme de petits morceaux. de taille moyenne de 5mm

L'Aluminium sous forme de barreaux cylindriques de diamètre Ø2mm

VII.2. Condition d'élaboration :

1- *Four de fusion :* Nous avons utilisé un four à creuset, de marque MEKER. Le chauffage se fait par résistances électriques. Les caractéristiques du four sont :

- Puissance électrique 3.2 KW ;
- $T_{Max}=1200^{\circ}C$
- Creuset en graphite .

2- Perte au feu :

D'après les travaux de coulée dans les fonderies (fonderie de EL-HARACH, et de BCR de AIN-EL KABIRA), les pertes aux feux sont définies de la manière suivante :

Cu : 0.7 %;

Zn : 3.5 %;

Al : 0.14 %.

3- Températures de coulée :

Elle est fixée entre 960 et 1000 °C.

4- Traitement du bain :

Deux flux sont utilisés

- Flux de protection : poussière de charbon de bois.
- Flux de désoxydation : poudre de zinc

5- Préparation de la charge :

Les charges sont propres exemptes d'humidité, ou des produits contaminant. Les opérations à réaliser sont :

- La pesée des charges
- Le chargement dans le creuset lorsque celui-ci est au rouge.

6- La coulée :

La coulée sous forme de barreaux cylindriques de longueur 200mm. et de diamètre de 10mm. se fait dans un moule en sable.

VII.3 Calcule de la charge :

La méthode de calcul de la charge, en tenant compte des pertes aux feux, est définie de la manière suivante :

Soit M_1 la masse de l'alliage A_1 à élaborer.

L'alliage A_1 est composé de

- M_0 de l'alliage mère ;

- m_{Zn} du zinc à ajouter ;
- m_{Al} de l'aluminium à ajouter ;

On vise (03) trois alliages A_1, A_2, A_3 , a partire de l'alliage A_0 tel que :

$$M_1 = M_0 + m_{Zn} + m_{Al}$$

Soit X_{Al} la composition en Al de l'alliage A_1 .

$$X_{Al} = M_{Al} / M_1$$

$$M_{Al} = (M_{Al})_{A_0} + m_{Al}$$

$(M_{Al})_{A_0}$ est la quantité de l'aluminium contenue dans l'alliage mère A_0 .

En faisant le même raisonnement pour le Zinc :

$$X_{Zn} = M_{Zn} / M_1$$

Si X'_{Zn} est la composition visée, et P_{Zn} les perte aux feux en zinc on a :

$$X_{Zn} = X'_{Zn} + P_{Zn}$$

$$X_{Zn} = ((M_{Zn})_{A_0} + m_{Zn}) / (M_0 + m_{Al} + m_{Zn})$$

$$X_{Al} = X'_{Al} + P_{Al}$$

$$X_{Al} = ((M_{Al})_{A_0} + m_{Al}) / (M_0 + m_{Al} + m_{Zn}).$$

On pose :

$$m_{Al} = X$$

$$m_{Zn} = Y$$

le problème, consiste a résoudre un système de deux équations à deux inconnues X et Y.

$$X'_{Zn} + P_{Zn} = ((M_{Zn})_{A_0} + Y) / (M_0 + X + Y)$$

$$X'_{Al} + P_{Al} = ((M_{Al})_{A_0} + X) / (M_0 + X + Y).$$

Application :

Calcul de la charge A_1

$$M_0 = 635g$$

$$(M_{Al})_{A_0} = (0.54/100) * 635 = 3.429g$$

$$(M_{Zn})_{A_0} = (36.21/100) * 635 = 230g$$

- La composition visée est

$$X'_{Zn} = 37 \quad X'_{Al} = 0.4$$

- Les pertes aux feux sont :

$$P_{Zn} = 3.5 \quad P_{Al} = 0.14$$

La composition de la charge est :

$$X_{Zn}=37+3.5=40.5$$

$$X_{Al}=0.4+0.14=0.54$$

Alliage	Composition visée		Composition de la charge		Quantité ajoutée	
	X _{Zn} %	X _{Al} %	X _{Zn} %	X _{Al} %	m _{Zn}	m _{Al}
A ₁	37	0.4	40.5	0.54	45.5	0.25
A ₂	37	0.6	40.5	0.74	44	1.548
A ₃	37	1	40.5	1.14	38.2	3.17

Tableau 4 : Calcul de la charge

Alliage	M _{A0}
A ₁	635
A ₂	606
A ₃	500

VII.4. Ordre de chargement :

1-Poteyage des outils de fusion et de coulée , appliqué sur la surface.

2-Mise en marche du four et régulation de la bonne température.

3-Dés que le creuset est chauffé au rouge procéder au chargement. L'ordre de chargement doit se faire de la manière suivante :

- Une partie du flux de protection : charbon de bois.
- Quelques jets de petites dimensions pour garnir avant agencement le fond étroit du creuset et par leurs multiples points de contact avec la paroi chaude facilitent la formation de bain .

Ils évitent en même temps les chocs thermiques brutaux et le coincement des lingots dans le creuset .

- Chargement des lingots et des morceaux importants en évitant de les faire tombé , brutalement au fond du creuset et en évitant de les ranger trop serré car lors de leur dilatation peuvent coincer et exercer une pression importante sur les parois du creuset causant la déformation et la rupture .

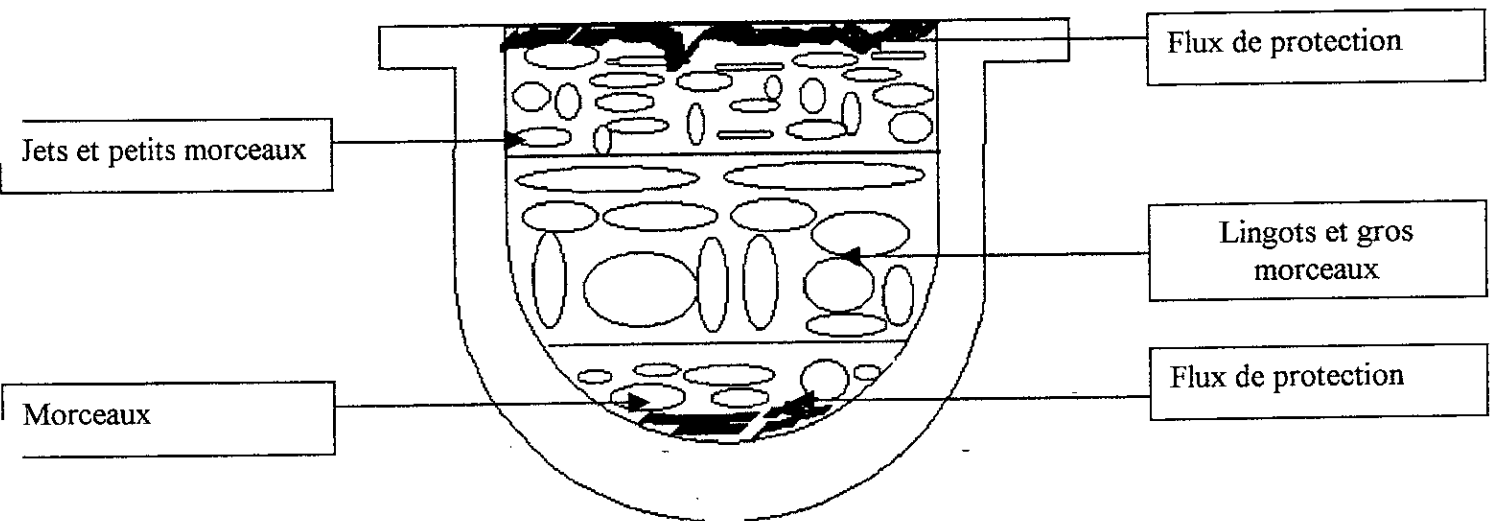


fig.27 : Méthode de chargement du creuset

4-Lorsque toute la charge est introduite placer le couvercle et préchauffer l'outillage.

VII.5 fusion et coulée :

- Dès que la charge devient liquide dégrasser, introduire le flux de dégazage et brasser soigneusement le bain en profondeur ;
- Appliquer une couche du flux de protection ;
- Après le calcul, dégrasse, et introduire la quantité d'Al ;
- Agiter, et introduire la quantité de Zinc ;
- Coulée

VII.6 Caractéristiques des alliages élaborées :**VII.6.1 Composition chimique :**

Les résultats de la composition chimique des trois alliages A₁, A₂ et A₃ obtenus par analyse spectrographique, sont présents dans le tableau suivant :

Alliage	Cu	Zn	Al	Pb
A ₁	59.39	36.45	0.34	2.32
A ₂	60.10	35.28	0.53	2.29
A ₃	58.23	37.13	0.87	2.35

Tableau 5 : Composition chimique

Les taux de Zn, et d'Al sont proches des valeurs calculées (Tableau 4)

VII.6.2 Structure :

Les échantillons utilisé pour la caractérisation micrographique ont subi une Préparation suivante :

- 1- Tronçonnage , dégrossissage à la moule.
- 2- Rinçage.
- 3- Polissage au papier environ 20cm léger lubrification d'eau. Les papiers utilises sont :120, 250, 300, 400, 600, et1000
- 4- Finition au tissu avec la pâte diamantée et sous lubrification appropriée.
- 5- Rinçage et attaque chimique. Le réactif d'attaque choisi après plusieurs essais est compose de la manière suivante :
 - 05 parts d'acide nitrique
 - 05 parts d'acide acétique
 - 01 parts d'acide phosphorique

Les condition de l'attaque sont :durée environ trois seconde, température 25°C.

Les observations des structures donnent les résultats suivants :

Les alliages A₁, et A₂ :

Structure monophasé α , cubique à face centrée (CFC). Les grains sont polyédriques .On observe les macle typiques aux structure CFC.(fig 28et29)

L` alliage A₃:

Structure biphasée $\alpha+\beta$, la phase β de couleur sombre. (fig 30)

VII.6.3 Résistivité électrique :

La Résistivité électrique a été mesurées à l'aide d'un pont de THOMSON. Les valeurs obtenus sont présents dans le tableau suivant :

Alliage	A ₁	A ₂	A ₃
Résistivité 10 ⁸ Ωm	6.47	6.92	7.15

Tableau 6 : Résistivité électrique

VII.6.4 Dureté :

Les duretés sont présents dans le tableau suivant :

Alliage	A ₁	A ₂	A ₃
Dureté HB 10/3000	44	45	48

Tableau 7 : Duretés des alliages Cu-Zn-Al

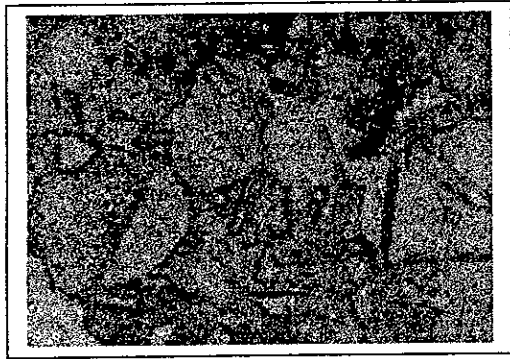


Fig :28 Structure de A₁
G=200

Fig :29 Structure de A₂
G=200

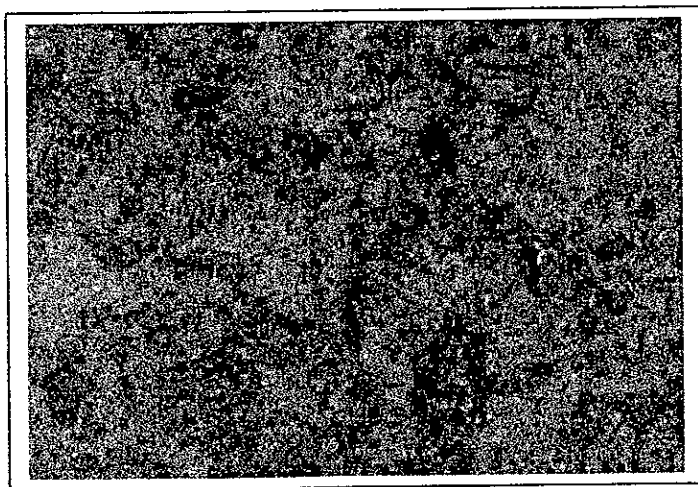


Fig :30 Structure de A₃
G=200

CONCLUSION GÉNÉRALE

Nous avons réalisé une étude de conception d'une coquille. En fonte grise perlitique, pour le moulage du laiton.

La réalisation de la coquille, basée sur les calculs effectuée, et les essais de coulée réalisée, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- La conception, et le dimensionnement des paramètres , ont donne de bon résultats, car la pièce réalisée est conforme
- Les rectifications faites au cours des essais, ont permis de corriger les défauts, et de déterminer les conditions de fusion et de coulée

Nous avons étudié et réalisée, l'élaboration de trois alliages Cu-Zn-Al , nous optimiser la composition destinée à la fabrication de la cosse et des pièces en laiton pour l'industrie électrique.

Ce projet présente plusieurs aspects positifs :

1. Sur le plant pédagogique. Car il peuvent de liés les considérations théorique, du moulage en coquille à la pratique
2. Sur le plant technologique. Car il à permis de maîtrise, l'étude de conception, la réalisation, l'élaboration des alliages du laiton, et la fusion et de la coulée.

En fin nous considérant que les travaux peuvent continuer pour approfondir mieux les différents points du moulage en coquille avec des moyens suivants :

- Four de précision (four à gaz, électrique, à induction)
- Moyens de caractérisation de grand précision

BIBLIOGRAPHIE

- 1) « Les propriétés du cuivre et de ses alliages»
- 2) L . GUILLET, « Technique de l'ingénieur » , M 300 , (1992) .
 - «Elaboration des alliages de cuivres» . (CTIF) 2001.
 - «Moulage en coquille par gravities du laiton». (CTIF) 2001.
 - R.DIETRICH « la construction mécanique II »
 - G.FACY « Précis de fonderie I » (1992).
 - « Données numériques sur le cuivre et ses alliages » Technique de l'ingénieur 433, (1996)
 - C.CHAUSSIN « Alliages métallique »
 - « les alliages cuivreux » Syndicate general des foundries de France
 - J.LAINE « les alliages cuivre moulée »
 - J.BINARD« métallurgie général »2^{eme} ed. MASSON