



# Zn

Les Alliages  
de Zinc de A à Z

Du projet à la pièce finie



Au terme du Code de la propriété intellectuelle, toute reproduction ou représentation, intégrale ou partielle de la présente publication, faite par quels que procédés que ce soit, sans consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause est illicite et constitue une contrefaçon sanctionnée par les articles L.335.2 et suivants du CPI.

# Préface

Quelle est la matière qui allie à la fois économie, écologie et développement durable par la « recyclabilité », bonne résistance mécanique, précision dimensionnelle et qualité d'aspect et de toucher... ?

Il s'agit des alliages de zinc plus connus sous la dénomination ZAMAK, de par leurs compositions à très grande teneur de zinc associée à de l'aluminium, du magnésium et du cuivre.

Les différentes compositions aux teneurs extrêmement précises permettent d'adapter au mieux l'alliage très pur aux caractéristiques nécessaires à l'obtention de pièces de fonderie aux applications très diverses et variées.

Ces alliages permettent en effet de répondre aux très nombreuses contraintes des pièces à fabriquer dont les fonctions toujours plus exigeantes peuvent être optimisées tant techniquement qu'économiquement.

Les qualités et propriétés intrinsèques du ZAMAK sont déclinées dans cet ouvrage de même que les bonnes pratiques évolutives expérimentées depuis bientôt 100 ans pour des utilisateurs souvent trop peu curieux pour relever l'excellence des applications.

Ce recueil de l'état de l'art, aussi exhaustif que possible, a pour ambition de participer à la diffusion au plus grand nombre de la notoriété d'une famille d'alliages performants pour la réalisation de pièces à l'unité ou en séries.

Il est le fruit de l'expérience accumulée par la profession composée d'hommes et de femmes, issus des métiers de la mécanique et de la fonderie, à la disposition de développeurs et de designers à la créativité sans bornes...

A travers l'Association ZINC FONDERIE, la profession inscrit la promotion des alliages de zinc dans une dynamique de progrès en s'associant aux objectifs largement partagés du respect de l'environnement.

Que la nouvelle version de ce recueil qui formalise « savoirs » et « compétences » continue à initier encore davantage de « vocations zinc » ; tel est l'espoir qui porte les acteurs de la filière pour la plus grande satisfaction des clients utilisateurs et manufacturiers.

Que soient remerciés tous ceux qui contribuent au fil des années à enrichir sans compter cette base de données contribuant ainsi à l'excellence du ZAMAK.

**Remy Laurent**

*Ancient président de Zinc Fonderie*



# Introduction

Le but de ce livre est de guider les concepteurs dans l'utilisation des pièces coulées sous pression en alliages de zinc.

Toutefois, les informations contenues dans ce document ne peuvent remplacer le savoir-faire et l'expérience du fondeur qu'il est primordial d'intégrer le plus en amont possible des projets. Seul un professionnel de la fonderie sous pression Zamak peut accompagner le concepteur dans ses développements. Son rôle est de valider avec le concepteur, le procédé, le choix de l'alliage et le tracé de vos pièces.

Les membres de l'Association Zinc Fonderie France s'engagent, de l'élaboration des alliages à la livraison des pièces, à garantir que leur fabrication est conforme aux deux normes relatives aux alliages de zinc :

- NF EN 1774 (novembre 1997) :  
« Zinc et alliages de zinc - Alliages pour fonderie - Lingots et liquide »,
- NF EN 12844 (février 1999) :  
« Zinc et alliages de zinc - Pièces moulées - Spécifications ».

Particulièrement adaptés à la coulée sous-pression, les alliages de zinc appelés Zamak permettent d'obtenir des pièces minces et/ou des pièces de configuration compliquée.

Les excellentes caractéristiques mécaniques, la très bonne coulabilité, la stabilité dimensionnelle, l'aptitude à la décoration, la résistance à la corrosion, les cadences de production élevées, permettent aux concepteurs de trouver dans ces alliages une solution compétitive et fiable.

Ils sont connus en France sous la désignation :

- Zamak 2 (ZL2),
- Zamak 3 (ZL3),
- Zamak 5 (ZL5).

Les alliages de zinc sont réutilisables à 100% par le recyclage des produits en fin de vie. Ils contribuent ainsi à la consommation raisonnée des matières premières.



# SOMMAIRE

<b>1 POURQUOI CHOISIR LE ZAMAK ?</b>	<b>13</b>
1.1. QUELQUES EXEMPLES	13
1.2. LES DOMAINES D'APPLICATIONS ET LES PROPRIÉTÉS DES ZAMAK	14
1.2.a. Utilisations en micromécanique	14
1.2.b. Résistance à l'usure	15
1.2.c. Etanchéité	15
1.2.d. Capacité d'amortissement	17
1.2.e. Blindage électromagnétique	17
1.2.f. Résistance à la corrosion	18
<b>2 CRÉATION D'UNE PIÈCE EN ZAMAK</b>	<b>19</b>
2.1. CO-CONCEPTION ET AMÉNAGEMENTS DE LA PIÈCE	20
2.2. PROTOTYPAGE	20
2.3. SIMULATION DE REMPLISSAGE	21
2.4. CONCEPTION DES OUTILLAGES	22
2.5. RÉALISATION DES OUTILLAGES	22
2.6. ESSAI DE MOULAGE, RÉGLAGES	25
2.7. PRÉSENTATION DES ÉCHANTILLONS INITIAUX (EI)	25
2.8. ÉGRAPPAGE MANUEL	25
2.9. ÉBAVURAGE PAR TRIBOFINITION	26
2.10. REVÊTEMENT DE SURFACE	26
<b>3 CARACTÉRISTIQUES DU ZAMAK</b>	<b>27</b>
3.1. COMPOSITION	27
3.2. PROPRIÉTÉS PHYSIQUES	28
3.3. COMPARAISON AVEC D'AUTRES MATERIAUX	28
3.4. COMPORTEMENTS AMBIANTS	29
3.5. COMPORTEMENT EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE	30
3.6. TRAITEMENT THERMIQUE DE STABILISATION	30
3.7. COMPORTEMENT DANS D'AUTRES MILIEUX	31
3.7.a. Eau de mer	31
3.7.b. Eau douce	31
3.7.c. Solutions d'agents oxydants	31
3.7.d. Glycérine	31
3.7.e. Au contact des aliments	31
3.7.f. Solutions aqueuses	31
3.7.g. Alcools	32
3.7.h. Lubrifiants	32
3.7.i. Produits organiques	32
3.7.j. Insecticides	32
3.7.k. Au contact d'un autre métal	32
3.8. RECYCLAGE	33
3.9. AUTRES ALLIAGES DE ZINC	33
3.9.a. Les Kayem	33
3.9.b. Les alliages ZL8, ZL12, ZL27	33

# SOMMAIRE

<b>4</b>	<b>CONCEPTION DE PIÈCES</b>	<b>35</b>
4.1.	UTILISATION DE LOGICIELS D'OPTIMISATION	35
4.2.	UTILISATION D'UN LOGICIEL DE CALCUL DE CONTRAINTES	36
4.3.	RECOURS AU BUREAU D'ÉTUDE DU TRANSFORMATEUR D'ALLIAGES DE ZINC	36
4.3.a.	Tracé de la pièce en fonction de traitement de surface	36
4.3.b.	Tracé des pièces en cas de traitements chimiques	38
4.3.c.	Tracé des pièces en cas de métallisation sous vide	38
4.3.d.	Tracé des pièces en cas de traitements par peinture	38
4.4.	AMÉNAGEMENTS DU TRACÉ DES PIÈCES	38
4.4.a.	Influence du retrait sur le tracé	39
4.4.b.	Emplacement des attaques	40
4.4.c.	Les inscriptions	40
4.4.d.	Aspects particuliers	41
4.4.e.	Tracé des nervures	41
4.4.f.	Congés et rayons de raccordement	42
4.4.g.	Les dépouilles	43
4.4.h.	Tolérances dimensionnelles	44
4.4.i.	Tolérances additionnelles pour des dimensions limitées par une partie mobile	46
<b>5</b>	<b>PARACHÈVEMENT ET PRÉPARATION</b>	<b>49</b>
5.1.	LE PARACHÈVEMENT	49
5.1.a.	La tribofinition	49
5.1.b.	Le grenailage ou sablage	50
5.1.c.	Le tonnelage cryogénique	50
5.1.d.	Les ondes thermiques	50
5.2.	LA PRÉPARATION	50
5.2.a.	L'émerisage	50
5.2.b.	Le tamponnage ou polissage au tampon	51
5.2.c.	Récapitulatif des différents procédés mécaniques	51
<b>6</b>	<b>USINAGE</b>	<b>53</b>
6.1.	PERÇAGE	55
6.1.a.	Description	55
6.1.b.	Les forets	55
6.1.c.	Résultats et limites du procédé	56
6.1.d.	Contrôle	56
6.2.	ALÉSAGE	56
6.2.a.	Nature de l'opération	56
6.2.b.	Moyens et équipements	56
6.2.c.	Les outils	57
6.2.d.	Contrôle	57
6.3.	TARAUDAGE	58
6.3.a.	Nature de l'opération	58
6.3.b.	Les machines	58



# SOMMAIRE

6.3.c.	<i>Les tarauds coupants</i>	59	
6.3.d.	<i>Les tarauds à refoulement</i>	59	
<b>6.4.</b>	<b>FILETAGE</b>		<b>61</b>
6.4.a.	<i>Les machines</i>	61	
6.4.b.	<i>Outils</i>	61	
6.4.c.	<i>Contrôle qualité</i>	61	
<b>6.5.</b>	<b>BROCHAGE</b>		<b>62</b>
6.5.a.	<i>Nature de l'opération</i>	62	
6.5.b.	<i>La presse</i>	62	
6.5.c.	<i>Types de brochage</i>	62	
6.5.d.	<i>Résultats obtenus</i>	62	
<b>6.6.</b>	<b>FRAISAGE</b>		<b>63</b>
6.6.a.	<i>Les fraises</i>	63	
<b>6.7.</b>	<b>TOURNAGE</b>		<b>63</b>
<b>6.8.</b>	<b>RÉCAPITULATIF DES NORMES D'USINAGE</b>		<b>64</b>
6.8.a.	<i>Alésage et perçage</i>	64	
6.8.b.	<i>Taraudage et filetage</i>	64	
6.8.c.	<i>Collage</i>	65	
<b>6.9.</b>	<b>REMARQUES IMPORTANTES SUR LES MOYENS DE CONTRÔLE</b>		<b>65</b>
6.9.a.	<i>Moyens utilisés</i>	65	
6.9.b.	<i>Capabilité</i>	66	
<b>7</b>	<b>TRAITEMENTS DE SURFACE</b>		<b>67</b>
<b>7.1.</b>	<b>CONDITIONS D'UTILISATION</b>		<b>67</b>
<b>7.2.</b>	<b>TRAITEMENT DE CONVERSION</b>		<b>69</b>
7.2.a.	<i>Principe</i>	69	
7.2.b.	<i>Traitement de chromatisation ou de passivation</i>	69	
7.2.c.	<i>Le nickel-phosphore</i>	70	
7.2.d.	<i>La phosphatation</i>	70	
<b>7.3.</b>	<b>TRAITEMENTS PAR VOIE ÉLECTROLYTIQUE</b>		<b>71</b>
7.3.a.	<i>Principe</i>	71	
7.3.b.	<i>But du cuivrage</i>	72	
7.3.c.	<i>But du nickelage</i>	73	
7.3.d.	<i>Les dépôts cuivre-nickel</i>	73	
7.3.e.	<i>Les dépôts cuivre – nickel - chrome</i>	74	
7.3.f.	<i>Chromage satiné, brossé ou velours</i>	76	
7.3.g.	<i>Le cuivrage, le laitonage et le bronzage</i>	77	
7.3.h.	<i>Étain</i>	77	
7.3.i.	<i>Étain - nickel</i>	78	
7.3.j.	<i>Le cadmiage</i>	78	
7.3.k.	<i>Le nickel-phosphore</i>	78	
7.3.l.	<i>Le rhodiage</i>	78	
7.3.m.	<i>Le palladiage</i>	78	
7.3.n.	<i>Le zingage</i>	78	
7.3.o.	<i>La chromatisation ou passivation sur zingage</i>	79	
7.3.p.	<i>Normes</i>	79	

# SOMMAIRE

<b>7.4. LES PEINTURES</b> .....	<b>80</b>
7.4.a. <i>Composition d'une peinture</i> .....	80
7.4.b. <i>La peinture par cataphorèse</i> .....	81
7.4.c. <i>Les peintures liquides</i> .....	82
<b>7.5. LES PEINTURES POUDRES</b> .....	<b>83</b>
<b>7.6. MÉTALLISATION SOUS VIDE</b> .....	<b>85</b>
<b>7.7. LES DÉPÔTS DE P.T.F.E.</b> .....	<b>86</b>
7.7.a. <i>Domaine d'application</i> .....	86

## **8 ASSEMBLAGE / SURMOULAGE** .....

---

## **87**

<b>8.1. SERTISSAGE</b> .....	<b>87</b>
<b>8.2. RIVETAGE</b> .....	<b>88</b>
<b>8.3. EMMANCHEMENT</b> .....	<b>93</b>
8.3.a. <i>Nature de l'opération</i> .....	93
8.3.b. <i>Moyens et équipements</i> .....	94
8.3.c. <i>Types d'emmanchement</i> .....	94
8.3.d. <i>Résultats obtenus</i> .....	96
<b>8.4. VISSAGE</b> .....	<b>96</b>
8.4.a. <i>Assemblage par vis autotaraudeuses</i> .....	96
<b>8.5. COLLAGE</b> .....	<b>101</b>
8.5.a. <i>Nature de l'opération</i> .....	101
8.5.b. <i>Méthode - Moyen - Outil</i> .....	101
8.5.c. <i>Domaines d'applications</i> .....	103
8.5.d. <i>Résultats</i> .....	103
8.5.e. <i>Différentes familles d'adhésifs</i> .....	104
8.5.f. <i>Contrôle qualité</i> .....	104
<b>8.6. INSERT SURMOULÉ</b> .....	<b>104</b>
<b>8.7. SURMOULAGE SUR PIÈCES EN ALLIAGES DE ZINC</b> .....	<b>106</b>

## **9 PROCÉDÉS DE FONDERIE** .....

---

## **107**

<b>9.1. MISE EN ŒUVRE DES ALLIAGES DE ZINC</b> .....	<b>107</b>
9.1.a. <i>Le moulage sous-pression</i> .....	107
9.1.b. <i>Le moulage en coquille par gravité</i> .....	109
9.1.c. <i>Le moulage au sable</i> .....	109





# 1

## Pourquoi choisir le ZAMAK ?

Les alliages de zinc offrent un très bon compromis technico-économique grâce à leur facilité de mise en œuvre et à la gamme étendue de leurs propriétés :

- complexité des formes et finesse des détails,
- résistance mécanique,
- précision et répétabilité,
- aptitude aux traitements de surface,
- durée de vie des outillages,
- cadences élevées de production,
- étanchéité,
- recyclage.

L'essentiel de la production des pièces en alliages de zinc est réalisé en fonderie sous-pression. L'industrie française d'alliages de zinc produit actuellement de l'ordre de 35 000 tonnes de pièces chaque année. Cette production est destinée à des secteurs utilisateurs très divers (voir figure 1).

### 1.1 Quelques exemples

#### **Automobile :**

Air-bag, antenne, asservissements divers, avertisseur, barre de toit, ceinture de sécurité, chauffage/climatisation, compteur, antivol, éléments de tableau de bord, éclairage, frein, garniture et décor, instrument de bord, systèmes d'essuyage, poignée, pompe, rétroviseur, serrure, toit ouvrant, ...

#### **Bâtiment :**

Articles pour meuble, bricolage, charnière, cheville (ou fixation), clé, climatisation, distribution gaz, ferme-porte, matériel d'incendie, articles de jardinage, mécanisme pour volet et store, menuiserie métallique, outillage à main, plaque, poignée, quincaillerie, sanitaire, serrure, ventilation, verrou, ...

#### **Décoration :**

Accessoires d'éclairage (connecteur, interrupteur, enjoliveur, etc.), parfumerie et cosmétique (poudrier, vaporisateur, etc.), articles publicitaires (porte-briquet, stylo, art de la table), horlogerie domestique, articles de salle de bains, ...

#### **Électricité - Électronique :**

Alarme, armoire électrique, automatisme et asservissement, boîtier de commande, connectique, détection, distributeur pneumatique et hydraulique, éclairage (industriel, public, domestique), électrovalve, moteur électrique, ...

#### **Habillement :**

Boucle de ceinture, de chaussure et de bagage, bouton, curseur de fermeture à glissière, articles divers de décoration pour vêtement.

### Autres :

Applications pour les secteurs suivants : électroménager, jouets, matériel de bureau, médical, transport, Télévision - téléphonie -optique.

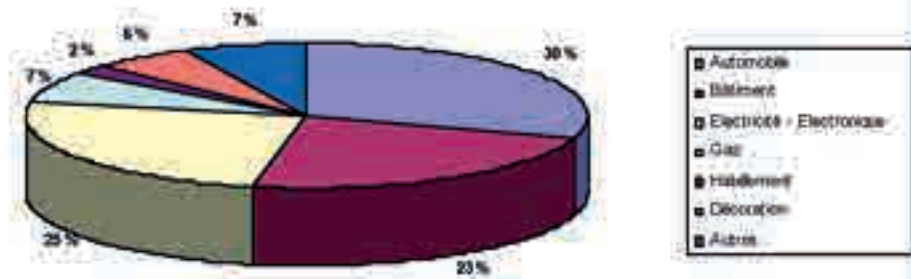


Figure 1 : Répartition par secteurs industriels de la production d'alliages de zinc moulés

## 1.2 Les domaines d'application et les propriétés des zamak

### 1.2.a. Utilisations en micromécanique

Ce secteur d'activité de la fonderie sous-pression se caractérise par une diversité sans cesse croissante des applications et par des productions de très grandes séries. De nombreuses pièces sont couramment fabriquées à plusieurs dizaines de millions d'exemplaires chaque année.



Figure 2 : Exemples de pièces dans la micromécanique

La cadence élevée de production, les possibilités presque illimitées de forme et la précision dimensionnelle remarquable des pièces ainsi obtenues sont à l'origine de leur développement dans le domaine de l'industrie en micromécanique. Les exigences de tolérances fines y sont nécessaires tant pour satisfaire les fonctions que le procédé d'assemblage.

Les exemples présentés en figure 2 illustrent quelques-unes des possibilités de cette technique de production qu'il semblerait plus judicieux de définir par le terme « moulage de précision ». Les performances de cette technique économisent généralement des opérations d'assemblage.

### 1.2.b. Résistance à l'usure

L'apport de cuivre dans la composition des alliages de zinc ZL2 et ZL5 leur confère une dureté supérieure et, de ce fait, une résistance à l'usure intéressante.



Figure 3 : Ensemble de pièces soumises au frottement

### 1.2.c. Etanchéité :

La technologie de la fonderie sous-pression permet d'obtenir une peau de fonderie d'une épaisseur voisine de 0,3 mm qui assure l'étanchéité des pièces.

Généralement, aucune opération d'imprégnation n'est à prévoir, et ce, quelles que soient les applications. Sur des pièces soumises à des pressions élevées, il est nécessaire de respecter les limites de température d'emploi.



Figure 4 : Extrémité d'empilage d'embases pneumatiques



Figure 5 :  
Corps de distributeur de gaz  
dans un chauffe-eau



Figure 6 :  
Ensemble de pièces étanches



Figure 7 :  
Capotage de corps de  
détendeur de gaz



Figure 8 :  
Corps de chalumeau à souder



### 1.2.d. Capacité d'amortissement

Les alliages de zinc présentent une bonne capacité d'amortissement. Il est conseillé, pour les pièces soumises aux vibrations, de privilégier un tracé mince et nervuré plutôt que des épaisseurs importantes.



Figure 9 : 1/2 couronne de réducteur de manœuvre de rideau roulant



Figure 10 : Noix d'essuie-glace de voiture

### 1.2.e. Blindage électromagnétique

Les alliages de zinc ont une bonne conductivité électrique, propriété essentielle pour la protection RFI-EMI. Une faible épaisseur de pièces garantira le blindage recherché, en atténuant considérablement le passage des hautes fréquences (> à 150 kHz).

La précision dimensionnelle des pièces moulées et leur stabilité dimensionnelle permettent de garantir l'ajustement précis des diverses pièces qui assure l'étanchéité électromagnétique du composant final (figures 11 et 12).



Figure 11 : Châssis juxtaposables



Figure 12 : Pièces de connectique

## 1.2.f. Résistance à la corrosion

### Au contact de l'atmosphère :

En ambiance d'intérieur, les alliages de zinc se ternissent. Ce changement de coloration correspond à la formation d'une pellicule d'oxyde de zinc.

Aucun traitement protecteur n'est donc nécessaire si l'on ne recherche pas un aspect décoratif. A noter que le zinc est utilisé de façon courante pour protéger l'acier en extérieur (galvanisation) : pylônes, toitures, glissières de sécurité, ...

En ambiance extérieure agressive (tropicale, pétrochimique, marine...) cette couche d'oxyde de zinc apparaîtra sous une forme blanchâtre communément appelée rouille blanche.

Cette oxydation n'altère en rien les caractéristiques mécaniques du zamak. Elle peut être retardée par l'application d'une passivation.



Figure 13 : Boîtier de serrure de parc sportif

### Par les hydrocarbures :

Les alliages de zinc ne sont pas attaqués par les hydrocarbures liquides raffinés.

### Par les gaz :

Le Zamak n'étant pas attaqué par les différents gaz actuellement utilisés pour les usages domestiques, il est utilisé pour la fabrication des corps, couvercles et pièces principales des détendeurs, régulateurs et autres appareils du même genre destinés à la distribution du gaz naturel ou manufacturé, du butane, du propane, etc.

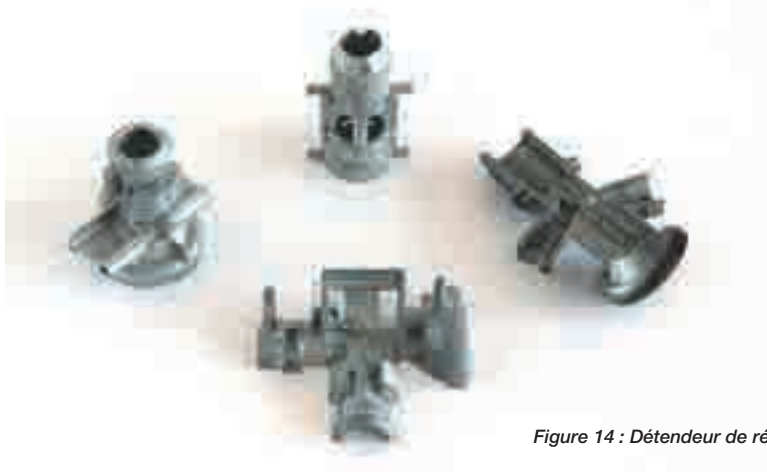


Figure 14 : Détendeur de réchaud gaz

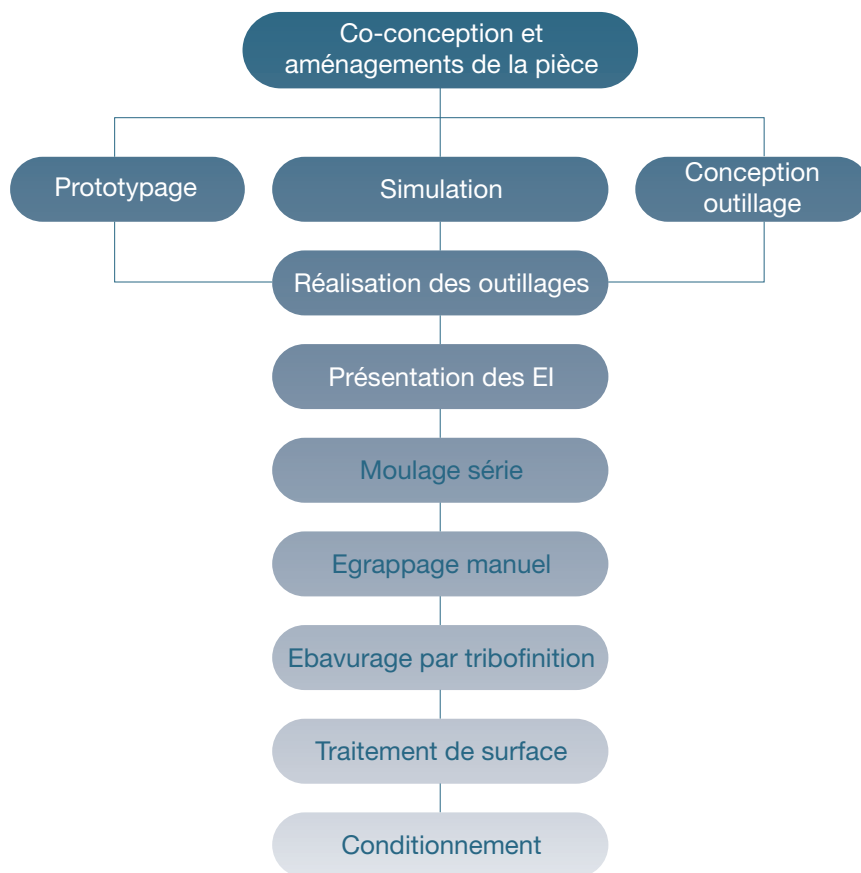
# 2

## Création d'une pièce en ZAMAK

Ce paragraphe présente pas à pas et métier par métier les étapes de la création à la fabrication d'un outil à déposer les durites.



Figure 15 : outil à déposer les durites



Chacune de ces étapes est soumise à des contrôles.

Figure 16 : Les étapes de la création et de la fabrication

## 2.1 Co-conception et aménagements de la pièce

Cette étape est réalisée en étroite collaboration entre le fondeur et le client pour répondre aux exigences du cahier des charges, et aux impératifs de la technologie de moulage sous pression d'alliages de zinc. Cette définition fonctionnelle numérisée (DFN), une fois redéfinie, servira à la réalisation des études des outillages.

Ce travail permet d'optimiser les coûts et de fiabiliser la fabrication du produit.



Figure 17 : Vue 3D de la pièce en Zamak

## 2.2 Prototypage

A partir du modèle 3D, on réalise le prototype en alliage de zinc par le procédé de fonderie en cire perdue

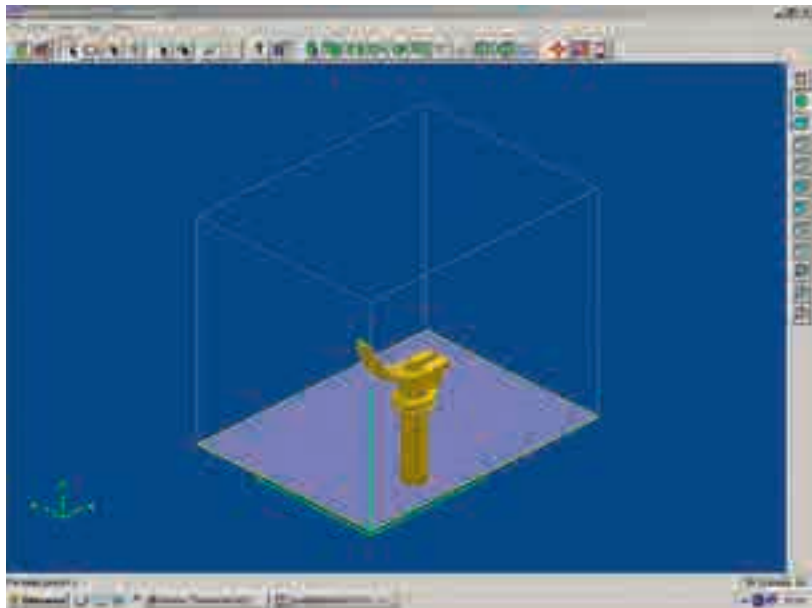


Figure 18 : Modèle positionné pour le moulage du prototype

## 2.3 Simulation de remplissage

La simulation permet de visualiser le flux de matière dans l'empreinte et de valider la conception du système d'alimentation.



Figure 19-1

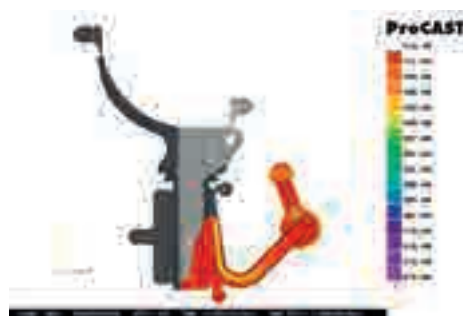


Figure 19-2



Figure 19-3



Figure 19-4



Figure 19-5

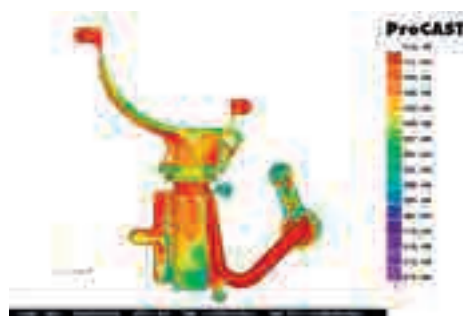


Figure 19-6

Figure 19 : Simulation du remplissage en fonction du temps

## 2.4 Conception des outillages

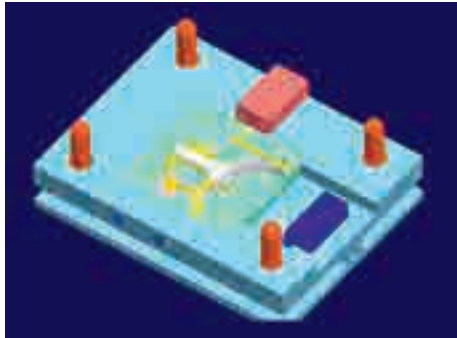


Figure 20 : Partie fixe du moule

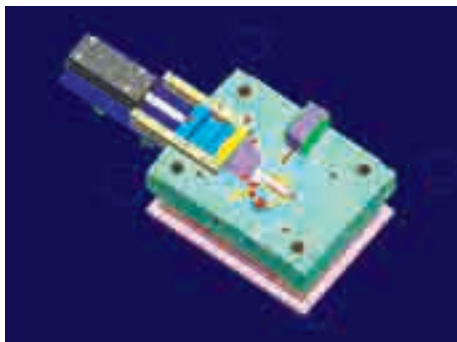


Figure 21 : Partie mobile du moule avec 2 tiroirs



Figure 22 : Détail de la figure 21

La conception des outillages se fait sur CAO 3D à partir des éléments précédents (DFN de la pièce et simulation de remplissage). Un moule peut schématiquement se décomposer en 3 parties :

- les empreintes (en vert clair) :

blocs d'acier usinés à la forme négative de la DFN de la pièce de fonderie définie à l'étape 1, retrait pris en compte.

- le système d'alimentation :

il permet l'acheminement du métal en fusion, depuis le four de fusion jusque dans les empreintes. Il est réalisé à partir des résultats de la simulation de remplissage.

- la carcasse :

ossature qui maintient les empreintes et qui comprend les éléments de fixation du moule sur la machine, les guidages du moule et les différentes cinématiques (éjection, glissières).

## 2.5 Réalisation des outillages

La réalisation est confiée à des spécialistes. Différentes techniques d'usinage sont utilisées : fraisage et tournage conventionnels, rectification plane et cylindrique, électroérosion par enfonçage ou par fil ; fraisage 3D sur MOCN (Machine Outil à Commande Numérique).



Figure 23 : Réalisation du parcours d'outil



Figure 26 : Réalisation de l'électrode en fraisage 3D



Figure 24 : Fraisage 3D

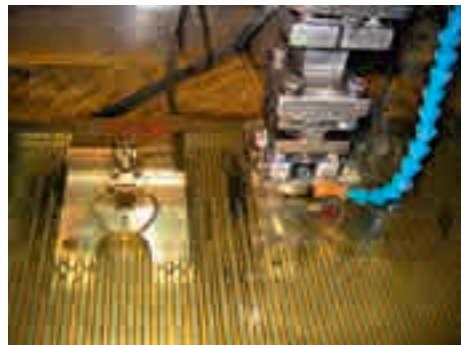


Figure 27 : Erosion par enfonçage de l'empreinte à partir de l'électrode réalisée

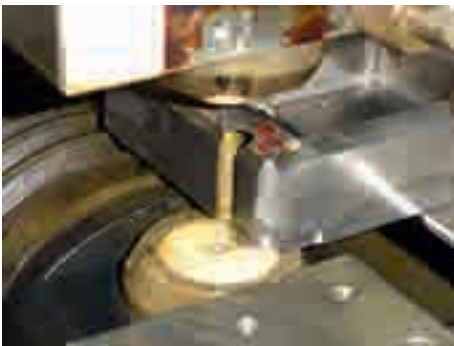


Figure 25 : usinage fil

**Remarque :**

L'électroérosion par enfonçage est la méthode d'usinage la plus coûteuse car elle se fait en 3 étapes :

- usinage de l'électrode,
- érosion
- et polissage.

Il est donc souhaitable d'aménager les formes de la pièce pour les rendre usinables par fraisage 3D.

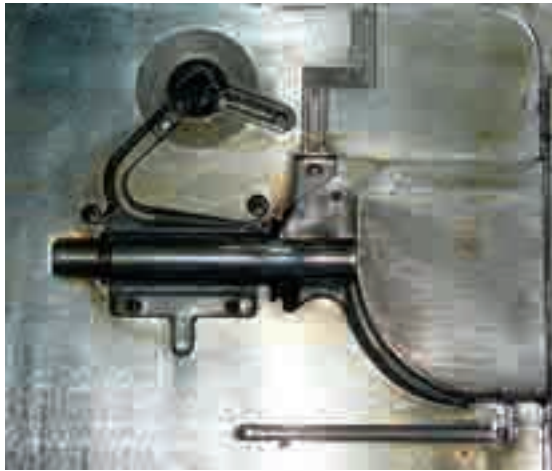


Figure 28 :  
Partie mobile de l'outillage  
(empreinte)



Figure 29 : Partie fixe



Figure 30 : partie fixe avec piece dans le moule



## 2.6 Essai de moulage, réglages

Le moule est monté sur la presse à injecter et le technicien procède aux réglages de la presse : paramètres d'injection, lubrifiant de démoulage, refroidissement, robot préhenseur, etc....

Le technicien vérifie :

- les fermetures entre les parties en mouvement
- les différentes cinématiques
- Le bon remplissage
- La bonne éjection sans déformation
- La qualité d'égrappage de l'alimentation

## 2.7 Présentation des échantillons initiaux (EI)

Une fois le moulage validé, des pièces sont envoyées en métrologie afin de réaliser des échantillons initiaux.

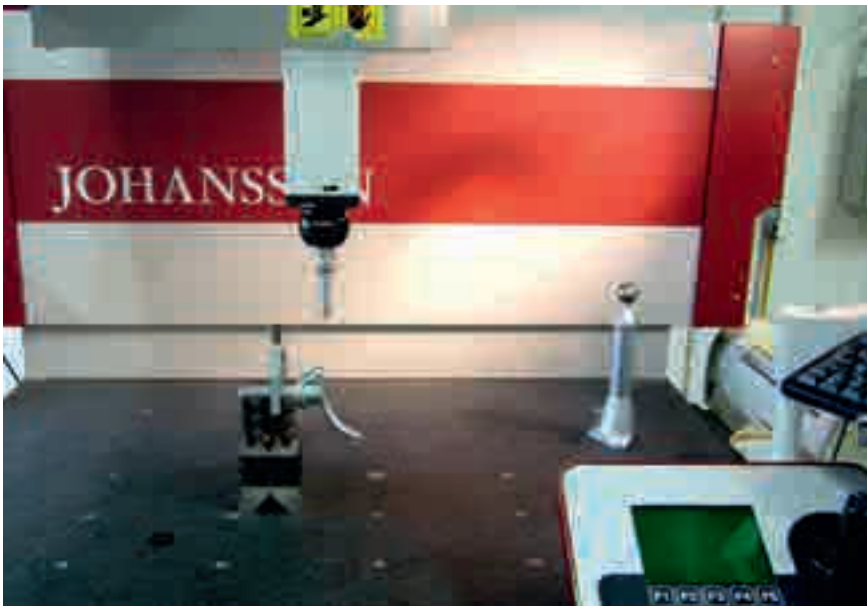


Figure 31 : Métrologie 3D

## 2.8 Egrappage manuel

Le système d'alimentation et la pièce sont séparés à la main.

## 2.9 Ebavurage par tribofinition

Les pièces sont placées dans un bac vibrant contenant des cailloux abrasifs en céramique. Le frottement des cailloux sur les pièces réduit les traces laissées par les plans de joint et adoucit les angles vifs.

## 2.10 Revêtement de surface

Il s'agit ici d'une peinture poudre polyester.

Les pièces sont accrochées à la chaîne de peinture automatisée et subissent lors de leurs parcours, les étapes suivantes :

- Dégraissage à 60° et rinçage
- Etuvage
- Poudrage : la poudre chargée positivement est pulvérisée et reste « collée » sur les pièces qui sont elles reliées au pôle négatif.
- Cuisson à 165° pendant 10 minutes
- Retour à la température ambiante, décrochage et conditionnement



### 3.1 Composition

L'appellation commerciale « Zamak » date du premier brevet (1926) déposé par la New Jersey Company. Elle met en évidence la nécessité d'utiliser du zinc de haute pureté titrant à 99,995 % pour l'élaboration de ces alliages. Grâce à l'addition d'éléments tels que l'aluminium, le cuivre et le magnésium, les caractéristiques mécaniques, dimensionnelles et de fonderie sont optimisées.

Désignation commerciale	ZAMAK 3		ZAMAK 5		ZAMAK 2	
Désignation normalisée abrégée	ZP3		ZP5		ZP2	
Composition en %	Mini	Maxi	Mini	Maxi	Mini	Maxi
Al	3,7	4,3	3,7	4,3	3,7	4,3
Cu	-	0,1	0,7	1,2	2,7	3,3
Mg	0,025	0,06	0,025	0,06	0,025	0,06
Zn	le solde		le solde		le solde	
Fe	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Pb	-	0,005	-	0,005	-	0,005
Cd	-	0,005	-	0,005	-	0,005
Sn	-	0,002	-	0,002	-	0,002
Ni	-	0,02	-	0,02	-	0,02
Si	-	0,03	-	0,03	-	0,03

Tableau 1 : Composition des alliages de zinc moulés suivant norme NF EN 12844

Remarque : l'appellation « ZP » s'applique aux pièces moulées (selon norme NF EN 12844) et l'appellation « ZL » s'applique aux alliages de zinc sous forme de lingots (selon norme NF EN 1774).

#### REGLES FONDAMENTALES À OBSERVER POUR GARANTIR LA QUALITE DES ALLIAGES :

La mise au point de la composition chimique des alliages de zinc est le fruit de longues recherches garantissant des caractéristiques adaptées à de multiples applications. Chacun des composants joue un rôle essentiel et les qualités qu'il confère à l'alliage lui sont propres.

Les principaux facteurs de risques pour la santé des alliages sont l'augmentation des teneurs en Pb, Cd, Sn, Fe, par fusion de deux nuances d'alliages, ou fusions successives de produits différents dans un même creuset, etc. Cette nouvelle composition peut provoquer une modification des caractéristiques initiales et rendre l'alliage impropre à la production de produits de qualité. C'est pourquoi tant pour les lingots issus des premières productions que ceux provenant d'alliages recyclés et retirés, les fondeurs exigent un respect total des normes.

## 3.2 Propriétés physiques

Propriétés	Unités	Zamak			Kayem		Alliages ZA			AISI-9Cu3	AZ9ID	ABS	PA 6.6	Poly-carbonate	XC38
		ZP3	ZP5	ZP2	1	2	ZP8	ZP12	ZP27						
Masse volumique	Kg/dm <sup>3</sup>	6,7	6,7	6,8	6,7	6,6	6,3	6	5						
Intervalle de solidification	°C	387 à 382	388 à 379	389 à 379	390 à 378	358 à 353	404 à 375	432 à 377	484 à 377	538-593	468-598				1 450-1 500
Retrait	%/00	4 à 6	4 à 6	4 à 6	6 à 10	6 à 10	11	12,5	12,5						
Coefficient de dilatation thermique	µm/m/°C	27,4	27,4	27,8			23,3			21,1	25,2-26,0	50-150	17-104	32-120	11
Conductivité thermique	Wm-1 °K-1	113	110	119	104	104	115	116	126	109	51-72,7	0,2	< 1 ?	< 1 ?	45
Conductivité électrique	% IACS	26	26	26	25	25	28	28	30	27	11,5-12,1	n/a	n/a	n/a	10,1
Résistivité électrique	µ Ω.cm	6,37	6,54	6,85			6,2	6,1	5,8	-	-	-	-	-	17
Capacité thermique	J/kg/°C	419	419	419	418	418	435	450	525	960	1 020	1960-2130	1200-2350	1000-1200	490
Coefficient de frottement	-	0,08	0,08	0,08			0,11			-	-	0,45	0,28	0,38	0,2

Tableau 2 : Propriétés physiques des alliages de zinc et d'une sélection d'autres matériaux (à température ambiante)

Caractéristiques	Unités	Zamak			Kayem		Alliages ZA		
		ZP3	ZP5	ZP2	1	2	ZP8	ZP12	ZP27
Résistance à la traction	MPa	280	330	355	230	190	370	400	425
Limite d'élasticité	MPa	200	250	270			220	300	370
Allongement	%	10	5	5	1 à 2	0,5	8	5	2,5
Résistance à la flexion par choc (éprouvette non entaillée 6,3 mm x 6,3 mm)	J	57	58	59	55	13	40	30	10
Résistance à la compression (à 0,1%)	MPa	450	600	640	800	680	250		385
Résistance au cisaillement	MPa	220	270	317			275	250	325
Résistance à la fatigue (106 cycles)	MPa	48	56	60			100		145
Dureté Brinell 500-10-30 HBS	HB	83	92	102			100	100	120
Dureté Vickers sous 5 kg	HV	80 à 90	85 à 95	100 à 110	100 à 110	140 à 150	100	105 à 125	120
Module de Young	GPa	85	85	85			86	82	78
Résistance au fluage pour allongement à 0,5% (3 000 h)	MPa	80	100	130			160		100

Tableau 2.1 Caractéristiques mécaniques des pièces moulées en alliages de zinc à 20°C

## 3.3 Comparaison avec d'autres matériaux

Autres propriétés	Unités	ZP3	ZP5	ZP2	ZP8	AISI9Cu3	AZ9ID	ABS	PA 6.6	Polycarbonate
Précision fine sur 100 mm	plus / moins µ	100	100	100	100	250-350	175	Un retrait important et l'humidité empêchent les plastiques d'obtenir des tolérances serrées.		
Epaisseur localement réalisable	mm	0,4	0,4	0,4	0,4	1,3	1,2	-		
Vitesses habituelles de production	injections / heure	100-700.				50-250	70-275	Vitesses de fabrication fortement influencées par la taille du produit, du matériau utilisé et de la vitesse de refroidissement qui, à dimension égale, tend à être beaucoup plus lente que pour les métaux.		
Durée de vie moyenne du moule	injections	500 000-2 000 000				100000 - 225000	300000-500000	Dépend fortement de la composition et du type de renforcement		

Tableau 3 : Caractéristiques des alliages de zinc et d'une sélection d'autres matériaux (à température ambiante)

N.B. : les données de ces tableaux ont été compilées d'après plusieurs sources différentes et n'ont qu'une valeur d'information.

### 3.4 Comportements ambiants

#### *Incidence de l'épaisseur des pièces :*

Lors du remplissage des moules, l'alliage liquide se refroidit et se solidifie rapidement au contact du moule. Cette peau de pièce d'une structure cristalline très fine possède des caractéristiques mécaniques supérieures au cœur des parois. Elle a une épaisseur d'environ 0,2 à 0,3 mm. Ce phénomène est d'autant plus important que les sections de pièces sont faibles. La résistance spécifique de la section considérée en est alors largement améliorée.

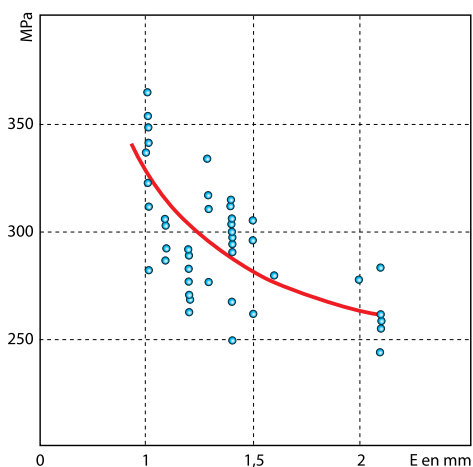


*Figure 32 : Coupe micrographique mettant en évidence la peau de fonderie qui se caractérise par une plus grande finesse de structure (partie supérieure de la photo)*

Tous les matériaux fluent.

Les alliages de zinc, comme tous les matériaux, peuvent présenter des déformations lorsqu'ils sont soumis de manière permanente à un couple « température + contraintes » important. D'une manière générale, une attention particulière doit être apportée pour des utilisations au delà de 70°C, sous contrainte permanente.

Les simulations de contraintes permettent d'identifier les zones aménageables du design initial en vue de mieux répartir et uniformiser les efforts au sein de la pièce tout en l'allégeant. Cette étude est nécessaire pour optimiser le dessin de pièces soumises à contraintes.



*Figure 33 : La courbe ci-contre met en évidence l'évolution de la résistance à la traction en fonction de l'épaisseur des pièces*

### 3.5 Comportement en fonction de la température

La résistance au choc des alliages de zinc est très intéressante dans la plage 0°C à 40°C. A noter que la valeur de cette propriété, comme pour la plupart des matériaux diminue pour des températures inférieures à 0°C mais permet néanmoins leur utilisation. Exemple : fixation de ski en zamak 5.

Température	ZP3			ZP5		
	Résistance à rupture (MPa)	Allongement (%)	Dureté (HV)	Résistance à rupture (MPa)	Allongement (%)	Dureté (HV)
95°C	200	15	43	250	12	62
40°C	250	8	68	300	6	89
20°C	280	5	82	340	4	90
0°C	300	4,5	82	380	4	99
- 20°C	300	3,5	87	380	2,5	104
- 40°C	320	2,5	91	380	1,5	107

Tableau 4 : Propriétés mécaniques d'une éprouvette portée rapidement à une température donnée et soumise à des tests de traction, d'allongement et de dureté.

Nb : La durée du test est de l'ordre de 1 minute et ne saurait représenter le comportement à long terme de la pièce.

### 3.6 Traitement thermique de stabilisation

Tous les alliages métalliques de fonderie sont sujets à des variations dimensionnelles après le moulage. Ces contractions (appelées «retrait»), sont dues à des modifications de structure. Pour les alliages de zinc, ces contractions sont pratiquement terminées après cinq semaines à température ambiante. Elles peuvent être accélérées par une stabilisation :

- de 3 à 6 heures à 100°C
- ou de 5 à 10 heures à 85°C
- ou de 10 à 20 heures à 70°C

La stabilisation est souhaitable si des tolérances très serrées sont exigées. L'effet de stabilisation de ce traitement est imagé par les résultats figurants au tableau ci-contre.

Durée	ZAMAK 2		ZAMAK 3		ZAMAK 5	
	A	B	A	B	A	B
Après 5 semaines	0,022	0,069	0,02	0,04	0,021	0,05
Après 3 mois	0,026	0,103	0,03	0,06	0,026	0,07
Après 2 ans	0,037	0,136	0,03	0,085	0,037	0,085

Tableau 5 : Effet de la stabilisation

A : contraction en % pour alliages stabilisés

B : contraction en % pour alliages non stabilisés

## 3.7 Comportement dans d'autres milieux

### 3.7.a. Eau de mer

En immersion permanente dans l'eau de mer, les alliages de zinc sont relativement inertes. Si les conditions sont telles que les pièces sont alternativement immergées puis émergées, la vitesse de corrosion est accrue et un revêtement de surface protecteur efficace est indispensable.

### 3.7.b. Eau douce

Les alliages de zinc immergés dans l'eau douce ou utilisés pour son transport (robinets) sont presque toujours le siège de phénomènes de corrosion dont la vitesse et l'ampleur sont très variables.

Un grand nombre de facteurs intervient en effet dans la réaction :

- composition de l'eau,
- nature et importance des gaz dissous,
- pH,
- température, etc.

Dans certains cas, lorsque l'eau est recyclée, l'addition d'inhibiteurs de corrosion, par exemple 1 % de borax ou 0,1 à 0,3 % de bichromate de sodium, peut ralentir considérablement la vitesse de corrosion et éviter l'accumulation d'oxyde de zinc.

### 3.7.c. Solutions d'agents oxydants

Le Zamak immergé dans les solutions d'agents oxydants se corrode à une vitesse plus élevée que la seule considération du pH de la solution ne le laisserait supposer. Les solutions contenant par exemple de l'eau oxygénée attaquent vigoureusement le Zamak, tandis que les produits nettoyeurs domestiques chlorés ont une action beaucoup moins agressive.

### 3.7.d. Glycérine

La glycérine pure attaque peu le Zamak ainsi que l'illustre son emploi dans la fabrication des freins de porte. Il en est de même du mélange glycérine - alcool, pourvu qu'il soit pur et ne contienne pas d'eau. Dans le cas contraire, on peut craindre une corrosion par piqûres.

### 3.7.e. Au contact des aliments

Les Zamak à l'état brut ne sont pas classés « alimentaire ». Ils peuvent le devenir après avoir été revêtus d'une couche de cuivre, de nickel et d'une couche de chrome ou d'argent ou d'or. Ces couches successives doivent former un film d'une épaisseur suffisante et sans discontinuité sur la surface du produit.

### 3.7.f. Solutions aqueuses

En général, le comportement des alliages de zinc immergés dans les solutions aqueuses froides et non agitées est identique à celui du zinc pur, c'est-à-dire qu'ils présentent une corrosion faible dans les solutions faiblement acides ( $\text{pH} > 6,5$ ) ou moyennement alcalines ( $\text{pH} < 12$ ).

Dans les solutions fortement acides ou alcalines, les vitesses de corrosion deviennent plus élevées et l'usage du Zamak est à déconseiller.

### 3.7.g. Alcools

Les alcools courants anhydres ont peu d'action sur le Zamak (ils sont, en fait, transportés le plus souvent dans des citernes en acier galvanisé). Cependant, la corrosion par le mélange d'alcool et d'eau est importante et le Zamak ne doit pas être utilisé dans les systèmes de refroidissement où de tels mélanges sont employés.

L'emploi de pièces en Zamak non revêtues en contact avec les boissons alcoolisées est interdit.

### 3.7.h. Lubrifiants

Utilisés sous forme d'huiles ou de graisses, les lubrifiants en contact avec le Zamak doivent être exempts de constituants acides et de produits d'origine animale ou végétale qui se décomposent à la longue en formant des produits acides. Les lubrifiants d'origine minérale ne présentent pas cet inconvénient.

### 3.7.i. Produits organiques

Les liquides organiques stables n'ont pas d'effet sur le Zamak. Ceux tels que le trichloréthylène sont sans action s'ils ne sont pas acides. Les fréons utilisés dans les systèmes réfrigérants n'attaquent pas le Zamak sauf s'il y a introduction d'eau dans le circuit.

### 3.7.j. Insecticides

A l'état sec, les insecticides ont peu d'action sur le zinc. Par contre, lorsqu'ils sont en solution aqueuse, ces produits, qui contiennent souvent du cuivre, du plomb, de l'arsenic, tendent à accélérer la corrosion par un phénomène de déplacement électrochimique. Il n'est donc pas conseillé de prévoir des pièces en alliages de zinc dans les pistolets ou pulvérisateurs à insecticides.

### 3.7.k. Au contact d'un autre métal

Lorsque l'on utilise une pièce en alliage de zinc au contact d'un autre métal dans un milieu humide et conducteur (atmosphère saline), il y a formation d'une pile. Si cette pile fonctionne, il y a corrosion de l'élément anodique de la pile. Il y a donc lieu, dans certains cas d'utilisation, de prévoir une isolation ou un revêtement pour éviter une corrosion supplémentaire au point de contact.

Matériaux	Désignation	Valeur
Acier doux	XC 8 à 10	400
Acier dur	C 80 à 120	305
Acier inox 18/8 passivé	Cr 18 Ni 8	1 150
Almasilium	Al 5 Mg	295
Alpax H	Al Si 10 Mg	335
Aluminium 99,5 %	A5	310
Arcap	Cu 55 Zn 23 Ni 22	950
Argent	Ag	1 050
Bronze 88/12	Cu Sn12	630
Bronze d'aluminium	Cu Al10	800
Cadmium	Cd	300
Chrome passif	Cr	1 150

Matériaux	Désignation	Valeur
Cuivre	Cu	830
Duralinox	Al Mg3 Al Mg5	300
Duralumin	Al Cu4 Mg	530
Etain	Sn	600
Fer pur	Fe	295
Laiton	Cu Zn39	750
Magnésium	Mg	550
Mercure	Hg	1 050
Nickel	Ni	970
Or	Au	1 270
Platine	Pl	1 400
Plomb	Pb	560

Tableau 6 : différences de potentiel exprimées en millivolts entre le zinc et quelques métaux et alliages. Electrolyte : eau à 2 % de sel.



## 3.8 Recyclage

Les alliages de zinc répondent parfaitement aux exigences d'éco-conception puisqu'ils sont totalement recyclables. Ils conservent leurs propriétés mécaniques, quelque soit le nombre de refusions.

La filière de recyclage existe depuis longtemps et permet la collecte et le tri automatique des pièces en fin de vie.

Ainsi, les pièces identifiées comme étant en alliages de zinc (jet de coulée, pièces en fin de vie,) sont refondues. Le bain obtenu est alors filtré, analysé, remis au titre, et analysé de nouveau pour vérifier sa conformité à la norme puis coulé sous forme de lingots prêts à être utilisés de nouveau.

## 3.9 Autres alliages de zinc

### 3.9.a. Les Kayem

Développés initialement pour la fabrication de poinçons et matrices d'emboutissage, les Kayem sont également utilisés pour des outillages de découpe et des moules d'injection de matières thermoplastiques.

### 3.9.b. Les alliages ZL8, ZL12, ZL27

Le ZL8 peut être moulé en coquille ou sous-pression chambre chaude pour des pièces dont on recherche un bon état de surface, une aptitude à la décoration et d'excellentes caractéristiques mécaniques.

Le ZL12 est adapté à la réalisation en coulée par gravité de pièces prototypes pour l'étude de faisabilité de pièces coulées sous-pression en ZAMAK.

Le ZL27 est un alliage de zinc aux caractéristiques mécaniques élevées. Il peut être moulé par gravité, au sable, en coquille ou sous-pression en chambre froide.



# 4

## Conception de pièces

Le but de ce chapitre n'est nullement de concevoir une pièce mais d'adapter celle-ci au procédé de fonderie sous pression des alliages de zinc et si nécessaire au traitement de surface de façon à en optimiser son coût d'obtention.

La pièce aura des épaisseurs fines afin de profiter au mieux de l'effet de trempe superficielle des parois et diminuer au maximum son poids (cf : Evolution de la résistance à la traction en fonction de l'épaisseur).

La résistance mécanique de la pièce sera augmentée si nécessaire par l'ajout de nervures.

Remarque : des épaisseurs importantes ne seront maintenues que si elles sont fonctionnelles ou dans le cas où la pièce peut être soumise à un fluage important.

### 4.1 Utilisation de logiciels d'optimisation

Ces logiciels se basent sur la contrainte maximum admissible et sur l'épaisseur moyenne de la pièce. Ce logiciel permet d'utiliser au mieux la résistance du matériau.

L'utilisation de ces outils dépend de la complexité de la forme de la pièce ainsi que les contraintes à modéliser.

Exemple : cas d'un pied de lit qui doit supporter un poids de 1 000 N par pied



Figure 34-1 : Définition fonctionnelle numérique

Fig. 34-1 : Le concepteur fournit une définition numérique en précisant les forces appliquées et les surfaces fonctionnelles.



Figure 34-2 : maillage de la pièce

Fig. 34-2 : La pièce est maillée sous forme de «briques».

Plusieurs itérations ont lieu afin de supprimer l'ensemble des «briques» qui n'interviennent pas dans la résistance mécanique de la pièce.

Fig. 34-3 : Basé sur une épaisseur moyenne et une contrainte maximale admissible, le logiciel propose une forme optimisée.

Cette optimisation permet de finaliser le dessin de la pièce.

Fig. 34-4 : La nouvelle définition numérique est vérifiée avant validation par le concepteur.



Figure 34-3 : Optimisation de la forme en fonction des contraintes

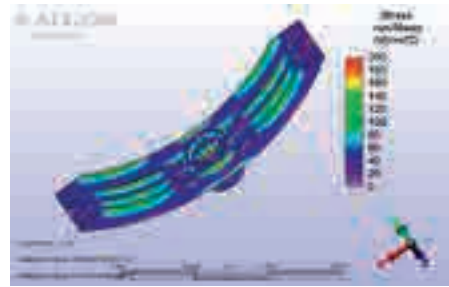


Figure 34-4 : Définition numérique finale

## 4.2 Utilisation d'un logiciel de calcul de contraintes

En se basant sur les résultats du calcul de contraintes, le concepteur peut diminuer des épaisseurs et supprimer des masses dans des zones de faibles contraintes. L'approche d'optimisation se fait en plusieurs étapes qui nécessitent de tester chaque nouveau dessin numérique.

## 4.3 Recours au bureau d'étude du transformateur d'alliages de zinc

Les professionnels d'alliages de zinc vous conseillent sur les nervures, les rayons, les dépouilles, l'épaisseur de la pièce, l'influence du retrait, les zones d'éjection...

Ces remarques se traduisent par un dessin final où les indications suivantes apparaissent :

- tolérance dimensionnelle générale,
- tolérances particulières (éventuellement),
- les dépouilles et leur position,
- les congés et rayons de raccordement,
- les surépaisseurs d'usinage (éventuellement),
- les départs d'usinage,
- les cotes principales,
- toutes indications particulières d'acceptation :
  - des infiltrations,
  - traces de plan de joint, d'éjecteurs ou autres, ...
  - faces d'aspect.

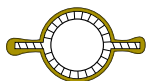
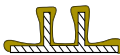
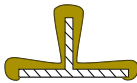
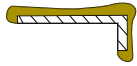
### 4.3.a. Tracé de la pièce en fonction de traitement de surface

Un tracé de pièce bien adapté au traitement de surface :

- évite de longues mises au point,
- améliore la qualité et la tenue du dépôt,
- réduit les coûts.

La complexité des formes augmente parfois le coût des traitements de surface. Certains éléments peuvent être étudiés au préalable par le prescripteur, le fondeur et la société en charge du traitement de surface : ajout d'un artifice d'accrochage, réalisation de trous d'évacuation des produits de traitement, emplacement du plan de joint ou des attaques de coulée. Cette étude critique objective permettra d'obtenir un produit moins onéreux et répondant parfaitement au cahier des charges.

## Tracé original



## Aptitude au revêtement

### Surfaces convexe

Forme idéale. Facile à revêtir uniformément, particulièrement lorsque les arêtes sont arrondies.

### Surfaces Plane

Moins favorables que les surfaces galbées. Une flèche de 0,015 mm/mm dissimule les ondulations causées par un polissage irrégulier.

### Arêtes vives

Elles réduisent l'épaisseur dans les zones centrales et obligent une augmentation du temps de traitement pour obtenir une épaisseur minimale du dépôt nécessaire à une bonne tenue dans le temps. Toutes les arêtes doivent être arrondies (les arêtes qui seront au contact de surfaces peintes doivent présenter un rayon minimale de 0,8 mm).

### Tés

Les tés à larges ailes dont les angles rentrants sont vifs doivent être évités pour réduire le coût du revêtement. Pratiquer un congé généreux dans les angles rentrants et incurver la base.

### Fentes

Les trous et fentes étroites et rapprochés réduisent l'aptitude au revêtement et ne peuvent être protégés efficacement contre la corrosion, à moins que les arêtes ne soient arrondies.

### Trous borgnes

Les trous borgnes doivent en général ne pas faire l'objet de spécifications exigeant une épaisseur minimale du dépôt.

### Identifications à arêtes vives

Les arêtes vives augmentent le temps de traitement et réduisent la tenue du revêtement dans le temps.

### Gorges à fond plat

Les angles rentrants et les angles saillants doivent être généreusement arrondis pour réduire le coût du revêtement.

### Gorges en V

Les gorges profondes en V ne peuvent être revêtues d'un dépôt de nickel-chrome les protégeant efficacement contre la corrosion. Les gorges arrondies et peu profondes sont préférables.

### Les ailettes

Les ailettes augmentent le temps de traitement, et donc le coût. Elles réduisent la tenue du revêtement dans le temps.

### Nervures

Les nervures étroites à angles vifs se prêtent mal à un revêtement électrolytique. Les nervures larges à angles arrondis ne posent pas de problèmes. Incurver chaque nervure vers l'extérieur et arrondir les angles.

### Concavités

L'aptitude au revêtement électrolytique dépend des dimensions.

### Cavités profondes

Les cavités profondes imposent une augmentation du temps de traitement, et donc du coût.

### Saillies

L'accumulation préférentielle du dépôt sur la pointe prive les angles rentrants de leur part de revêtement. Galber la base et arrondir tous les angles.

### Anneaux

L'aptitude au revêtement électrolytique dépend des dimensions. Arrondir les angles et mettre les ailettes en dépouille

## Tracé amélioré

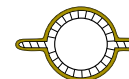
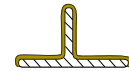
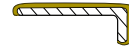
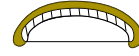


Figure 35 : Tracés favorisant l'aptitude au revêtement

### 4.3.b. Tracé des pièces en cas de traitements chimiques

Les dépôts chimiques de conversion sur alliages de zinc ne présentent pas de difficultés particulières. Le tracé a peu d'influence sur la réussite du traitement. Ces dépôts étant généralement réalisés au tonneau. Penser à concevoir les pièces de façon à éviter les coincements ou encastrement les unes dans les autres.

### 4.3.c. Tracé des pièces en cas de métallisation sous vide

L'épaisseur ou la régularité du dépôt est liée au positionnement des pièces pendant l'opération de traitement, et non à leur tracé.

### 4.3.d. Tracé des pièces en cas de traitements par peinture

Les différentes techniques de peinture sont :

- Peinture par poudrage
- Peinture par cataphorèse
- Peinture liquide

Les dépôts de peinture peuvent s'avérer délicats lorsque la forme générale de la pièce présente des cavités profondes ou angles vifs.

De manière générale il est conseillé de faire appel à un spécialiste dès la phase de conception du produit, afin de déterminer les zones d'accrochage et d'identifier les risques éventuels de rétention de produit de préparation.

## 4.4 Aménagements du tracé des pièces

Cette étape consiste à faire évoluer la définition fonctionnelle numérique du client vers une pièce industrialisable : la définition fonctionnelle de fonderie

- La définition fonctionnelle de fonderie prend en compte les impératifs du procédé de fonderie sous-pression : les dépouilles, congés, zones d'alimentation, zones d'éjection, plans de joint devront être intégralement modélisés.
- La définition fonctionnelle de fonderie est donc le strict reflet virtuel de la pièce série et devra être validée par les 2 parties : le client s'engagera sur la fonctionnalité de la pièce alors que le fondeur s'engagera sur l'adéquation avec le procédé de fonderie. Ce sera le modèle partagé entre le client, le fondeur, le mouliste et le métrologue.

#### Remarques :

- Le modèle doit être dessiné en cotes moyennes (voir norme européenne NF EN-8062-3). Pour les tolérances plus difficiles à tenir il peut être judicieux de dessiner en cote mini ou maxi (retouche du moule par enlèvement de matière, dans ce cas il faudra exprimer ce besoin sur le plan de définition).
- La modélisation 3D doit être parfaite pour permettre un bon interfaçage entre les principaux logiciels du marché.

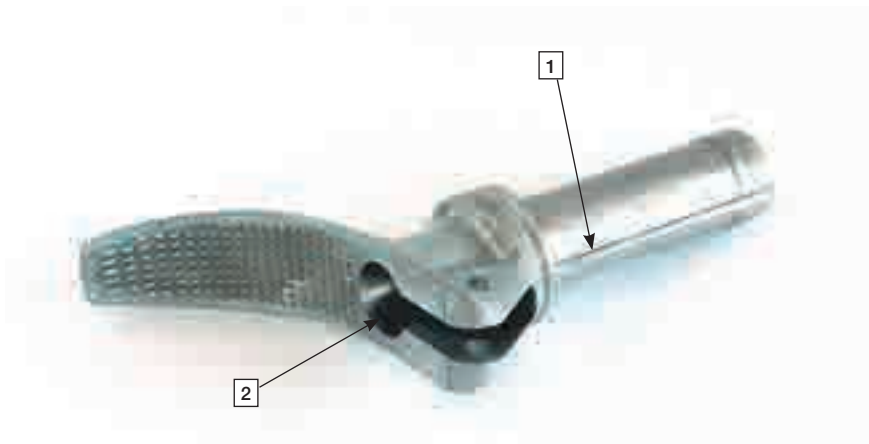


Figure 36 :  
Repère 1 témoin de cassage de l'alimentation / Repère 2 témoin de plan de joint de tiroirs

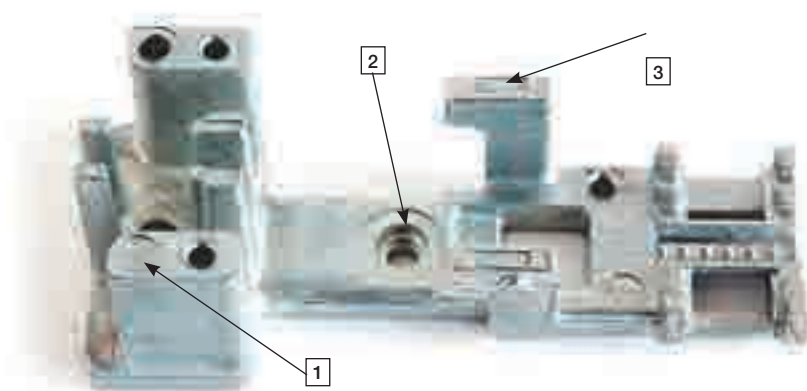


Figure 37 :  
Témoins d'éjecteurs cylindrique (1), tubulaire (2), rectangulaire (3)

Les paragraphes suivants donne les règles à respecter lors du dessin final de la pièce.

#### 4.4.a. Influence du retrait sur le tracé

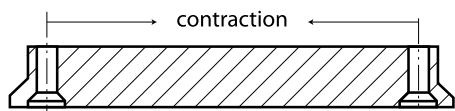


Figure 38 : Tracé de pièce provoquant des contraintes sur les broches (mauvais)

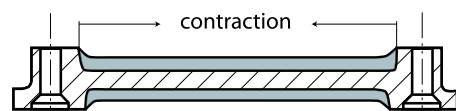


Figure 39 : Tracé de pièces réduisant les contraintes sur les broches (bon)

Lorsque plusieurs broches sont à disposer dans le moule, il est judicieux de concevoir le tracé de la pièce afin que ces éléments fragiles du moule n'aient pas à supporter les contraintes de solidification dues au retrait du métal.

Le risque de fatigue par flexion au cisaillement peut être réduit par des épaulements sur la pièce.

### 4.4.b. Emplacement attaques

Le choix et l'emplacement des attaques sont primordiaux pour le bon remplissage des pièces. C'est le savoir-faire du professionnel. Bien souvent des contraintes d'ébarbage entrent en ligne de compte. En effet, la position et l'orientation des attaques conditionnent aussi le parachèvement des pièces, et /ou leur aspect.

On essaiera de placer les attaques de façon à ce que le trajet du métal soit le plus court possible afin que celui-ci ne commence pas à se solidifier avant le remplissage total de l'empreinte.

De même, il est prudent de veiller à ce que l'alliage liquide rencontre un minimum d'obstacles qui créeraient des pertes de charge importantes ainsi que des turbulences pouvant provoquer des inclusions d'air au sein des pièces.

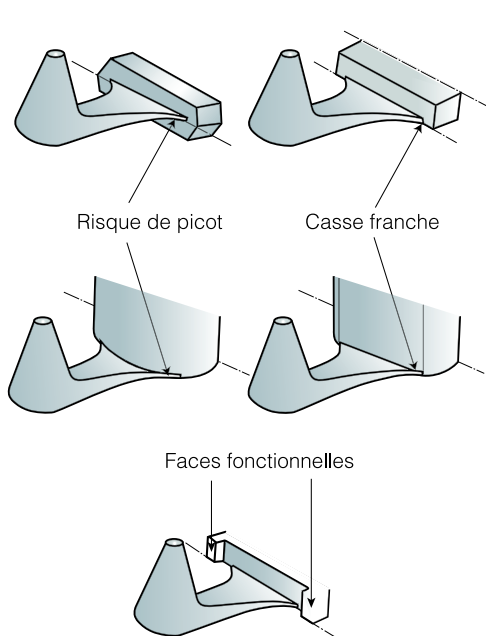


Figure 40 : Positionnement des attaques

Des artifices liés au tracé de la pièce éviteront des reprises onéreuses lorsque les attaques de coulée sont disposées sur une face fonctionnelle.

Les épaisseurs d'attaques sont généralement comprises entre 0.3 mm et 1 mm.

La construction du moule et le choix de la position des empreintes dans celui-ci seront étudiés après la conception du système d'alimentation. En effet, celui-ci devra être optimisé afin de garantir le bon remplissage des empreintes et donc ne pas être assujéti à des contraintes de forme liées à l'outillage.

En plus de l'expérience du fondeur il existe des logiciels qui permettent de calculer et de valider les systèmes d'alimentation.

### 4.4.c. Les inscriptions

L'excellente coulabilité des alliages de zinc Zamak permet d'obtenir des détails extrêmement fins et une reproduction parfaite d'inscriptions, logos ou marques divers.



Figure 41 : Schéma d'une inscription sur une pièce

Lorsque l'inscription doit obligatoirement être à fleur de la surface, il est recommandé de prévoir des lettres en relief sur un panneau en retrait.



#### 4.4.d. Aspects particuliers



Figure 42 : pièces à l'aspect granité

Il est possible d'obtenir des aspects granité, strié, guilloché, ... par des procédés tels que l'électroérosion, le microbillage, l'attaque chimique, qui sont réalisés au niveau des empreintes.

La fonderie sous pression d'alliages de zinc utilise ces procédés principalement pour améliorer les qualités d'adhérence et d'accrochage des produits et revêtements de protection.

Dans un souci de traçabilité des produits moulés, des marquages spécifiques aux fabricants, matérialisés par les dateurs, peuvent être apposés sur les pièces.

Le recyclage des pièces injectées sous pression en alliages de zinc est facilité lors qu'un repère permet l'identification du type d'alliage utilisé pour une fabrication donnée.

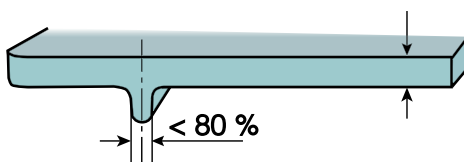


Figure 43 : Exemple de gravures

#### 4.4.e. Tracé des nervures

Comme nous l'avons vu précédemment, il est préférable d'assurer la rigidité de la pièce et sa résistance par l'adjonction de nervures plutôt que par des sections importantes.

La résistance à la compression d'un alliage moulé est supérieure à la résistance à la traction. En conséquence, la sollicitation mécanique des nervures se fera de préférence en compression.



Afin d'éviter une dépression à la surface de la pièce, il est prudent de concevoir des épaisseurs égales à 0,8 fois celles des parois de la pièce.

Figure 44 : Dimensionnement des nervures

#### 4.4.f. Congés et rayons de raccordement

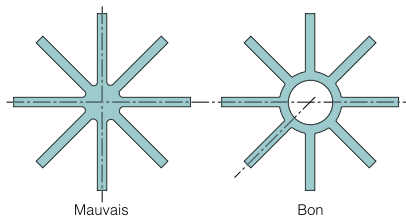


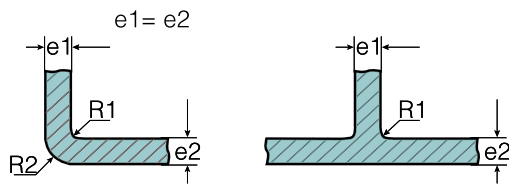
Figure 45 : Tracé des raccordements

Les alliages de zinc sont sensibles aux effets d'entailles. Les rayons et congés de raccordement sont indispensables :

les angles vifs constituent toujours une zone de faiblesse dans le moule et engendrent des tensions, des amorces de rupture pour les pièces coulées en alliages de zinc Zamak.

Lorsque les conditions d'utilisation de la pièce (esthétiques ou fonctionnelles) exigent un angle vif, il est souhaitable de casser l'angle avec un léger rayon.

En règle générale, la valeur du rayon est égale à l'épaisseur des parois auxquelles il se rattache.



##### Quand $e1 = e2$

1°) Si  $R2 = R1 + e1$

$$R1 = e1$$

2°) Si  $R2 = 0$

(Angle vif extérieur)

$$R1 = e1 (1,25 e1)$$

##### Quand $e1 < e2$

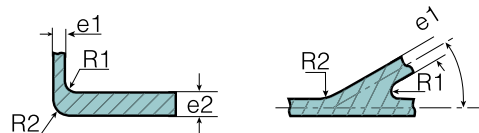
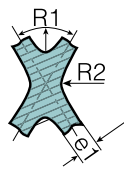
$$R1 = 2/3 (e1 = e2)$$

$$R1 = 0 (e1 = e2)$$

##### Nous devons toujours avoir :

$$e1 < e2$$

$$R1 = e1 (1,25 e1)$$



$$\text{Si } \alpha = 90^\circ \quad R1 = R2 = e1$$

$$\text{Si } \alpha = 45^\circ \quad R1 = 0,75 e1$$

$$R2 = 1,5 e1$$

$$\text{Si } \alpha = 30^\circ \quad R1 = 0,5 e1$$

$$R2 = 2,5 e1$$

Figure 46 : Détermination des congés de raccordement



Figure 47 : Exemple de pièce nervurée (bras support de bulle de moto)

#### 4.4.g. Les dépouilles

La valeur des dépouilles est fonction de l'importance du retrait du métal et du procédé de fonderie utilisé. En fonderie sous pression, le faible retrait de l'alliage et la qualité de polissage du moule permettent des dépouilles très faibles, voire nulles pour des applications particulières.

Lors de l'ouverture du moule, la pièce doit impérativement venir du côté mobile ce qui implique que la dépouille en partie fixe du moule doit être supérieure à la dépouille en partie mobile,

Le retrait du zamak dans le moule permet d'autoriser une dépouille moindre sur une forme mâle de la pièce que dans une forme femelle de la pièce.

La dépouille dépend également du mode d'usinage de la partie moulante et de la possibilité de polir ces formes, des dépouilles minima pourront être obtenues par usinage en érosion à fil, tournage, rectification, usinage CN ; il faudra prévoir une dépouille plus large si l'usinage se fait en érosion par enfonçage.

Dans tous les cas, les spécifications relatives aux dépouilles doivent être les plus larges possibles afin de limiter les efforts de démoulage et ainsi d'éviter les déformations de la pièce.

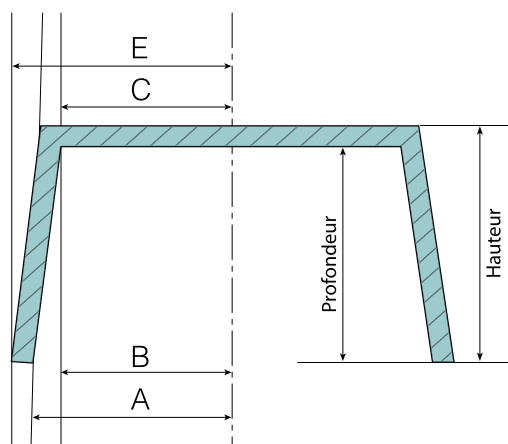
Lors de l'éjection, la dépouille permet dès le décollement de la pièce d'assurer un mouvement sans frottement entre la pièce et le moule. Ce contact est d'autant plus important s'il s'agit d'une partie de moule enrobée par le métal.

L'ajout d'une partie amovible (tiroir) dans le moule permet, en modifiant le sens de démoulage, d'annuler une dépouille pouvant s'avérer gênante dans l'utilisation de la pièce.

La dépouille d'une broche est fonction de son diamètre et sa hauteur :

Il faut prévoir des valeurs accentuées pour les petits diamètres. En effet, ces éléments de moules fragiles sont rendus sensibles aux efforts de traction lors de l'éjection de la pièce.

De plus, ces broches sont souvent difficiles à refroidir (voire impossible avec un système de circulation d'eau) et s'échauffent donc rapidement. Un frottement continu de l'alliage sur cette partie de moule au moment de l'éjection provoquerait des défauts du type collage ou arrachement



Nota : Il incombe au client de préciser sur son plan si les dépouilles sont à prendre en plus des cotes nominales, en moins ou centré.

Nota sur la dépouille des trous : Dépouille pour des trous cylindriques ou à faces planes, accessibles au polissage (broches démontables).

Figure 48 : Valeurs des dépouilles en fonction des parois et des trous

Pour des diamètres inférieurs à 2 mm, les possibilités de réalisations brutes de fonderie seront fonction de paramètres liés à l'architecture de la pièce : diagonale de la pièce, position et orientation de la broche dans le moule. Ces cas extrêmes sont à soumettre au fondeur pour avis quant à la faisabilité.

	PAROI	TROU	
hauteur de paroi ou profondeur de trou	dépouille en mm par face	dépouille en mm au diamètre	Ø broche en fonction de la profondeur du trou
2,5	0,17	0,07	Ø2
5	0,19	0,13	
7,5	0,25	0,19	Ø3
10	0,32	0,25	
15	0,41	0,36	Ø4
20	0,50	0,44	
25	0,59	0,51	Ø5
30	0,66	0,58	
35	0,73	0,65	Ø6
40	0,80	0,71	
45	0,88	0,77	
50	0,96	0,81	Ø7
55	1,04	0,86	
60	1,11	0,92	
65	1,21	0,97	Ø8
70	1,28	1,01	
75	1,35	1,05	
80	1,43	1,12	Ø9
85	1,51	1,19	
90	1,60	1,26	
95	1,66	1,33	Ø10
100	1,74	1,40	
105	1,82	1,47	
110	1,91	1,54	Ø11
115	1,98	1,61	
120	2,06	1,68	
125	2,13	1,75	Ø12

Tableau 7 : Valeurs des dépouilles en fonction des parois ou des trous

#### 4.4.h. Tolérances dimensionnelles

Pour les tolérances de fonderie il convient de consulter la norme NF EN ISO 8062-3 : « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérances dimensionnelles et géométriques des pièces moulées. Partie 3 : tolérances dimensionnelles et géométriques générales et surépaisseurs d'usinage pour les pièces moulées. ».

La fonderie sous pression des alliages de zinc offre, pour des pièces brutes de fonderie, la possibilité d'obtenir des tolérances répétables.

## Tolérances serrées :

Lorsque la fonction de la pièce requiert une cotation très précise, il y a lieu de consulter le fondeur afin de définir avec lui dans quelles conditions et classes de tolérances ces exigences pourront être obtenues.

Les tolérances serrées et les capabilités (CP CPK) demandent une rigueur dans la procédure de mise au point et nécessitent des presses à injecter de qualité. Les paramètres importants sont les suivants :

- *La dimension de la cote considérée*

Diagonale (mm)	Précision	Qualité de Tolérance TF	Cotes nominales														
			≤10	>10-18	>18-30	>30-50	>50-80	>80-120	>120-180	>180-250	>250-315	>315-400	>400-500	>500-630	>630-800	>800-1000	>1000-1250
≤ 50	Fine	10,5	0,036	0,044	0,052	0,065											
	Moyenne	11,5	0,060	0,070	0,085	0,10											
	Courante	12,5	0,090	0,11	0,13	0,16											
> 50 à 180	Fine	11,5	0,060	0,070	0,085	0,10	0,12	0,14	0,16								
	Moyenne	12,5	0,090	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25								
	Courante	13	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,27	0,32								
> 180 à 500	Fine	12,5	0,090	0,11	0,13	0,16	0,19	0,22	0,25	0,29	0,32	0,38	0,39				
	Moyenne	13	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,27	0,32	0,36	0,41	0,45	0,48				
	Courante	13,5	0,14	0,17	0,21	0,25	0,29	0,34	0,40	0,45	0,50	0,58	0,60				
> 500 à 1250	Fine	13	0,11	0,14	0,17	0,20	0,23	0,27	0,32	0,36	0,41	0,45	0,49	0,55	0,65	0,70	0,85
	Moyenne	13,5	0,14	0,17	0,21	0,25	0,29	0,34	0,40	0,45	0,50	0,58	0,60	0,70	0,80	0,90	1,0
	Courante	14	0,18	0,22	0,26	0,31	0,37	0,44	0,50	0,60	0,65	0,70	0,80	0,90	1,0	1,2	1,3

Tableau 8 : Valeurs issues de la norme caduque NF A 66-002

- *La position de la cote dans le moule.*

Une précision maximale est obtenue lorsque la dimension est limitée par une partie unique et monobloc du moule. Mesurée entre la partie fixe et la partie mobile du moule ou encore entre une glissière et un autre élément d'empreinte, la cote est soumise aux variations et/ou aux jeux de fonctionnement du moule et de la machine.

- *Dispersion dues au pilotage de la presse*

L'ensemble des paramètres de réglage de la machine va intervenir directement dans les dimensions de la pièce :

- o cadences de production,
- o températures du moule,
- o température d'éjection de la pièce,

- *Précision dans la réalisation du moule et degré d'usure*

La précision dans la réalisation du moule est un facteur important pour l'obtention de cotes conformes à la pièce moulée dès les premiers essais.

Dû à la faible température de coulée des alliages de zinc et à leur passivité vis-à-vis des aciers, l'usure du moule est négligeable, seules les parties précises et soumises à polissage dans la vie de l'outillage sont à mettre sous contrôle.

• *Variation de la valeur du retrait*

L'état actuel des connaissances du retrait est insuffisant pour permettre avant essai du moule de préjuger de son amplitude. L'obtention de cotes précises se fera alors après expérimentation de l'outillage et les principaux paramètres de réglage machine figés. Cet état de fait entraîne des mises au point plus longues pour garantir à terme des cotes précises pendant toute la production.

La procédure pour obtenir des cotes à tolérances serrées peut être résumée ainsi :

1. Conception au maximum de matière de l'outillage, permettant des retouches faciles et la mise en place d'éléments rapportés.
2. Réalisation du moule et métrologie des empreintes.
3. Essai sur presse, optimisation des réglages et réalisation d'un lot représentatif.
4. Métrologie du lot de pièces avec établissement des courbes de Gauss et capacités.
5. Détermination et exécution des retouches.
6. Nouvel essai et métrologie de confirmation.

Exemple : une cote de 100 sera tolérancée à +/- 0,14 en DCTG3 et +/- 0,22 en DCTG4.

#### 4.4.i. Tolérances additionnelles pour des dimensions limitées par une partie mobile

La libération de contraintes, les déformations dues aux manutentions, au stockage, ou lors de l'extraction de la pièce du moule, sont autant de paramètres à maîtriser afin de garantir des tolérances de planéité nécessaires. Les indications ci-dessous correspondent à une fabrication de grande série de niveau économique.

Figure 49 : Tolérances pour des dimensions limitées par le plan de joint



Diagonale de la pièce	Tolérance sur C
< 180 mm	±0,05 mm
Tolérance additionnelle par 75 mm supplémentaires	±0,025 mm

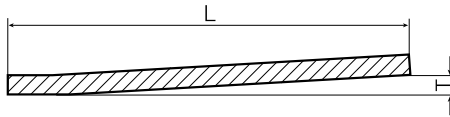
Exemple : pour une pièce de diagonale <180 mm ayant une cote C=100 en qualité TF12,5 sa tolérance sera de +/- 0,22 à laquelle il faudra ajouter ±0,05 de tolérance additionnelle, soit ±0,27.

Figure 50 : Tolérances pour des dimensions limitées par une glissière



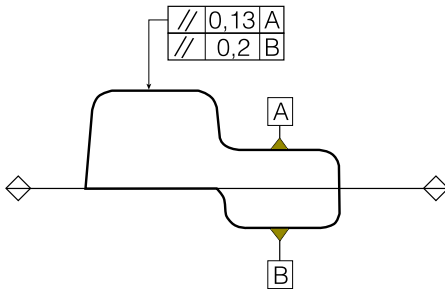
Diagonale de la pièce	Tolérance sur C
< 100 mm	0,1 mm
Tolérance additionnelle par 75 mm supplémentaires	0,05 mm

Figure 51 : Tolérances normales de planéité



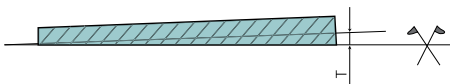
Diagonale de la pièce ou diamètre considéré	Tolérance T
< 75 mm	0,28 mm
75 à 100 mm maxi	0,36 mm
100 à 125 mm maxi	0,44 mm
Tolérance additionnelle par 25 mm supplémentaires	+0,08 mm de la tolérance de base

Figure 52 : Tolérances pour des surfaces moulées par le même élément de moule



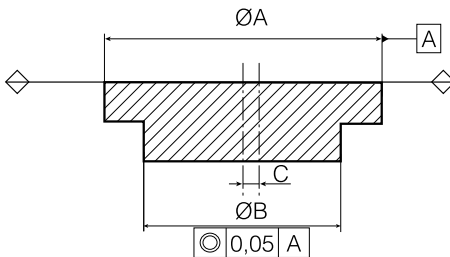
Diagonale de la pièce	Tolérance par rapport à A
< 75 mm	0,13 mm
Tolérance additionnelle par 25 mm supplémentaires	0,04 mm

Figure 53 Tolérances pour des surfaces moulées par deux éléments mobiles l'un par rapport à l'autre



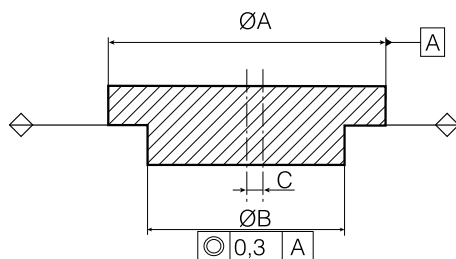
Diagonale de la pièce	Tolérance par rapport à A
< 75 mm	0,20 mm
Tolérance additionnelle par 25 mm supplémentaires	0,04 mm

Figure 54 : Tolérances de concentricité pour des diamètres moulés par le même élément de moule



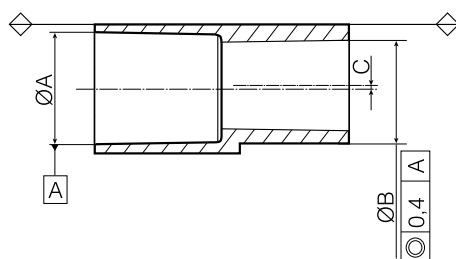
Tolérances de concentricité  
Diamètres moulés par le même élément de moule  
avec C = 0,05 mm

Figure 55 : Tolérances de concentricité pour des diamètres moulés par 2 élément mobiles de moule



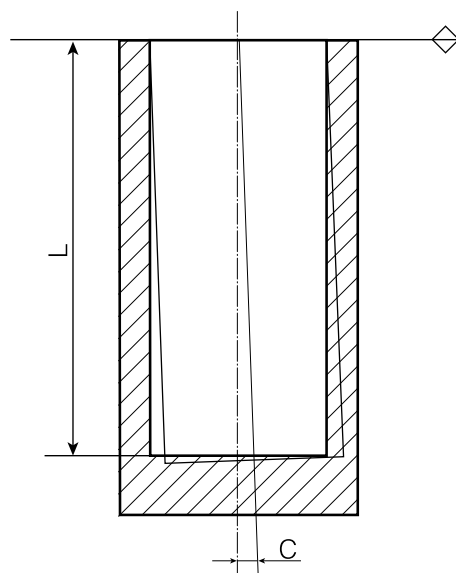
Diagonale de la pièce	Tolérance sur C
< 75 mm	0,3 mm
Tolérance additionnelle par 25 mm supplémentaires	0,04 mm

Figure 56 : Tolérances de concentricité pour des diamètres moulés par 2 glissières



Diamètre	Tolérance sur C
< 75 mm	0,4 mm
Tolérance additionnelle par 25 mm supplémentaires	0,05 mm

Figure 57 Tolérances d'angles



Diamètre (mm)	(L) Hauteur maxi (mm)	Tolérance sur C (mm)
2,5	10	0,10
3	10	0,13
4	15	0,13
5	20	0,26
6	25	0,32
6 à 10	40	0,37
12 à 15	50	0,37
15 à 20	80	0,42
20 à 25	115	0,59
< 25	6 x d	0,73 x L/175

Tableau 9 : Valeurs de tolérances d'angle en fonction de la hauteur et du diamètre de la broche

**Rugosité des surfaces :**

- Rugosité fine Ra = 0,8
- Rugosité moyenne Ra = 3,2
- Rugosité courante Ra = 6,3

Un référentiel peut être utilisé à partir de règles tactiles surtout dans le domaine de surfaces électro-érodées.



## 5.1 Le parachèvement

Après le moulage, la pièce est séparée de son système d'alimentation. Cette opération peut être réalisée :

- de façon manuelle lorsque l'alimentation est rectiligne ou de faible courbure,
- à l'aide d'un outil de découpe pour une alimentation de forme complexe ou gauche,
- par tonnelage pour des pièces de petites tailles.

Pour atténuer toute trace d'alimentation, de plan de joint, de bavure, il est nécessaire d'effectuer des opérations de finition.

### 5.1.a. La tribofinition

Les pièces à traiter sont immergées dans une charge d'abrasifs dont la forme, la dimension et le pouvoir abrasif sont adaptés aux détails et à la géométrie de la pièce à fouiller afin d'éviter les coincements.



Figure 58 : Pièces parachevées par tribofinition

Le frottement des abrasifs sur les pièces contribue à l'atténuation des aspérités et/ou au cisaillement des bavures.

L'intensité des vibrations est fonction de la dureté du produit à traiter et de l'aspect désiré.

L'adjonction de produits chimiques type savon est recommandé pour le maintien de la propreté des abrasifs.

Le séchage après traitement stoppe l'attaque des savons et offre un meilleur

brillant aux pièces. Cette opération s'effectue dans des appareils identiques à ceux utilisés précédemment alors garnis de cellulose de maïs, ou dans un tunnel à air chaud.

*Nota : Certains additifs offrent des possibilités de finitions mécano-chimiques telles que dégraissage, brillantage, passivation.*

### 5.1.b. Le grenailage ou sablage

Le grenailage consiste à projeter avec force à la surface des pièces de la grenaille ou des abrasifs afin d'opérer sur ces surfaces un décapage, un ébavurage, une modification de surface.

Le choix des projectiles est fonction de la dureté du matériau à traiter et de la rugosité désirée. Ils se caractérisent par leur agressivité (faculté d'abrasion), leur masse (énergie potentielle), leur résistance à l'autodestruction. La forme et la constitution de la grenaille sont prédominantes dans son rendement.



Figure 59 : Exemples de pièces parachevées par grenailage

L'ébavurage des pièces est généralement réalisé avec de la grenaille d'aluminium ronde. La préparation des surfaces en vue d'application de peintures est faite par projection de produits minéraux synthétiques : corindon, billes de verre de granulométrie 2/10ème à 4/10ème mm, ou encore avec de la très fine grenaille angulaire en acier. Certaines précautions sont à prendre dans la définition du design pour éviter les rétentions de grenailles et/ou de sable.

### 5.1.c. Le tonnelage cryogénique

Cette technique par injection d'azote liquide entraîne un risque de fragilisation des parties très fines des pièces et bavures.

### 5.1.d. Les ondes thermiques

L'élévation de température provoquée par l'explosion d'un mélange gazeux brûle les bavures ou toiles de la pièce.

Ce procédé est particulièrement adapté à des pièces de géométrie complexe pour ébavurer des zones difficilement accessibles.

## 5.2 La préparation

Lorsque le produit final requiert un niveau de qualité très élevé, il est nécessaire de préparer les surfaces d'aspect de la pièce selon les procédés ci-dessous :

### 5.2.a. L'émerisage

C'est le travail d'une surface métallique au moyen de disques ou bandes abrasives tournant à des vitesses linéaires de 1500 à 2100 m/min pour les alliages de zinc.

## 5.2.b. Le tamponnage ou polissage au tampon

Le polissage au tampon est réalisé à l'aide d'un disque souple rotatif sur lequel on vient appliquer de fines particules abrasives en suspension dans un liquide, une pâte ou un pain de graisse.



Figure 60 : Polissage par robot

## 5.2.c. Récapitulatif des différents procédés mécaniques

Type de traitement	But	Finition	Restrictions d'utilisation	Mode d'application
Emerisage	Enlever les traces de plan de joint, d'attaques, de bavures, marques d'éjecteurs et les défauts de surface avant tamponnage.	Ra = 1 à 2 Ra = 0,1	Zones internes	Manuel Semi-automatique (carrousel)  Automatique
Tamponnage	Réduire les rugosités et les marques de l'émerisage.	Ra de 0,01 à 0,25	Zones internes	Manuel Semi-automatique (carrousel) Automatique
Tribofinition	Réduire les rugosités et les marques d'émerisage. Ebavurer, décaper, rayonner, polir.	Ra de 0,01 à 0,3	Zones internes de petites dimensions	Semi-automatique
Grenaillage (sable)	Rendre homogène l'état de surface. Ebavurer, décaper	Variable	Zones non exposées face aux turbines	Semi-automatique, Automatique

Tableau 10 : Récapitulatif des différents procédés mécaniques



# 6

## Usinage

Une bonne conception de pièce, associée au procédé d'injection des alliages de zinc, permet d'obtenir des pièces ayant des formes complexes, des détails précis et un fini de surface qui rendent habituellement inutiles les usinages onéreux.

Cependant, des opérations de reprise peuvent être nécessaires à la finition des pièces : annuler certaines dépouilles, tenir des tolérances très serrées, réaliser des filetages ou des taraudages qui ne peuvent venir de moulage.

L'usinabilité des alliages de zinc est excellente. Leur travail ne pose pas de difficulté particulière.

La précision des pièces coulées sous-pression pouvant être maintenue dans des limites étroites, des surépaisseurs d'usinage de l'ordre de 0,1 à 0,3 mm sont généralement suffisantes, tout en respectant les conditions de coupe (copeau minimum).

Dans toutes les opérations d'usinage, il est essentiel que les pièces soient positionnées dans des posages adaptés: posage simple, flottant, posage avec bridage.

En règle générale, on utilisera des vitesses de coupe élevées, une avance réduite et une lubrification abondante. Après usinage, les pièces sont lavées et dégraissées pour être débarrassées des copeaux et des traces de lubrifiant.



Figure 61 : Usinage sur machine à commande numérique



Figure 62 : Taraudage en multibroches et avec taraud à refouler



Figure 63 : Bridage pneumatique de pièce à aléser

## 6.1 Perçage

### 6.1.a. Description

Cette opération d'usinage est utilisée dans les cas suivants :

- pour minimiser le montant des investissements en évitant la réalisation de tiroirs (le plus souvent lorsque les quantités de pièces ne permettent pas d'amortir rapidement le surcoût d'un tiroir dans le moule),
- pour répondre à une évolution de la pièce sans modifier le moule,
- pour répondre à des variantes de pièces à partir d'une pièce maîtresse,
- pour des raisons d'encombrement ou d'incompatibilité de mouvement dans le moule (intersection et conflit des broches).

La qualité du perçage obtenu dépend de nombreux critères :

1. les machines,
2. les outils,
3. les conditions de coupe,
4. le bridage,
5. la lubrification.



Figure 64 : Utilisation du 5ème axe pour usinage sur machine à commande numérique

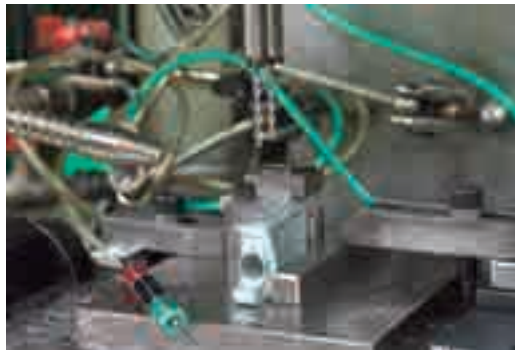


Figure 65 : Exemple de perçage

### 6.1.b. Les forets

Tous les forets utilisés en mécanique générale sont possibles ; toutefois, on obtient de meilleurs résultats avec des forets « spécial Zamak ou laiton (hélice à 15°)».

### 6.1.c. Résultats et limites du procédé

Comme pour tout autre matériau, il est recommandé de réaliser une opération d'alésage pour un niveau de classe inférieur à 9 (voir normes NF ISO 286-1 et NF ISO 286-2).

Dans le cas de perçage dans un avant-trou obtenu de fonderie, le chanfrein d'entrée est important car il influence la précision du diamètre et la position du trou dans la pièce.

Lors de perçages débouchants, une bavure de sortie est fréquente. En fonction de l'utilisation de la pièce, un ébavurage complémentaire peut s'avérer nécessaire.

L'emploi de canons de perçage est recommandé surtout pour les petits diamètres.

### 6.1.d. Contrôle

Les contrôles seront effectués :

- par attribut :
  - à la pige mini-maxi,
- à la mesure :
  - au micromètre d'intérieur
  - au pied à coulisse,
  - à la machine tridimensionnelle.

Lors de la définition du cahier des charges, il est important de prendre en compte, non seulement la tolérance à obtenir, mais aussi le niveau de qualité statistique des capacités avec CPK 1, 1,33, 1,67 ou 2).

## 6.2 Alésage

### 6.2.a. Nature de l'opération

L'alésage est une opération qui donne à un trou une cote précise, un fini de surface amélioré et une précision géométrique (circularité).

Dans les pièces en alliage de zinc, il n'est pas nécessaire de percer avant d'aléser, l'avant-trou de fonderie étant obtenu avec suffisamment de précision.

### 6.2.b. Moyens et équipements

**Les machines utilisées :**

Elles doivent être robustes, stables, comporter des broches de précision pour limiter des phénomènes de vibrations lors de l'opération d'alésage

Ces opérations sont pratiquées généralement sur aléseuses ou machines à commandes numériques.



**Posage d'alésage :**

Un posage d'alésage spécifique à chaque pièce sera réalisé avec des montages flottants ou fixes, avec ou sans canon, selon les cas.

Certains utilisateurs considèrent qu'il est préférable de laisser « flotter » la pièce pour assurer une bonne concentricité entre l'axe du trou obtenu de fonderie et celui à obtenir par alésage.

### 6.2.c. Les outils

Les outils utilisés seront tous les types d'alésoirs utilisés en mécanique générale.

Les alésoirs communément utilisés comportent 6 rainures droites. Des rainures en spirale sont parfois recommandées ; elles sont évidemment nécessaires lorsqu'il s'agit d'un trou comportant un logement de clavette. Il est nécessaire dans ce cas d'utiliser une hélice très prononcée avec un pas à gauche afin de maîtriser l'avance de l'alésoir.

Des alésoirs à rainures profondes sont recommandées (évite les accumulations de copeaux).

Il est possible de réaliser l'opération en une seule passe avec un alésoir de diamètre approprié en utilisant une avance permettant d'obtenir le fini voulu.

### 6.2.d. Contrôle

Le niveau de qualité dimensionnelle peut atteindre la classe de qualité fine.

Il est important, lors de l'établissement du cahier des charges de la pièce, d'établir la gamme de contrôle avec les moyens à utiliser et le niveau de capabilité recherché (CPK).

Les moyens de contrôle utilisés sont :

- par attribut :
  - tampon cylindrique maxi-mini,
  - tampon plat,
  - posage de contrôle spécifique,
- à la mesure :
  - au micromètre d'intérieur
  - à la machine tridimensionnelle.

Il est à noter que, selon les moyens utilisés, pour une même pièce, les résultats seront différents.

La qualité de rugosité pour un trou obtenu directement de fonderie peut atteindre un Ra de 0,8. Ce niveau de rugosité doit être pris en compte lors de la conception et de la réalisation du moule. La qualité de rugosité obtenue par alésage est Ra de 0,8 à 3,2 avec des extrêmes possibles de 0,4 à 6,3.

Les moyens de contrôle sont : tablette de comparaison étalonnée ou rugosimètre.



Figure 66 : Rugosimètre et contrôle visotactile de la rugosité



Figure 67 :  
Alésage diamètre 32 en qualité 6 – alésage  
diam 35H7 sur 65 mm de profondeur

## 6.3 Taraudage

### 6.3.a. Nature de l'opération

L'opération consiste à réaliser un pas de vis dans un trou.

Dans la grande majorité des cas, les avant-trous sont obtenus de fonderie avec une grande précision et pourront être taraudés directement malgré la dépouille nécessaire au démoulage.

Les Zamak sont des matériaux qui se taraudent facilement avec des outils standards (coupants ou non coupants).

### 6.3.b. Les machines

Les machines utilisées sont des taraudeuses montées sur bâtis suffisamment robustes pour limiter des vibrations :

- les taraudeuses simples n'ont pas d'avance commandée mécaniquement et le taraud lui-même engendre l'avance.
- les taraudeuses équipées d'avance mécanique (appelée communément « vis mère » ou « patronne »). La patronne commande l'avance de l'outil. Elles sont utilisées pour les pas fins et pour les taraudages très précis.
- sur commande numérique avec un taraud.
- les machines peuvent être mono ou multi-broches.

*Remarques importantes :*

*Pour les trous borgnes, il est important, lors de la conception de la pièce, de prévoir une réserve en fond de filet équivalent à 2 à 3 fois la valeur du pas.*

*Les chanfreins à l'entrée des avant-trous sont importants : ils facilitent la pénétration et la position du taraud. Ils absorbent et logent la déformation du premier filet dans le cas de taraudage à refouler.*

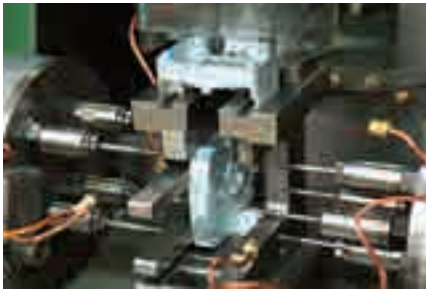


Figure 68 : Taraudage multibroches avec tarauds à refouler



Figure 69 : Taraudage multibroches avec tarauds à refouler

### 6.3.c. Les tarauds coupants

Ces tarauds sont standards. Ils peuvent être à filet rectifié (surtout au delà de 6 mm) car ils donnent un filet plus lisse et diminuent le risque de grippage.



Figure 70 : Exemples de tarauds

Le sommet du filet sera plat comme l'indique la norme mais avec un diamètre au sommet de filet plus faible dans le fond qu'à l'entrée. Les flancs et fonds de filets seront eux aussi conformes à la norme.



Figure 71 : Taraudage d'un diamètre 42 mm

Les flancs de filets et les diamètres en sommet de filets sont contrôlés au tampon fileté et tampon cylindrique, dans la même classe (Exemple : Ø M5, qualité 6H en taraud coupant).

### 6.3.d. Les tarauds à refoulement

Leurs avantages sont :

- absence de copeaux (intérêt de ce type de taraud pour les trous borgnes),
- préservation de la peau de fonderie,
- meilleure résistance mécanique des filets,
- le lavage des pièces peut être évité si la teneur grasse du lubrifiant est très légère.

Le diamètre des avant-trous est légèrement plus grand que pour le taraud coupant. Il est donné à titre indicatif dans le Tableau 12 et peut être légèrement différent selon les fabricants.

De nombreux essais montrent que le taraud à refouler avec une section polygonale (voir figure 81) offre une longévité plus élevée.

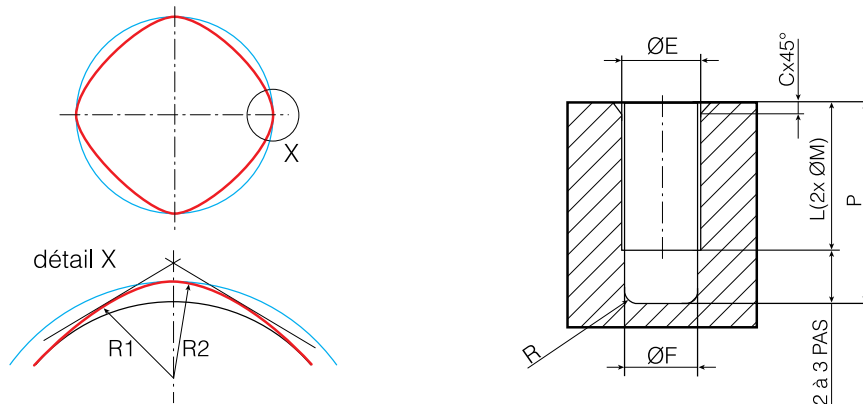


Figure 72 : Détails des tarauds à refoulement

Nominal ØM	PAS	ØF	ØE	Profondeur du trou P	Longueur Utile taraudage L	C
M 2	0.4	1.75	1.85	6	4	0,5
M 3	0.5	2.75	2.85	8	6	0.7
M 4	0.7	3.60	3.75	11	8	1
M 5	0.8	4,60	4.75	13	10	1.2
M 6	1	5.5	5.7	16	12	1.4
M 8	1.25	7.4	7.6	21	16	1.7
M10	1.5	9.4	9.65	26	20	2
M12	1.75	11.0	11.25	31	24	2.3
M14	2	12.85	13.15	36	28	3
M16	2	14.85	15.15	40	32	3

Tableau 11 : Conicités et profondeurs des trous venus de fonderie, pour taraudage par refoulement

Les flancs, comme le fond de filet, seront identiques à ceux obtenus en taraud coupant. Toutefois, le sommet de filet ne sera pas plat, il aura une forme de cuvette. Les filets obtenus par cette méthode donnent de meilleures résistances mécaniques.

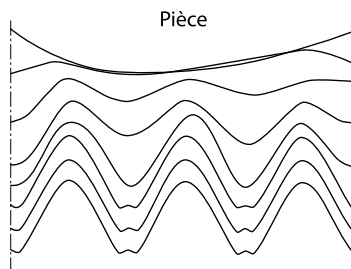


Figure 73 :  
Forme d'un taraud à refoulement

Nota :

- Les flancs de filet et le diamètre en sommet de filet ne sont pas nécessairement contrôlés avec des tampons de la même classe. Exemple : Ø M5, qualité 6H : en taraud à refouler.  
Qualité au flanc de filet : tampon 6H  
Qualité sommet de filet : tampon 7H ou 8H.
- Le chanfrein d'entrée disparaît partiellement par la déformation du premier filet. Pour les vissages automatiques, il faudra augmenter la valeur du chanfrein avec éventuellement un lamage d'entrée.

## 6.4 Filetage

Le plus souvent, les filetages sont obtenus directement de fonderie ; sinon ils peuvent être usinés avec des outils standards.

Lorsque c'est possible, un léger plat au plan de joint est recommandé.

### 6.4.a. Les machines

On utilise des machines classiques comme une perceuse, une machine à commande numérique ou un tour.

### 6.4.b. Outils

On peut utiliser une filière à peignes, à déclenchement, un peigne ou encore une filière à bouton pour les petites dimensions.

Dans le cas de filières rondes, il est recommandé de prévoir un angle de dégagement de 15 à 20°, avec d'étroits taillants et un dégagement excentrique pour des filières de 11 mm et au-delà. Les vitesses de filière sont de 15 à 20 % inférieures à celles des tarauds.

Ces travaux s'effectuant par enlèvement de matière, il conviendra de procéder à un nettoyage par lavage ou soufflage.

### 6.4.c. Contrôle qualité

Les contrôles s'effectuent à la bague filetée mini maxi.



Figure 74 : Filière + pièce Ø M22 qualité 6 H

## 6.5 Brochage

### 6.5.a. Nature de l'opération

Elle consiste à passer dans un trou obtenu par moulage, à l'aide d'une presse, un poinçon spécifique (de forme carrée, ronde, ovale, ...) permettant d'obtenir la précision dimensionnelle et de parfaire l'état de surface de la pièce.

### 6.5.b. La presse

L'utilisation de presses manuelles pour petites séries et de presses hydrauliques ou pneumatiques pour des séries plus importantes, est recommandée.

Dans tous les cas, il sera nécessaire d'exécuter un posage précis permettant un maintien parfait de la pièce.

### 6.5.c. Types de brochage

Il existe différents types de brochage dont les deux principaux sont :

- avec une broche lisse et sans enlèvement de copeaux : il est réservé aux brochages destinés à parfaire un état de surface dans un trou débouchant. Le serrage ne devra pas excéder 0,01 à 0,02 mm par rapport à la forme de fonderie,
- avec une broche permettant l'enlèvement de matière : il est réservé au calibrage de formes complexes présentant des coutures de moulage dues à des raccordements de noyaux.

### 6.5.d. Résultats obtenus

Dans tous les cas de brochage, il est indispensable de veiller à une bonne lubrification de la broche pour éviter tout dépôt de particules.

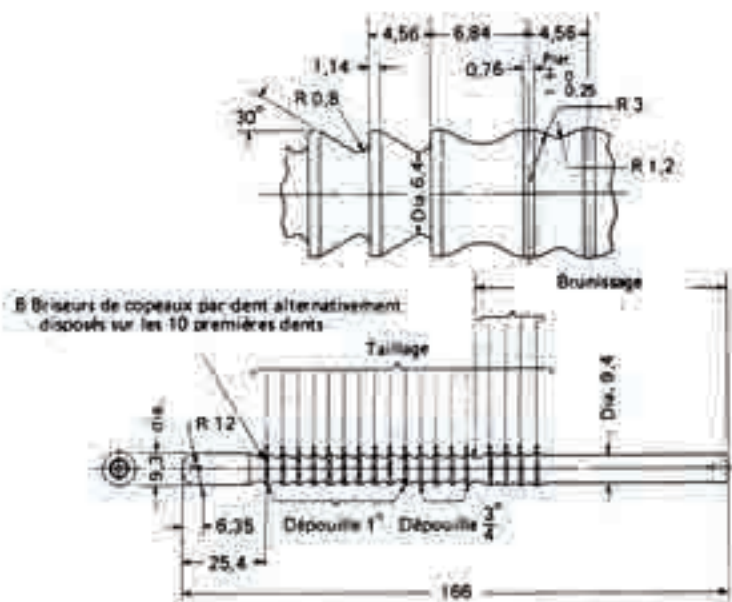


Figure 75 :  
Broche avec 14 saillies pour le taillage et 4 saillies pour le brunissage, pour le finissage d'un trou de 9,5 mm dans des pièces de grande série. Les saillies de brunissage sont chromées.

## 6.6 Fraisage

Bien que peu utilisé, le fraisage peut être appliqué sur certaines pièces moulées :

- pour obtenir des variantes de pièces à partir de pièces maîtresses,
- pour parfaire certaines formes géométriques (enlèvement de dépouille par exemple),
- pour améliorer un état de surface et obtenir une bonne planéité (surfaçage),

Le Zamak se fraise très bien suivant les règles de la mécanique générale.

### 6.6.a. Les fraises

Les fraises à nombre impair de dents, avec larges dégagements pour les copeaux, sont recommandées, l'angle de dégagement n'est pas nécessaire et l'angle d'incidence sera de  $12^\circ$ , on peut utiliser la fraise en bout, la fraise trois tailles ou la fraise cloche, ...



Figure 76 :  
Usinage sur machine à  
commande numérique

## 6.7 Tournage

Il est pratiqué :

- pour enlever la dépouille des formes de révolution d'une pièce,
- pour enlever le témoin de plan de joint ou de l'alimentation si la surface au plan de joint de la pièce est circulaire,
- pour obtenir des variantes à partir de pièces maîtresses,
- pour obtenir des gorges qui ne sauraient être obtenues de fonderie.

## 6.8 Récapitulatif des normes d'usinage

### 6.8.a. Alésage et perçage

#### Normes françaises :

Association Française de Normalisation (AFNOR) :

- NF EN 20286-1 Système ISO de tolérances et d'ajustement. Partie 1 : base des t, écarts et ajustement.
- NF E02-200 Vérification des tolérances de pièces lisses. Calibres à limites. Généralités, définitions, vérification, utilisation.
- NF EN ISO 14253-1 Instruments de mesure à lecture,
- NF E02-205, Vérification des tolérances de pièces lisses. Calibres à limites. Tolérances et usure admise des calibres « réception » jusqu'à 500 mm.
- NF E11-020 Instruments de mesurage de longueur. Calibres à limites et étalons de travail. Terminologie – désignation abrégée.
- NF E11-030 Calibres. Bagues lisses de diamètre 1,99 mm à 300 mm. Formes générales et dimensions.
- NF E11-021 Calibres en acier. Tampons lisses (série horlogère) – Diamètres de 0,1 mm à 3 mm – Ensemble.
- NF E11-032 Calibres en acier. Tampons lisses et filetés, simples et doubles. Diamètres de 40 mm à 100 mm.

Bureau de Normalisation de l'Aéronautique et de l'Espace (B.N.A.E.) :

- Recommandations techniques RMAéro 805-20 à 805-24 et 805-07 Vérification et étalonnages des instruments de mesurage.

#### Normes internationales :

International Organization for Standardization (ISO) :

- ISO 286-1 Système ISO de tolérances et d'ajustements. Généralités. Tolérances et écarts.
- ISO 14253-1 Spécification géométrique des produits (GPS) – Vérification par la mesure des pièces et des équipements de mesure – Partie 1 : Règles de décision pour prouver la conformité ou la non-conformité à la spécification.

### 6.8.b. Taraudage et filetage

Association Française de Normalisation (AFNOR) :

- FA E25-030 Eléments de fixation. Assemblages vissés. Conception, calcul et conditions de montage.
- NF EN ISO 898-1 Caractéristiques mécaniques des éléments de fixation en acier au carbone et en acier allié. Partie 1 : vis et goujons.
- NF ISO 3800 Eléments de fixation filetés. Essais de fatigue sous charge axiale. Méthodes d'essais et évaluation des résultats.



### 6.8.c. Collage

- NF T 76-201 Adhésifs. Préparation des supports métalliques pour éprouvettes destinées aux essais de laboratoire.
- NF EN 988 Zinc et alliages de zinc. Spécifications pour produits laminés plats pour le bâtiment.

## 6.9 Remarques importantes sur les moyens de contrôle

Dès l'étude de prix, le cahier des charges doit préciser les niveaux de qualité ainsi que les méthodes et moyens nécessaires pour procéder aux mesures et contrôles.

### 6.9.a. Moyens utilisés

Pour illustrer les conséquences du choix des moyens de contrôle utilisés, nous prendrons en exemple un alésage diamètre 20, tolancé en H8, la tolérance est de 33 micromètres.

#### A) – Validation par attribut :

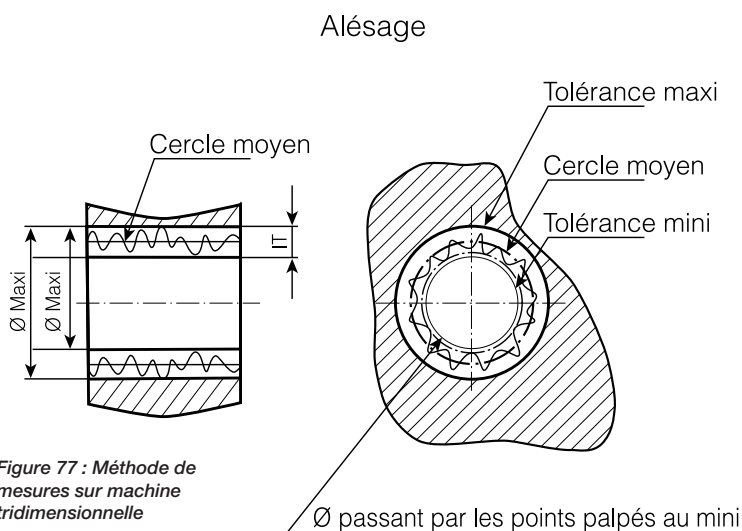
Ceci permettrait par un contrôle au tampon « entre – n'entre pas » d'accepter des pièces avec des écarts de forme au-delà du maxi de 33 micromètres.

#### B) – Contrôle au micromètre d'intérieur 2 ou 3 points :

Selon les écarts de forme et l'endroit où les touches prennent contact, les mesures peuvent avoir sur la même pièce et le même alésage des valeurs incluses dans l'intervalle de tolérance et d'autres hors limites.

#### C) – Mesures sur machine tridimensionnelle :

Elles donnent le résultat moyen de tous les points palpés. Dans ce cas, la valeur annoncée est supérieure à celle du diamètre maxi de la pige que peut recevoir l'alésage. La différence est celle entre le diamètre moyen et les points mini (voir schéma ci-dessous).



Il est donc important de connaître la méthode et les moyens de contrôle qui valideront les pièces usinées lors de l'établissement des devis et des gammes opératoires.

Ainsi, selon la méthode de contrôle retenue, les moyens utilisés peuvent évoluer vers des machines de type et de précision différents.

Par exemple, un diamètre de qualité H7 contrôlé au tampon pourrait être obtenu par une opération d'alésage, alors que le même diamètre H7 contrôlé à la machine tridimensionnelle, écart de forme pris en compte, demandera l'utilisation d'une rectifieuse.

***Une attention particulière doit être portée sur les conséquences techniques et économiques dans l'établissement du cahier des charges.***

### 6.9.b. Capabilité

A la validation et homologation des « Echantillons initiaux » (EI), il est nécessaire de contrôler plusieurs pièces.

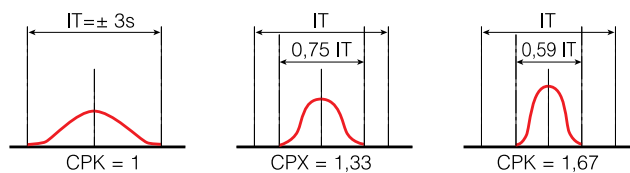
La Capabilité Process centré (CPK) demandée par les services qualité a une grande importance, ainsi que la taille du lot des EI.

S'il est demandé 200 mesures avec une CPK de 1, ceci signifiera que les EI sont acceptés dans le cas où les mesures sont dans l'Intervalle de Tolérance (IT).

Avec une CPK de 1,33, ceci signifiera que les EI doivent être centrés dans 0,75 de l'IT et, s'il est demandé une CPK de 1,67, cela signifiera que toutes les mesures soient dans toutes les mesures dans les 0,59 de l'IT.

Reprenons l'exemple précédent avec un alésage de diamètre 20 H8, IT = 33 micromètres, avec une CPK de 1,67, les mesures de l'EI seront centrées dans l'IT avec une étendue maximale de 16 micromètres.

Dans cet exemple, il sera alors nécessaire de prévoir des types de machines plus performantes avec des conséquences économiques et de délais qui devront être pris en compte à l'établissement du devis.



EI : Echantillons Initiaux  
IT : Intervalle de Tolérance  
CPK : Capabilité Process centré (index de centrage)  
s : écart type

Figure 78 : Forme de la courbe de Gauss en fonction de la capabilité requise

**Les possibilités de revêtement sur pièces en alliages de zinc sont multiples et permettent d'améliorer certaines caractéristiques comme la résistance au frottement ou à l'abrasion, d'obtenir une grande variété de présentations et d'aspects décoratifs, de renforcer leur tenue dans des conditions corrosives particulières. Les grandes catégories de procédés utilisés sont exposées ci-dessous.**

## 7.1 Conditions d'utilisation

Elles sont extraites du fascicule de documentation FDA 91-011 : « Revêtements métalliques - Désignations conventionnelles des conditions d'emploi ».

Décoration :	Classe
Seule la notion de décoration est en jeu ; la durée de protection est considérée comme accessoire.	0-1
Expositions atmosphériques normales :	
Intérieur sec : sans condensation, intérieur habitations.	0-1
Intérieur humide : condensation réitérée, cuisines, salles de bain, atmosphères de caves et d'ateliers, entrepôts non chauffés.	2
Extérieur rural tempéré : milieu correspondant à l'extérieur des habitations à la campagne pour les climats tempérés.	3
Extérieur ville tempéré : milieu correspondant à l'extérieur des habitations, en climats tempérés, pour les agglomérations comportant des usines produisant vapeurs et fumées.	3 (4)
Milieu tropical : milieu correspondant aux lieux climatiques d'habitations les plus sévères, de chaleur et d'humidité des régions tropicales ou équatoriales (ou production à destination mondiale).	4
Milieu industriel : milieu correspondant aux atmosphères des usines et à leur voisinage. Forte teneur de l'atmosphère en composés divers (SO <sub>2</sub> ).	4
Milieu marin : milieu correspondant aux atmosphères du bord de mer et sur mer, sans être directement en contact avec l'eau de mer. Corrosion issue d'une forte humidité relative et d'une certaine teneur de l'air en sel marin.	4
Expositions corrosives :	Tests obligatoires
Aspersions corrosives : attaques violentes temporaires et intempêtes par des liquides corrosifs (en règle générale, il y a augmentation des épaisseurs de dépôt).	
Variations de température (- 40°C à + 120°C) : modifications des conditions d'attaque corrosive.	
Corrosions chimiques par gaz, liquides : ce vaste domaine nécessite des études spéciales d'anticorrosion.	

TYPES DE TRAITEMENT	Niveau d'utilisation maxi conseillé		OBSERVATIONS
	Protection	Décoration	
<b>Dépôts métalliques :</b>			
Chimiques ou de conversion			
Chromatation au CrIV	3 à 4	non	Anticorrosion, abrasion, isolation électrique, dureté électrique
Passivation au CrIII	3 à 4	non	Anticorrosion, abrasion, isolation électrique, dureté électrique
Phosphatations	1	non	Accrochage peinture, anticorrosion
Électrolytiques			
Argent et alliages d'argent	4	1	Alimentaire, anticorrosion, contacts électriques, RMI, EFI
Bronzage	suivant Cu-Ni	3	Aspect, protection par vernis (attaques acides)
Bronze blanc	suivant Cu-Ni	3	Articles de décoration au contact de la peau
Canon de fusil	suivant Cu-Ni	3	Aspect, protection par vernis (attaques acides)
Chromage	4	1 à 4	Anticorrosion, aspect
classique, fissuré, poreux	3 à 4	4	Anticorrosion, aspect
Dur, noir	suivant Cu-Ni	non   3	Frottements, anticorrosion / aspect
satiné, brossé, velours	suivant Cu-Ni	4	Anticorrosion, aspect
Cuivrage	suivant épais	3	Couche d'accrochage, alimentaire, contacts électriques
Étamage (Sn, Sn-Pb, Sn-Ni)	4	non	Brasage, dureté, usure, frottements, alimentaire
Laitonnage	suivant Cu-Ni	2 à 3	Aspect, protection par vernis (attaques acides)
Nickelage	1 à 4	1 à 3	Aspect et sous couche nivelante
mat, brillant, multicouche	3	1 à 4	Aspect et sous couche nivelante
Or et alliages d'or	4	1	Aspect et tenues mécaniques, contacts électriques
Passivation au Cr3 sur zingage	4	4 colorations	Anticorrosion, différenciation de production
Zingage direct	3	3	Aspect, anticorrosion
<b>Dépôts organiques :</b>			
Peintures liquides			
Cataphorèse	4	4	Anticorrosion
Epoxy	1 à 2	1 à 2	Décorations
Polyuréthane	4	4	Hautes résistances
Acrylique/Polyuréthane	1	1	Aspect décoratif
Peintures poudres			
Epoxy	1 à 2	1 à 2	Résistant aux agents chimiques
Epoxy-Polyester	3	3	Décoration, résistances moyennes
Polyester	4	4	Décoration, intempéries, UV, brillance
<b>Dépôts spéciaux :</b>			
PTFE	4	non	Glissement, diélectricité
Surmoulage de matières plastiques	4	4	Freinage, vibration, limitations bruits
Vernis de transport	2	non	Protection temporaire

Tableau 12 : Types de traitements applicables aux pièces en Zamak

## 7.2 Traitement de conversion

### 7.2.a. Principe

Au cours de l'opération, il y a réaction entre le zinc et le bain de traitement, avec formation d'une couche de sels insolubles dont la composition est fonction de celle du bain et des conditions de traitement. Les principaux traitements de conversion appliqués sur zinc sont :

- la chromatisation,
- la passivation,
- les phosphatations.

### 7.2.b. Traitement de chromatisation ou de passivation

Ces traitements sont appliqués sur des pièces qui risquent d'être exposées à l'humidité - atmosphère tropicale, stockage humide ou atmosphères marines.

Le traitement fait appel à des acides en solutions aqueuses contenant du chrome hexavalent (chromatisation) ou trivalent (passivation), des ions fluorures et des accélérateurs.

**Pour répondre à la norme RohS et à la directive européenne 2000.53 le traitement à base de chrome hexavalent est remplacé par du chrome trivalent.**

Au cours de la réaction, il se forme un mélange complexe de chromate de zinc et d'hydroxydes qui seront partiellement déshydratés au cours du séchage.

La couche obtenue est inférieure au micromètre et son poids est inférieur à 2 g/m<sup>2</sup>. Dans le cas d'une chromatisation, l'aspect ira de l'incolore au jaune légèrement irisé. Dans le cas d'une passivation, l'aspect sera gris irisé.

La principale utilisation de ce traitement concerne les cas où les exigences en matière de tenue à la corrosion sont particulièrement sévères. Ces traitements peuvent servir de protection temporaire pour du stockage ou du transport, mais aussi pour des utilisations en atmosphère humide. Il est possible d'obtenir des tenues supérieures à 200 heures au test de brouillard salin.

L'application se fait aussi bien par immersion que par aspersion et est suivie d'un rinçage soigné, voire d'un rinçage en eau déminéralisée avant application de revêtements organiques.

Classe d'utilisation	Masse g/m <sup>2</sup>	Aspect	Tenue mini BS
1	< 0,5	Transparent	6 h
	0,5 à 1	Bleuté, irisé	24 h
2	1 à 1,5	Jaune irisé	72 h
	> 1,5	Vert olive, brun	96 h

*Tableau 13 : extrait de la norme NF A 91-472 « Traitement de chromatisation des dépôts électrolytiques de zinc ou de cadmium - Spécifications et méthodes d'essai ».*



Figure 79 : Exemples de pièces zinguées bichromatées

### 7.2.c. Le nickel-phosphore

Les bains de nickel - phosphore contiennent entre 4 et 15 % de phosphore. L'aspect du dépôt est généralement brillant, utilisable en décoration. Les dépôts de nickel - phosphore contenant plus de 9 % de phosphore ont de très hautes résistances à la corrosion et sont amagnétiques. Les dépôts de nickel - phosphore sont aussi réalisables par voie électrolytique.

Leurs domaines d'emploi sont :

- Le frottement,
- Le brasage,
- La résistance à l'usure,
- L'anticorrosion,
- Les contacts électriques.

### 7.2.d. La phosphatation

Ce traitement, effectué avec des solutions à base de phosphate de zinc, est généralement utilisé avant application de peinture.

La phosphatation présente l'avantage de pouvoir traiter simultanément les substrats ferreux ainsi que ceux à base de zinc. Il existe deux sortes de phosphatation :

- **La phosphatation amorphe :**

Le traitement met en œuvre des solutions aqueuses et de phosphates, légèrement acidifiées et enrichies en différents accélérateurs. Il se forme à la surface un mélange complexe de phosphates de zinc.

La couche obtenue varie de 0,2 à 0,8  $\mu\text{m}$  et est d'une teinte bleutée à légèrement brune suivant le mode d'accélération. L'utilisation est la préparation aux revêtements organiques. L'application est faite essentiellement par aspersion.

#### • La phosphatation cristalline :

Les solutions aqueuses mises en œuvre sont à base d'acide phosphorique et de cations divers en plus du zinc (manganèse, nickel, ...) ainsi que d'accélérateurs.

La couche formée est principalement composée de phosphate tertiaire mixte de zinc et manganèse. Le poids de couche varie de 1,5 à 3,5 g/m<sup>2</sup> (environ 1 à 3 µm) suivant les paramètres d'application.

L'utilisation est principalement la préparation aux revêtements organiques lorsque les exigences de tenue à la corrosion sont particulièrement sévères. Sans revêtement organique la phosphatation peut servir de protection temporaire pour stockage ou transport.

L'application se fait aussi bien par immersion que par aspersion. Elle est obligatoirement précédée d'un traitement préparatoire adapté et suivie d'un rinçage soigné, plus un rinçage en eau déminéralisée en cas d'application de revêtements organiques.

## 7.3 Traitements par voie électrolytique

Ces traitements sont généralement utilisés dans des buts décoratifs et/ou de protection contre la corrosion.

Tous les dépôts électrolytiques courants peuvent être effectués sur les alliages de zinc : cuivre, laiton, nickel, chrome, or, argent, etc. Hormis le laiton, ils nécessitent une sous-couche de cuivre afin d'éviter l'attaque du zinc.

L'attaque chimique par des compositions diverses peut procurer à certains de ces traitements des patines imitant, par exemple, les vieux bronzes, les vieux fers, l'étain, etc.

### 7.3.a. Principe

Les pièces immergées dans des solutions aqueuses de sels métalliques sont disposées à la cathode (pôle négatif d'un redresseur de courant). L'anode est constituée par le métal à déposer. Le passage de courant se traduit par la décharge des cations à la cathode avec formation d'un dépôt métallique.

La régularité et l'épaisseur du revêtement sont fonction de la répartition des lignes de courant, de la forme et de la position des pièces par rapport aux anodes.

Le respect de certaines règles de tracé des pièces est donc nécessaire à l'optimisation du traitement (voir chapitre 4 conception de pièces).

*Il existe trois grandes familles de traitements de surfaces électrolytiques :*

- les dépôts de type Cuivre - Nickel avec ou sans Chrome dans un but d'aspect et/ou de résistance à la corrosion,
- les dépôts de type Cuivre - Nickel, suivis d'un autre élément améliorant l'aspect ou les caractéristiques physiques et/ou mécaniques,
- les dépôts de type Zinc suivis d'une chromatisation / passivation chimique améliorant la résistance à la corrosion.

*Deux procédés industriels sont utilisés :*

- au tonneau lorsque les dimensions, la géométrie et la robustesse des pièces le permettent (sauf pour le chromage),
- par accrochage sur des montages (traitement au bain mort) pour les dépôts de cuivre, laiton, nickel, chrome (brillant, mat, satiné ou brossé), chrome noir ou dur, argent et or.

*Exemple de gamme opératoire :*

1. Dégraissage électrolytique, chimique  
Rinçage
2. Décapage électrolytique (eau+ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)  
Rinçage
3. Cuivre alcalin (ou basique)  
Rinçage
4. Dépassivation  
Rinçage
5. Cuivre acide  
Rinçage
6. Dépassivation  
Rinçage
7. Nickel  
Double rinçage
8. La suite de la gamme opératoire est spécifique aux traitements finaux (dépôt de chrome, or, argent...)



*Figure 80 : Pièces sur balancelle*

### **7.3.b. But du cuivrage**

L'opération de cuivrage assure un dépôt adhérent, non poreux, pénétrant et brillant. Elle est réalisée en deux étapes : pré - cuivrage et cuivrage.

Le pré - cuivrage en bain cyanuré (alcalin) recouvre la pièce d'un dépôt de 2 à 5 micromètres permettant ainsi un traitement en bain acide sans provoquer l'attaque du zinc.



Le cuivrage complète l'épaisseur de cuivre nécessaire à un dépôt brillant. Les pièces sont immergées, soit dans un bain cyanuré à haut rendement cathodique, soit dans un bain acide (sulfate de cuivre, acide sulfurique, brillanteur). Ce traitement, de par ses propriétés de micropénétration, est nivelant. Il simplifie le polissage au tampon ou favorise l'utilisation d'un polissage vibrant, garantissant ainsi un poli miroir.

Quel que soit le système de cuivrage adopté, l'épaisseur totale minimale généralement imposée par les normes ou spécifications est de 5 à 15 micromètres.

### 7.3.c. But du nickelage

Après cuivrage, les pièces en alliages de zinc peuvent subir un dépôt de nickel. Il existe deux types de dépôts : le nickel lamellaire, d'aspect brillant, et le nickel colonnaire dont l'aspect est mat. Le choix de l'un ou de l'autre, ou des deux conjugués, est fonction des contraintes d'utilisation de la pièce.

#### **Restriction d'utilisation de nickel :**

Les pièces métalliques revêtues d'un traitement électrolytique de nickel sont considérées comme des allergènes si elles sont en contact permanent du corps humain (éléments de montre, lunettes, bijoux, boucles, curseurs pour fermetures à glissière, etc.). Des directives européennes (en place ou en préparation) obligent des contrôles pour s'assurer du non-relargage de nickel. Plusieurs dépôts peuvent se substituer au nickel ou former barrière à son relargage. Certains dépôts peuvent même bénéficier de la marque NI.ALL.FREE\* (le CETEHOR délivrant les attestations de compétences et de connaissances nécessaires à la réalisation de ces traitements).

\* Marque déposée par le GEIE « E.C.D. W-A (Groupement Européen d'Intérêt Économique « Electro Chemical Deposition Without Allergy »).

#### **Contacts avec les denrées alimentaires**

Diverses circulaires ministérielles imposent pour les pièces en alliages de zinc destinées à contenir, manipuler ou être en contact avec des produits dits alimentaires « ... un recouvrement de couches successives de cuivre, de nickel, et d'or ou d'argent, ou d'étain, chacune de ces couches devant être suffisamment épaisse et non discontinue ». Certains traitements ont obtenu du Laboratoire National d'Essais un avis favorable sur le test d'alimentarité à l'égard des aliments placés à leurs contacts (circulaire du 14 mars 1931).

### 7.3.d. Les dépôts cuivre-nickel

#### **• Nickel mat ou brillant sur cuivre**

Ces dépôts sont utilisés pour améliorer de façon économique l'aspect des pièces sans pour cela atteindre un niveau de décoration tel que celui du dépôt Cuivre – Nickel - Chrome.

Ces dépôts se ternissent rapidement dans le temps mais présentent de l'intérêt pour la tenue aux températures élevées. La tenue à la corrosion est faible, à moins d'appliquer des épaisseurs importantes.

Classe d'utilisation	Épaisseur minimale
4	40 à 50 micromètres
3	35 micromètres
2	12 micromètres
1	5 micromètres

Tableau 14 : Conditions d'utilisation - Sur cuivrage 8 micromètres

- **Nickel multicouche**

Pour des pièces exposées en extérieur, il est préférable d'utiliser un dépôt de nickel semi brillant, suivi d'un dépôt de nickel brillant. Les dépôts de nickel brillant contiennent du soufre provenant des brillanteurs organiques. La tenue à la corrosion de ces dépôts est inférieure à celle des dépôts exempts de soufre.

La superposition d'un nickel semi brillant et d'un nickel brillant assure la brillance et une bonne tenue à la corrosion. En cas de perforation de la couche de nickel brillant, il y a protection cathodique de la couche de nickel semi brillant par différence de potentiel des deux dépôts : la corrosion est stoppée au niveau du nickel semi brillant, sans altération d'aspect. Ces dépôts multicouches sont toujours suivis d'un revêtement de chrome pour pallier leur ternissement.



Figure 82 : Cuivrage et nickelage

- **Nickel ductile**

Pour certaines applications, comme la connectique, il peut être nécessaire d'effectuer une opération de sertissage. Dans ce cas, il est possible de réaliser un traitement de surface spécifique avec du nickel ductile. Après la déformation de la pièce, le traitement de surface garde ses propriétés de protection et d'aspect. La mise en œuvre d'un tel procédé demande une étude de faisabilité à la conception de la pièce (prototypage).

- **Canon de fusil**

Les dépôts canon de fusil sont utilisés pour leur aspect décoratif. Sensibles aux ultraviolets, à l'oxydation de l'air et au toucher, on les protège en appliquant un vernis incolore étanche. Leur domaine d'emploi est la décoration classes 1 et 2 en fonction de l'épaisseur des sous-couches de cuivre et de nickel.

### 7.3.e. Les dépôts cuivre – nickel - chrome

Ils sont destinés à la décoration et à la protection des pièces.

Les dépôts de chrome ne se ternissent pas et possèdent une meilleure tenue aux frottements que les nickels. La corrosion des revêtements nickel - chrome apparaît dans les discontinuités de la couche de chrome avec formation de piqûres dans le nickel. La présence d'une petite surface de nickel (anodique)

avec une grande surface de chrome (cathodique) est à éviter. Ceci est obtenu en utilisant un dépôt de chrome micro discontinu (micro fissuré ou microporeux) permettant de découvrir une surface de nickel beaucoup plus importante que pour un chrome classique macro fissuré.

La norme européenne NF EN 12540 « Protection contre la corrosion des métaux. Revêtements électrolytiques de nickel, nickel plus chrome, cuivre plus nickel et cuivre plus nickel plus chrome » donne les recommandations d'emploi de ces dépôts.

Les pièces exposées en milieu corrosif peuvent être réceptionnées suivant les spécifications des essais décrites dans cette norme.

Le fascicule de documentation FD A 91-103 « Revêtements métalliques - Conditions de réception des pièces en alliages de zinc nickelées et chromées » peut également être consulté pour les méthodes d'essais et les recommandations d'emploi.

Classe	Conditions d'utilisation	Symbole	Épaisseurs locales minimales en $\mu\text{m}$			
			Nickel(**)	Cuivre	Total(*)	Chrome(**)
4	Très sévères	Ni Cu 40/Zn	30	8	40	0,5
3	Sévères	Ni Cu 30/Zn	20	8	30	0,25
2	Modérées	Ni Cu 20/Zn	10	8	20	0,25
1	Douces	Ni Cu 15/Zn	5	8	15	0,25

(\*) Le total ne correspond pas à la somme des épaisseurs minimales de nickel et de cuivre, la quantité manquante ( $2 \mu\text{m}$ ) peut être indifféremment du nickel ou du cuivre.

(\*\*) Les épaisseurs indiquées sont valables pour la solution courante de dépôt de nickel brillant et de chrome classique.

**Tableau 15 : Dépôts électrolytiques de nickel cuivre sur alliages de Zinc**  
Extrait du fascicule de documentation FD A 91-103.



**Figure 83 : chrome brillant et satiné.**

### 7.3.f. Chromage satiné, brossé ou velours

Des aspects satinés ou brossés peuvent être obtenus par les techniques suivantes :

- texturation du moule,
- opération de brossage, de microbillage ou de sablage à la surface des pièces brutes,
- brossage sur dépôt de nickel avant chromage,
- dépôt de nickel mat ou satiné.

Le choix de la technique conditionne l'aspect final. Les opérations dans le moule ou sur pièces brutes sont moins onéreuses qu'une intervention mécanique sur le dépôt de nickel, techniquement délicate.

#### • *Chrome noir*

Un dépôt de chrome noir, sur nickel sous-jacent mat ou brillant, peut être appliqué. Ce dépôt, joint aux qualités habituelles du chrome, est très apprécié pour ses qualités anti-reflets.

#### • *Chrome dur*

Les dépôts électrolytiques de chrome utilisés dans l'industrie sont plus épais que ceux spécifiés pour les usages décoratifs. Ils sont souvent appelés dépôts de « chrome lourd » ou de « chrome dur ».

Les revêtements de chrome sont utilisés dans l'industrie principalement pour tirer parti d'une ou plusieurs des propriétés suivantes :

- faible coefficient de frottement,
- propriétés anti-adhérentes,
- résistance à l'usure,
- résistance à la corrosion,

#### • *Le bronze blanc, brillant ou velours*

Les dépôts d'alliage cuivre - étain résistent bien à la corrosion et au ternissement. Ils sont applicables au tonneau ou au bain mort. Ces traitements sont principalement utilisés pour recouvrir les articles de décoration ou vestimentaires pouvant entrer en contact direct avec la peau (boucles d'oreilles, colliers, bracelets de montre, boutons. etc.).

#### • *Les dépôts d'or et d'alliages d'or*

Ce revêtement est utilisé pour recouvrir des pièces de décoration et d'ornementation, mais aussi pour ses excellentes propriétés physiques et mécaniques. Les alliages d'or doivent contenir au minimum 58,8 % d'or. Les dépôts d'or de « décoration » effectués sur cuivre - nickel ont une épaisseur inférieure à 0,1 micromètre. Le test de tenue à la sueur synthétique permet de valider des dépôts sur des pièces au contact de la peau (Norme NIHS mise au point par les horlogers suisses). Pour des applications industrielles, la norme NF EN ISO 27874 « Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques - Dépôts électrolytiques d'or et d'alliages d'or pour usages électriques, électroniques et industriels. Spécifications et méthodes d'essai » demande des sous-couches de cuivre minimales de 8 micromètres et de nickel de 10 micromètres.

#### *Domaine d'emploi :*

- résistance à la corrosion,
- résistance au ternissement,
- revêtement alimentaire,

- résistance de contact électrique faible et stable,
- réfléchissement des rayons infrarouges,
- aspect.

• **Les dépôts d'argent et d'alliages d'argent**

Les dépôts d'argent et d'alliages d'argent sont utilisés pour leur aspect décoratif et leurs propriétés physiques. Les applications industrielles sont régies par la norme NF EN ISO 4521 « Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques. Dépôts électrolytiques d'argent et d'alliages d'argent pour applications industrielles. Spécifications et méthodes d'essai ».

**Domaine d'emploi :**

- utilisations électroniques,
- amélioration de la conductivité électrique,
- protection contre la corrosion,
- décoration.

### 7.3.g. Le cuivrage, le laitonage et le bronzage

Les dépôts de cuivre et de laiton sont utilisés en particulier pour leur aspect décoratif. Ils peuvent avoir plusieurs appellations :

- laiton épaisseur,
- vieux bronze,
- etc.

Ces aspects décors sont obtenus après application d'une patine. Très sensibles aux attaques acides (sueur, acidité des mains, etc.), le dépôt d'un vernis incolore permet de les protéger.



Figure 84a : Pièces cuivrées, nickelées et laitonées



Figure 84b : Pièces cuivrées, nickelées et étamées

### 7.3.h. Étain

On utilisera préférentiellement ce dépôt pour des applications industrielles et pour revêtir des articles entrant au contact de denrées alimentaires.

Les domaines d'emploi sont :

- aptitude au brasage,
- conductibilité électrique,
- contact avec les produits alimentaires.

Une précaution est à prendre pour le recyclage sachant que la norme des ZL ne tolère pas plus de 0,002% d'étain

### 7.3.i. Étain - nickel

C'est le meilleur dépôt contenant de l'étain lorsque l'on recherche une résistance élevée à la corrosion. Il est réalisé suivant la norme NF ISO 2179 « Dépôts électrolytiques d'alliage étain nickel - Spécifications et méthodes d'essai ».

Il est employé pour favoriser :

- L'élévation de la dureté,
- La résistance à l'abrasion,
- La résistance à l'usure (750 HV),
- L'abaissement du coefficient de frottement,
- L'excellente résistance à la corrosion.

### 7.3.j. Le cadmiage

Ce traitement est utilisé pour augmenter les couples de serrage. Pour des questions de respect de l'environnement, il est avantageusement remplacé par le zingage.

### 7.3.k. Le nickel-phosphore

Mêmes domaines d'application que le dépôt nickel - phosphore chimique. Les épaisseurs déposées par voie électrolytique sont plus importantes.

Domaine d'emploi

- brasage,
- dureté, résistance à l'usure (10 à 25 µm mini),
- contact électrique,
- protection anticorrosion.

### 7.3.l. Le rhodiage

Il est utilisé en décoration (aspect blanc) ou dans un but technique (dureté élevée), sur sous couche d'or ou d'argent. Pour une application décorative, traitement de super finition, l'épaisseur déposée est inférieure au micromètre. Pour protéger les dépôts d'or et d'argent de type industriel, les épaisseurs déposées sont supérieures au micromètre.

### 7.3.m. Le palladiage

Il se substitue à l'or dans le cas de contacts électriques car le prix et la densité sont plus faibles.

### 7.3.n. Le zingage

Les dépôts électrolytiques de zinc sur alliages de zinc sont utilisés lorsque l'on désire chromater les pièces ou leur donner un aspect brillant. Il est réalisé suivant la norme NF A 91-102 « Revêtements métalliques - Dépôts électrolytiques de zinc et de cadmium sur fer ou acier ».

Voilà un exemple de gamme opératoire

1. Dégraissage électrolytique, chimique, ultrason  
Rinçage
2. Dépassivation  
Rinçage
3. Zingage électrolytique



Figure 85 : Exemples de pièces zinguées

### 7.3.o. La chromatisation ou passivation sur zingage

Plusieurs produits principalement à base de chrome répondent au traitement de chromatisation sur zinc ou dit aussi traitement de passivation. Son but principal est l'augmentation de la tenue à la corrosion. Les épaisseurs de film, de coloration différente, répondent à des besoins spécifiques.

La norme NF A 91-472 indique, suivant la masse du film déposé, quelles doivent être les tenues minimales au brouillard salin. D'après cette norme, on ne peut utiliser la chromatisation sur zinc que pour les classes 1 et 2. Des tenues au brouillard salin supérieures à 200 heures sont réalisables. Le choix du bain et l'épaisseur de zinc sont les premiers facteurs influents, la forme de la pièce peut être un paramètre important. Il sera donc souvent nécessaire d'effectuer quelques essais pour confirmer les résultats.

Voilà un exemple de gamme opératoire :

1. Gamme du zingage  
Rinçage
2. Bain HNO<sub>3</sub> 0,5% (brillantage nitrique)  
Rinçage
3. Bain de passivation chromique  
Rinçage
4. Egouttage, centrifugeage, séchage

### 7.3.p. Normes :

Les recommandations concernant les conditions de traitement et les épaisseurs de dépôt sont données dans les normes :

- NF EN 12540 : « Protection contre la corrosion des métaux. Revêtements électrolytiques de nickel, nickel plus chrome, cuivre plus nickel et cuivre plus nickel plus chrome ».

- NF EN ISO 4521 « Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques. Dépôts électrolytiques d'argent et d'alliages d'argent pour applications industrielles. Spécifications et méthodes d'essai ».
- NF EN ISO 27874 « Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques. Dépôts électrolytiques d'or et d'alliages d'or pour usages électriques, électroniques et industriels. Spécifications et méthodes d'essai ».
- NF EN ISO 8401 : « Revêtements métalliques - Vue d'ensemble sur les méthodes de mesurage de la ductilité ».
- NF EN ISO 2064 : « Revêtements métalliques et autres revêtements inorganiques. Définitions et principes concernant le mesurage de l'épaisseur ».

## 7.4 Les peintures

Les exigences des cahiers des charges (milieu ambiant, finition, résistance, tenue BS, UV...) doivent être définies par le prescripteur afin de déterminer le choix de la peinture et de son processus d'application.

Ainsi certaines exigences peuvent impliquer l'application ou non d'un primaire d'accrochage, d'un traitement de conversion chimique ou d'un vernis.

Plusieurs procédés peuvent répondre aux attentes ; pour les départager le prix de revient au dm<sup>2</sup> sera souvent le facteur essentiel. Il inclut :

- la préparation de surface,
- la peinture,
- le séchage, la cuisson,
- la main-d'œuvre,
- l'amortissement des installations,
- l'importance des séries.

### 7.4.a. Composition d'une peinture :

Trois groupes de composants constituent essentiellement une peinture :

#### • **Les liants :**

Leur nature chimique conditionne leur mode de séchage (air, air forcé, four). Ils sont, soit thermoplastiques, soit thermodurcissables. La classification des liants est établie dans la norme NF T 36-005 « Peintures et vernis - Classification des peintures, des vernis et des produits connexes ».

#### • **Les pigments ou matières de charge :**

Ils sont utilisés pour assurer une ou plusieurs de ces trois fonctions :

- inhibitrice de corrosion,
- décorative,
- mécaniques/chimiques.

#### • **Les solvants et diluants (pour peintures liquides) :**

Leur action est de dissoudre et fluidifier le liant pour permettre l'application de la peinture en couches minces.



On distingue 5 grandes familles :

- les hydrocarbures,
- les solvants chlorés,
- les cétones, esters, éthers, éthers-esters,
- les alcools,
- l'eau.

Le choix du solvant dépend du mode d'application (trempé, pistolet).

#### 7.4.b. La peinture par cataphorèse

De couleur généralement noire, elle offre une excellente protection contre la corrosion.

Cette peinture convient pour des pièces qui n'ont pas de critère d'aspect élevé.

Ce procédé permet de protéger toutes les zones d'une pièce de forme complexe ou d'un assemblage de différentes pièces métalliques.

Remarques : les zones borgnes et profondes empêchent le dépôt de la peinture (rétention d'air).

L'automatisation des lignes de cataphorèse permet de réduire les coûts de ce traitement.



Figure 86 : Exemples de pièces ayant eues un traitement de cataphorèse

##### • Principe d'application

La pièce ou l'ensemble de pièces est trempée dans la peinture, puis reliée à la cathode de l'installation. Après introduction dans la zone sous tension, on a électrolyse de l'eau contenue dans la peinture et donc libération des ions OH<sup>-</sup>, ce qui entraîne une élévation du pH.

Ce changement d'acidité provoque la coagulation de la résine à la cathode, véritable réaction physico-chimique dont la vitesse est maîtrisable par le biais du contrôle de la température. Le film de résine coagulée est insoluble dans l'eau et hydrophobe ; de ce fait, on pourra éliminer les excédents de peinture par lavage à l'eau ou par électro-osmose (expulsion de l'eau hors du film). Les pièces peintes sont ensuite étuvées afin d'assurer la polymérisation du film avec un temps de passage de 20 à 30 minutes.

Pour les alliages de zinc, on utilise la technique dite de cataphorèse à basse température. Les produits utilisés réticulent à des températures inférieures à 180°C en appliquant des épaisseurs de dépôts comprises entre 10 et 40 micromètres.

La cataphorèse est réalisée après phosphatation ou chromatisation. Les variations de l'épaisseur des dépôts n'excèdent pas 5 micromètres. Enfin, il existe deux types de réaction des résines (polyaddition et polymérisation). Les solvants sont généralement à base d'eau, d'acide et de glycol.

### 7.4.c. Les peintures liquides

Il existe une grande variété de peintures liquides applicables sur alliages de zinc. Le choix dépendra des conditions d'utilisation des pièces, décoration, résistance à la corrosion et de son mode de séchage (air, air pulsé, cuisson). La rugosité des pièces à peindre est un facteur important. Des pièces lisses nécessiteront un prétraitement d'accrochage, soit de type chromatisation, passivation ou phosphatation dans le cas de recherche de bonnes propriétés anticorrosion, soit de type peinture primaire qui sert de couche d'adhérence (épaisseur inférieure à 10 µm). On obtiendra un aspect lisse pour des pièces à faible rugosité, une forte rugosité facilitera l'accrochage des dépôts, mais pourra nuire à la bonne venue des pièces de fonderie (contre-dépouilles sur les faces parallèles au sens de démoulage).

Les méthodes d'application sont nombreuses ; les plus répandues sont :

- disque/bol,
- pistolet pneumatique,
- pistolet Airless, Airmix.

Il existe une multitude de produits applicables sur alliages de zinc (polyester, glycérophthalique, ...) qui ont leurs propres caractéristiques d'emploi.

Produits	Conditions d'utilisation	Epaisseur	Mode d'application
Peinture primaire réactive	Adhérence 2ème couche.	$e < 10 \mu\text{m}$	Pneumatique
Epoxy	Anticorrosion. Très bonne adhérence.	$e > 25 \mu\text{m}$	Pneumatique Airless Airmix
Polyuréthane	Excellente tenue extérieure. Tenue aux agressions chimiques. Finition brillante	$20 < e < 25 \mu\text{m}$	Pneumatique Airless Airmix
Acrylique/Polyuréthane	Coloration directe sur sous-couche.		Pneumatique Airless Airmix

Tableau 16 : exemples de peintures et leur utilisation



Figure 87 : Pièce peinte en peinture liquide



Figure 88 : Autres pièces peintes en peinture liquide

## 7.5 Les peintures poudres

Assurant à la fois une bonne protection contre la corrosion et une présentation attrayante des pièces moulées sous pression, les peintures poudres ont un excellent pouvoir couvrant. Les épaisseurs déposées sont de l'ordre de 60 à 80 micromètres (dépôt minimum 40 micromètres) et sont appliquées, soit au pistolet manuel électrostatique, soit sur des lignes automatisées.

Les peintures poudres peuvent recouvrir des pièces brutes de fonderie (dégraissées) ou être appliquées après chromatisation ou phosphatation pour les cas d'utilisation en classes 3 et 4.

Il existe 3 familles de peintures poudres :

- les époxys,
- les époxys/polyesters,
- les polyesters.

Leurs performances sont explicitées dans les tableaux ci-dessous.

### • Conditions d'utilisation

Dans les cas d'applications particulières, le tableau ci-dessous donne les caractéristiques à température ambiante :

Caractéristique d'utilisation	Epoxy	Epoxy Polyester	Polyester
Aspect décoratif	Excellent	Excellent	Excellent
Propriétés physiques et caract. mécaniques	Excellentes	Excellentes	Excellentes
Résistance à la chaleur	Mauvaise	Bonne	Excellente
Résistance aux intempéries	Mauvaise	Bonne	Excellente
Résistance aux ultra-violets	Mauvaise	Moyenne	Excellente
Stabilité couleur et brillance	Farinage	Bonne	Excellente

Tableau 17 : Caractéristiques des peintures à température ambiante

• **Les aspects décoratifs :**

Aspect décoratif	Epoxy	Epoxy Polyester	Polyester
Brillant	oui	oui	oui
Grainé	non	oui	oui
Lisse	non	oui	oui
Martelé	non	non	oui
Mat	oui	oui	oui
Métallisé	non	oui	oui
Satiné	oui	oui	oui
Texturé	non	oui	oui

*Tableau 18 : Aspects décoratifs des peintures*

• **Gamme d'applications :**

Les peintures en poudre s'appliquent par projection de la poudre chargée électrostatiquement sur la pièce à peindre reliée à la masse. La poudre est ensuite polymérisée dans un four. Les températures et les temps de cuisson doivent être adaptés au type de poudre choisie (voir avec fournisseurs).

	Plages de température sur pièce	temps de cuisson
Epoxy	140 à 160°C	8 à 20 minutes
Epoxy/Polyester	160 à 180°C	10 à 15 minutes
Polyester	160 à 180°C	10 à 15 minute

*Tableau 18bis : Conditions d'application des peintures*

L'optimisation du remplissage de l'empreinte permet de minimiser les inclusions d'air qui peuvent générer des cloques lors de la cuisson.

Classe d'utilisation	Epoxy	Epoxy Polyester	Polyester
1	oui	oui	oui
2	oui	oui	oui
3	non	oui	oui
4	non	non	oui

*Tableau 19 : Choix des peintures en fonction des classes d'utilisation*

• **Remarques :**

- si l'on recherche une résistance au SO<sub>2</sub>, le choix des pigments (coloration) est très important,
- les tenues des peintures sur chromatation ou phosphatation sont supérieures à celles sur pièces brutes,
- l'accrochage est facilité lorsque les pièces sont peintes peu de temps après le traitement chimique (chromatation, phosphatation).

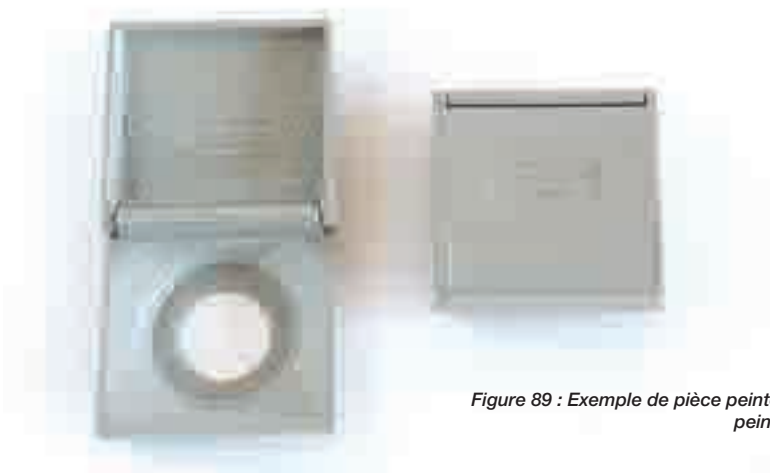


Figure 89 : Exemple de pièce peinte avec de la peinture poudre

Tenue d'utilisation en milieu	Epoxy	Epoxy Polyester	Polyester
Acétone	Limitée	non	non
Acide acétique	non	non	non
Acide nitrique	Limitée	Limitée	non
Acide phosphorique	Excellente	Excellente	Excellente
Alcool éthylique	Excellente	Excellente	Excellente
Ammoniaque	Limitée	non	non
Chlorure de Na à 20%	Excellente	Excellente	Excellente
Eau de mer	Excellente	Excellente	Excellente
Eau de ville	Excellente	Limitée	Excellente
Eau distillée	Excellente	Limitée	Excellente
Essence	Excellente	Limitée	Limitée
Soude à 30%	Excellente	non	non

Tableau 20 : Tenue d'utilisation selon différents milieux

## 7.6 Métallisation sous vide

Il est possible de déposer sur les alliages de zinc des matériaux métalliques (purs ou alliés), des oxydes ou des produits carbonés par les techniques de métallisation sous vide. Seule la technique d'évaporation sous vide ne convient pas aux alliages de zinc puisque les pièces sont préchauffées entre 250 et 400°C afin de faciliter l'accrochage des atomes vaporisés.

Cette technologie d'application permet de déposer des épaisseurs faibles de métaux purs (50 Angströms à quelques dixièmes de micromètres) jusqu'à des épaisseurs de 5 à 70 micromètres en dépôt multicouches.

L'état de surface des pièces traitées est conservé après l'application des couches minces (< 1 micromètre).

En décoration, on déposera de quelques Angströms à 1 micromètre sur la pièce, suivi du dépôt d'un vernis de protection incolore ou teinté polymérisé qui viendra terminer le traitement.

Classe d'utilisation	Épaisseur conseillée	Matériau déposée
4	à vérifier après test	Métaux, oxydes carbone
3		
2		
1	10 Å à 1 µm + vernis	Métaux purs, oxydes, carbonés, alliages

Tableau 21 : Épaisseurs conseillées des dépôts

Nature des dépôts	Domaines d'utilisation
Aluminium	Réflexivité, guidage des ondes, hyperfréquences, soudure, optique, électronique
Argent	Conductivité électrique, blindage électromagnétique
Carbone	Dureté 2 500 HRV, anticorrosion, décoration
Chrome	Décoration, dureté 2 000 HRV
Molybdène (bisulfate)	Frottement, dureté 300 à 400 HRV
Or	décoration, barrière thermique, réflexion infrarouge
Oxydes	Isolation électrique (dépôts lamellaires)
Platine	Barrière de soudure isolant/conducteur

Tableau 22 : Domaines d'utilisation

## 7.7 Les dépôts de P.T.F.E.

Les dépôts de P.T.F.E. (Polytetra Fluoréthylène) sont utilisés lorsque l'on rencontre des problèmes de corrosion (sel blanc) et de frottement sur alliages de zinc. Ils sont appliqués sur pièces, soit au trempé puis centrifugé pour des pièces en vrac, soit par projection au pistolet pour des pièces à l'attache. La géométrie des pièces est prépondérante pour le choix de cette méthode. Les dépôts de P.T.F.E. se composent d'un lubrifiant, le P.T.F.E., et d'un liant organique thermodurcissable à fortes caractéristiques mécaniques et chimiques. La température de polymérisation des résines se situe entre 100 et 180°C. La sous-polymérisation du P.T.F.E. altère les caractéristiques anti-adhérentes du revêtement mais non les propriétés de frottement. Le liant est isolant et protège de la corrosion. Le dépôt peut être appliqué après chromatisation, phosphatation ou primaire d'accrochage afin d'augmenter l'adhérence du dépôt et la tenue à la corrosion. Les épaisseurs moyennes se situent entre 10 et 40 micromètres et sont fonction du nombre de couches ou des sous-couches. La coloration est verte, noire, grise ou grise métallisée.

### 7.7.a. Domaine d'application

Les domaines d'application sont les suivants :

- anti-adhérence,
- bas coefficient de frottement,
- diélectrique,
- résistance au froid et à la chaleur,
- résistance aux agents chimiques,
- recherche de non mouillabilité.

Afin d'éliminer des opérations d'usinage (perçage, filetage et taraudage) et supprimer les éléments d'assemblage (vis, écrous, rivets, ...), les alliages de zinc offrent la possibilité de réaliser des liaisons du type :

- sertissage / rivetage,
- vissage,
- emmanchement,
- soudage,
- collage,
- insert surmoulé
- surmoulage d'une pièce en zamak

## 8.1 Sertissage

Le Zamak se prête aisément au sertissage. Cette opération permet l'assemblage d'éléments mécaniques dans lequel un des membres au moins est déformé localement de manière permanente.

Le tracé correct, l'état de surface et l'homogénéité de structure de la paroi sont les principaux facteurs d'un sertissage efficace.

Les opérations de sertissage répondent à la norme NF G 91 006 « Profils avant sertissage - Profils du poinçon de sertissage ».



Figure 90 : Pièces assemblées par sertissage



Figure 91 : Sertissage de la languette d'une fermeture à glissière

poussoir

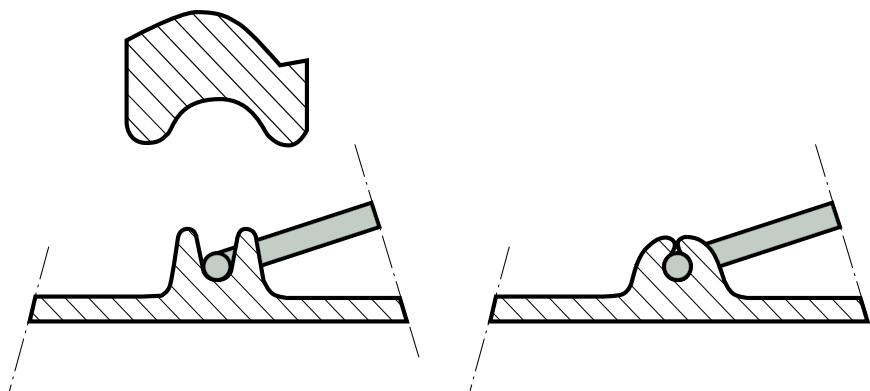


Figure 92 : Profils obtenus après sertissage permettant un fonctionnement sans jeu ni points durs.

Cet assemblage obtenu par sertissage doit répondre aux normes AFNOR NF G 91 006 et des contrôles statistiques sont effectués régulièrement à l'aide d'un dynamomètre motorisé.

## 8.2 Rivetage

L'assemblage rigoureux des deux pièces de la figure 114 a fait l'objet d'une recherche particulière. Les profils classiques des poinçons et bouterolles ne donnaient pas satisfaction.

Ce profil de poinçon a permis une compression de la matière uniforme et totalement contrôlée.





Figure 93 : Rivetage d'une lame

La venue de fonderie de rivets ou collerettes offre des possibilités intéressantes d'assemblage. La mise en œuvre est aisée, rapide et permet l'économie de perçage, taraudage, vis, rivets, ...

Les liaisons se feront entre pièces en Zamak ou avec des matériaux différents. Les alliages de zinc offrent un bon allongement.

• **Rayon de courbure :**

L'allongement du Zamak, compris entre 5 et 8 %, autorise des rayons de courbure (R) équivalents à 6 ou 9 fois maximum l'épaisseur de l'élément considéré. Par conséquent, les risques de rupture seront réduits avec l'emploi de pièces à parois minces.

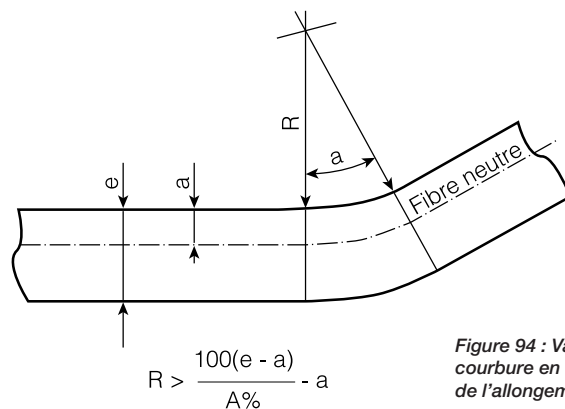


Figure 94 : Valeur maxi d'un rayon de courbure en fonction de l'épaisseur et de l'allongement

La santé de l'alliage est primordiale pour réussir ce type d'assemblage ainsi que l'état de surface de la collerette ou lèvres à sertir.

Dans la pratique, le rapport est :

$$\frac{\text{Rayon extérieur de pliage}}{\text{Epaisseur à sertir}} > 1,25$$

• **Efforts de sertissage :**

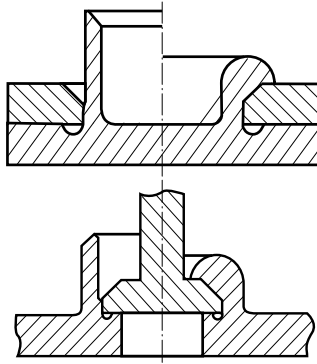
L'élévation de température augmente l'allongement des alliages de zinc ; par conséquent, les outils chauffés permettent une réduction des efforts de sertissage et améliorent la qualité des assemblages.

20°C	420 MPa
35°C	370 MPa
50°C	330 MPa
65°C	300 MPa
80°C	270 MPa

Tableau 23 : Efforts nécessaires au sertissage en fonction de la température

Les déformations du matériau doivent se faire sous compression afin d'éviter des craquelures. Les outillages doivent faire l'objet d'une recherche pour garantir cette loi.

• **Forme générale des collerettes :**



Un chanfrein à 45° au sommet de la collerette permet de guider la déformation et de réduire ainsi les efforts de contrainte exercés sur la pièce (Figure n° 96).

Le dégagement de 0,1 e est favorable et indispensable pour garantir une déformation sans risque de fissure.

Figure 95 :  
Forme des collerettes pour un bon sertissage

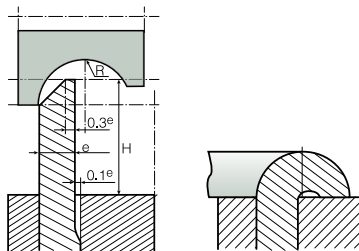


Figure 96 : Tracé permettant une bonne déformation

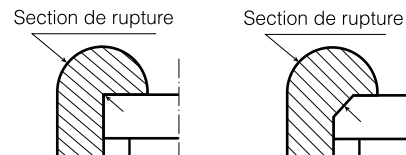


Figure 97 : Mise en place d'un chanfrein pour augmenter la section de rupture

La mise en place d'un chanfrein ou d'un rayon au sommet de la pièce immobilisée par sertissage augmente la section de rupture (figure 119).

• **Outils de sertissage :**

Les outils utilisables pour les alliages de zinc sont les suivants :

- L'outil à molettes (ou bouterolle) : utilisé sur des machines simples, donc de faible coût. On obtient de bonnes résistances pour une faible force d'appui. Il y a risque de détérioration du sertissage par écaillage si la force d'appui est trop élevée ou le temps d'application trop long.
- L'outil à lame : permet d'obtenir de très bonnes résistances, un excellent formage du sertissage et un bel état de surface. On ne peut sertir des hauteurs importantes avec cet outil.
- L'outil presse : il n'est pas nécessaire de fixer la pièce à sertir. Le sertissage peut être de moins bonne qualité.

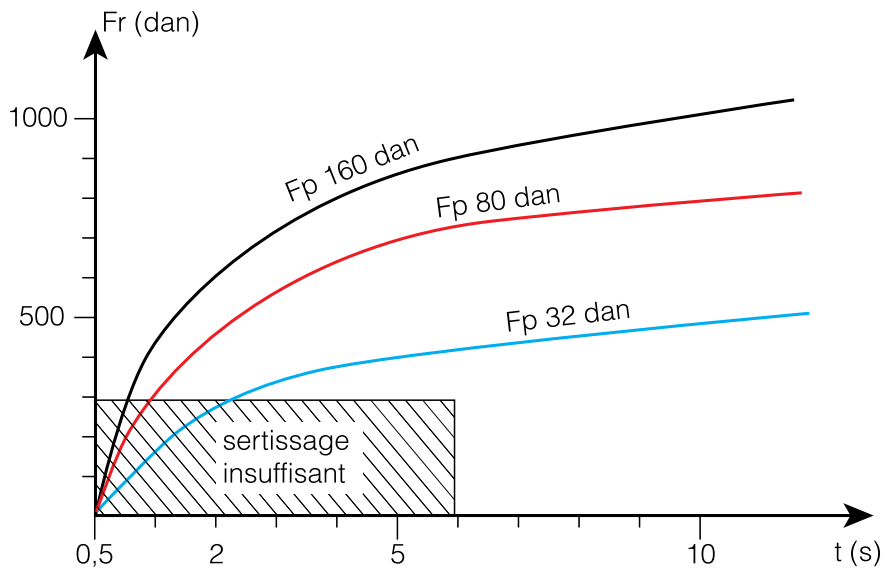


Figure 98 :  
Courbes de résistance du sertissage en fonction de la force exercée par l'outil à lame et du temps de sertissage.

Hauteur sertie = 0,8 mm - Vitesse de rotation de l'outil = 130 tr/mn

L'outil à lame est celui qui offre l'aspect le plus satisfaisant. Les efforts de pression très élevés qui sont appliqués par les outils à molette sont générateurs d'écaillage de la peau de pièce sertie.

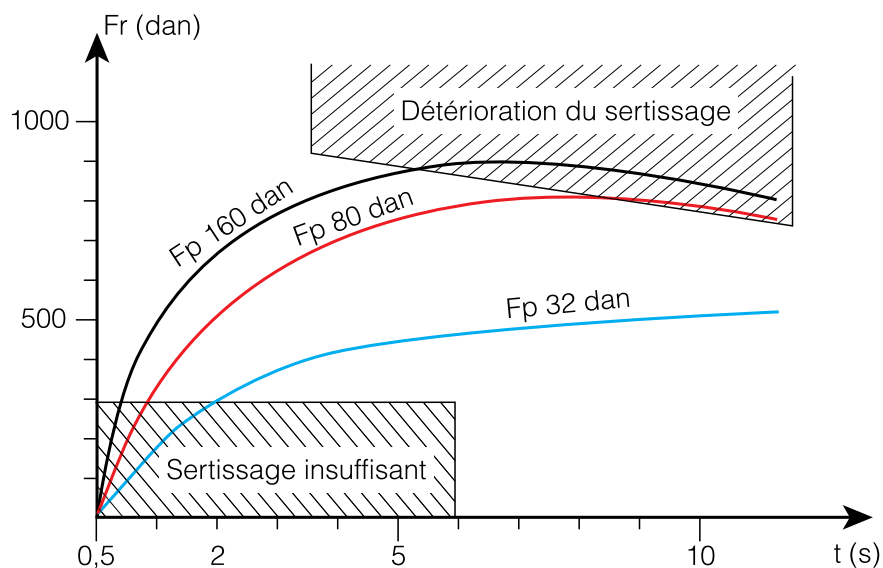


Figure 99 : Courbes de résistance du sertissage en fonction de la force exercée par l'outil à molette et du temps de sertissage.

Hauteur sertie = 0,8 mm - Vitesse de rotation de l'outil = 130 tr/mn (environ 12 m/mn)

Très économique, l'outil de presse présente un sertissage de résistance médiocre. L'outil de tour représente une opération d'un coût élevé pouvant être cumulée avec une reprise d'alésage, par exemple.

• **Vitesses de rotation des outils à lame et à molette :**

Les meilleurs résultats sont obtenus avec des vitesses de rotation faibles, de l'ordre de 130 tr/mn ; la force de rupture du sertissage diminuant lorsque la vitesse augmente.

La lubrification ou l'état de surface des outils n'influe pas sur la qualité du sertissage.

• **Rivetage :**

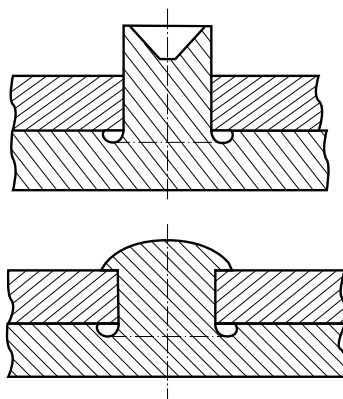


Figure 100 : Forme du rivet

La forme conique au sommet du rivet facilite l'évasement de la matière. La base du rivet devra être raccordée par un large rayon qui évite les amorces de rupture. Le dimensionnement sera : Hauteur après rivetage / Hauteur initiale > 0.4

Les dimensions de rivets peuvent être très variables en fonction de contraintes spécifiques. La charge unitaire sera plus faible lorsque le rapport Hauteur / Diamètre sera grand.

Dans tous les cas, les efforts appliqués par la presse ne devront pas dépasser la valeur de 900 MPa.

## 8.3 Emmanchement

### 8.3.a. Nature de l'opération

Dans les alliages de zinc, il est possible de procéder à des opérations d'emmanchement. Celles-ci consistent à enchâsser dans un alésage un insert tel que :

- bague de friction,
- axe décolleté, lisse, moleté ou cannelé,
- roulements,
- paliers plastiques, laiton, inox, ...

L'emmanchement remplace le surmoulage d'un insert lorsque celui-ci s'avère difficile, voire impossible.



Figure 101 : Exemple d'inserts emmanchés

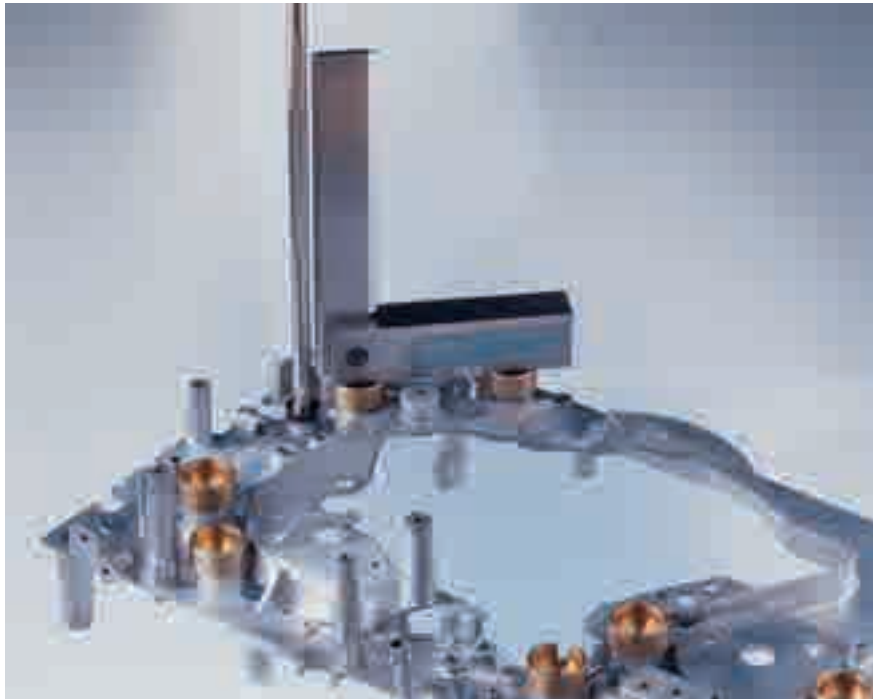


Figure 102 : Contrôle équerre

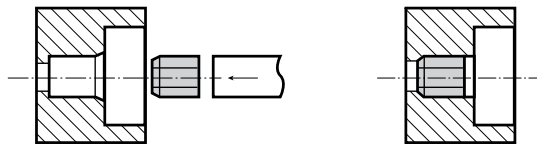


Figure 103 :  
Emmanchement d'une bague

### 8.3.b. Moyens et équipements

En fonction du résultat à obtenir et de la série à réaliser, il est possible d'utiliser, soit un montage simple avec une presse manuelle, soit une presse hydraulique avec un montage de positionnement, ce qui permettra de soutenir l'ensemble au moment de l'emmanchement.

La presse hydraulique est recommandée pour sa souplesse de réglage et la progressivité de sa descente.

### 8.3.c. Types d'emmanchement

Les pièces en alliage de zinc permettent de réaliser un grand nombre d'emmanchements d'éléments différents :

- **Emmanchement alésage lisse - insert lisse :**

Il convient particulièrement pour les axes, les roulements, ... emmanchés avec un serrage du type H7/p6.

Lorsque la hauteur d'emmanchement dépasse le diamètre de l'insert, il est conseillé de lubrifier l'insert afin de faciliter sa mise en place.

Dans tous les cas, il faut prévoir un chanfrein d'entrée sur l'alésage et sur l'insert.



Figure 104 : Exemples de bagues et coussinets emmanchés

• **Emmanchement alésage lisse - insert cannelé :**

Il est destiné à la mise en place d'inserts soumis à un effort en rotation.

La précision demandée sera du type H8 sur l'alésage de fonderie, par rapport au diamètre nominal de l'insert.

• **Emmanchement alésage cannelé - insert lisse :**

Il est destiné à la mise en place d'inserts avec un minimum de portées.

Il convient particulièrement à des cages à roulements n'autorisant pas de serrage important.

Dans ce cas, la mise en place se fait avec un effort limité ; bien souvent, l'emmanchement manuel convient le mieux.

• **Emmanchement alésage cannelé - insert cannelé :**

Il convient particulièrement à des pièces devant avoir une bonne résistance à la rotation.

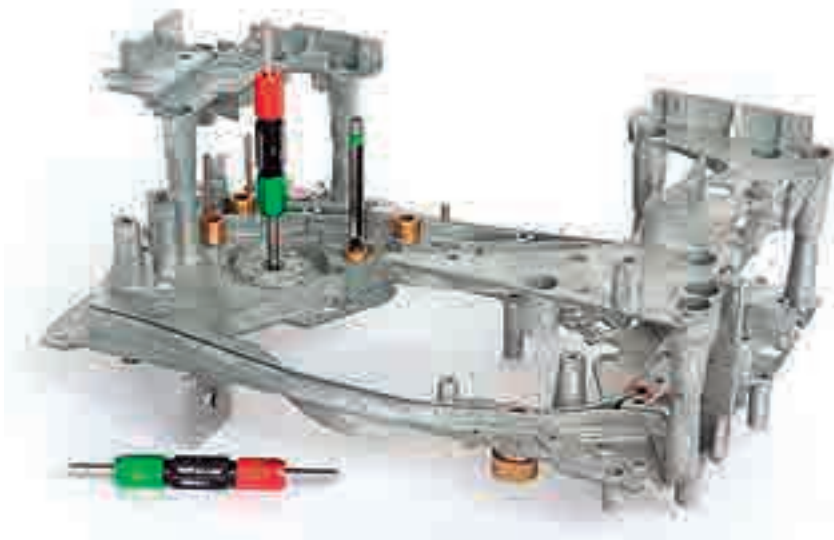


Figure 105 : Vérification de bagues au tampon après emmanchement

### 8.3.d. Résultats obtenus

La qualité d'emmanchement (perpendicularité, qualité dimensionnelle, alignement, ...) dépend directement de la précision de la pièce de fonderie, de l'insert et des moyens utilisés, tels que machines et montages de positionnement.

Le résultat sera d'autant plus satisfaisant que la pièce ne subira pas de différence de température trop importante lors de son utilisation (plages recommandées de 0 à 60°C).

Dans tous les cas, un dialogue et une analyse commune entre le concepteur et le fondeur est nécessaire pour optimiser le résultat.

## 8.4 Vissage

### 8.4.a. Assemblage par vis autotaraudeuses

L'assemblage de pièces en alliage de zinc entre elles ou avec des pièces d'autres matériaux est très souvent réalisé par vis autoforment (vis autotaraudeuses). Ces vis sont généralement en acier trempé, cémenté trempé ou inoxydable.

Les intérêts de cette technique sont :

- économie des opérations de taraudage et d'alésage, les avant trous étant obtenus de fonderie,
- absence de copeaux,
- opération de montage/démontage réalisable plusieurs fois sans aucune difficulté ni détérioration,
- différentes possibilités d'assemblage : manuel, par visseuse électrique ou pneumatique, alimentation automatique des vis par bols vibrants.

Avec des avant-trous bien adaptés, la résistance au desserrage des vis est plus fiable et la tenue à l'arrachement largement supérieure à celles des vis normalisées dans des trous taraudés. (Pour les avant-trous, voir tableau avant trou pour taraud à refoulement du chapitre « Taraudage et Filetage »).

De plus, lors d'assemblage à la visseuse, l'écart entre les couples de vissage et de foirage doit être maximum afin de pouvoir travailler en toute sécurité jusqu'au débrayage de la visseuse.

Rappel :

Un paramètre important permettant d'optimiser cet écart est le couple de taraudage proportionnel à l'élasticité du matériau.

Le couple de taraudage est fonction :

- de l'angle du filet,
- du rapport du diamètre du trou de vissage / au diamètre nominal de la vis (degré de recouvrement),
- du pas du filet,
- du matériau à visser.



Il existe différentes formes de vis (trilob, normale, ...). La figure 129 ci-après présente la forme qui tend à être la plus utilisée car donnant de très bons résultats.

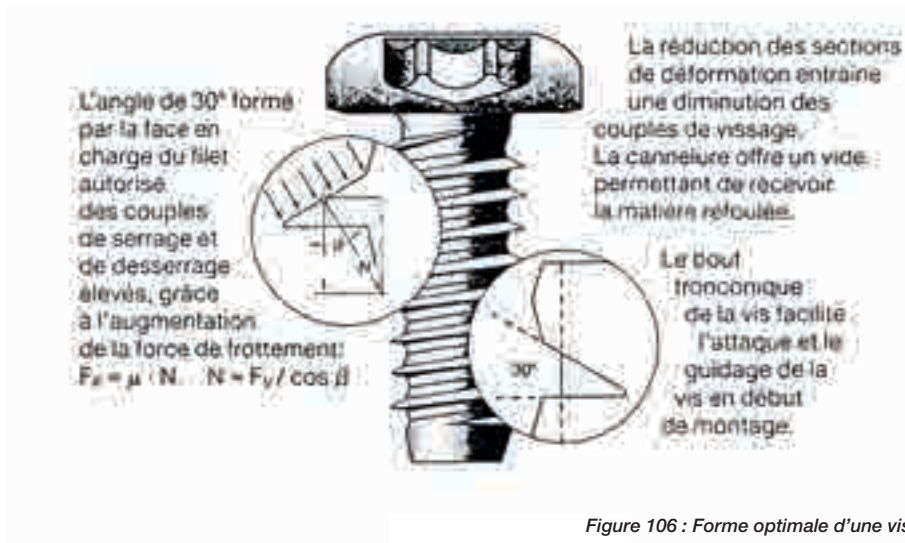


Figure 106 : Forme optimale d'une vis

La figure 107 présente différentes formes de têtes de vis possibles :

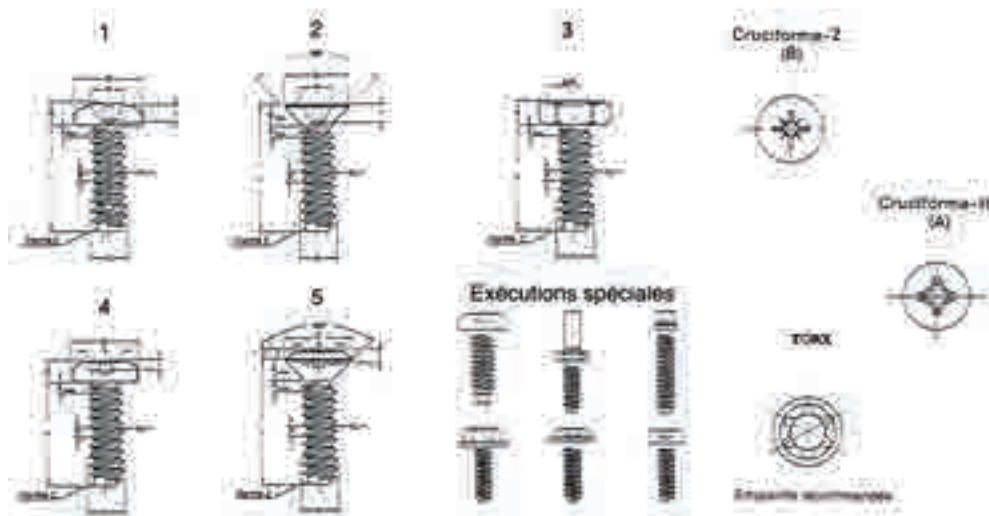


Figure 107 : Têtes de vis possibles

Type	ø Nominal		22	25	30	35	40	50	60	80	
1	ø Extérieur sur filet ø du noyau Pas Dégagement du filet	d1	2,2	2,5	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0	8,0	
		d2	1,59	1,81	2,18	2,56	2,93	3,68	4,42	5,91	
		P	0,71	0,77	0,86	0,95	1,04	1,23	1,42	1,79	
		Xmax	2,2	2,3	2,6	2,9	3,2	3,7	4,3	5,4	
	ø de la tête Hauteur de la tête	D	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0	16,0	
		K	1,6	2,0	2,4	2,7	3,1	3,8	4,6	6,0	
	A Cruciforme H Profondeur t	Largeur/Taille = m		2,5/1	2,7/1	3,1/1	4,2/2	4,6/2	5,3/2	6,8/3	9,0/4
			min.	1,10	1,30	1,70	1,74	2,04	2,77	3,03	4,18
			max.	1,40	1,60	2,00	2,24	2,54	3,27	3,53	4,68
		Cruciform Z Profondeur t	Largeur/Taille = m		2,4/1	2,6/1	3,0/1	4,0/2	4,3/2	5,0/2	6,7/3
min.				1,10	1,27	1,68	1,65	1,90	2,64	3,02	4,06
max.				1,35	1,52	1,93	2,11	2,36	3,10	3,48	4,52
2	ø de la tête Hauteur de la tête	D	3,8	4,7	5,6	6,5	7,5	9,2	11,0	14,5	
		Kmax	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,8	3,4	4,3	
	A Cruciform H	Largeur/Taille = m Profondeur t min. max.		2,35/1	2,7/1	2,9/1	3,9/2	4,4/2	4,6/2	6,6/3	8,7/4
				0,95	1,25	1,50	1,40	1,90	2,10	2,80	3,90
				1,25	1,55	1,80	1,90	2,40	2,60	3,30	4,40
	B Cruciform Z	Largeur/Taille = m min. max.		2,2/1	2,5/1	2,8/1	3,7/2	4,0/2	4,4/2	6,1/3	8,5/4
				0,92	1,22	1,48	1,34	1,60	2,05	2,46	3,86
				1,17	1,47	1,73	1,80	2,06	2,51	2,92	4,32
	3	Côte sur plats Hauteur de la tête	SW	4,0	5,0	5,5	6,0	7,0	8,0	10,0	13,0
			K	1,4	1,7	2,0	2,4	2,8	3,5	4,0	5,3
4	ø de la tête Hauteur de la tête	D	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	10,0	12,0	16,0	
		K	1,6	2,0	2,4	2,7	3,1	3,8	4,6	6,0	
		TORX®	T6	T8	T10	T15	T20	T25	T30	T40	
		A nominal	1,75	2,40	2,80	3,35	3,95	4,50	5,60	6,75	
		t min.	0,50	0,90	1,00	1,20	1,40	1,60	2,00	2,70	
		max.	0,74	1,10	1,30	1,50	1,80	2,00	2,40	3,20	
5	ø de la tête Hauteur de la tête	D	3,8	4,7	5,6	6,5	7,5	9,2	11,0	14,5	
		f=	0,5	0,6	0,75	0,9	1,0	1,25	1,5	2,0	
		Kmax.	1,1	1,5	1,7	2,0	2,3	2,7	3,3	4,2	
		TORX®	T6	T8	T10	T15	T20	T25	T30	T40	
		A nominal	1,75	2,40	2,80	3,35	3,95	4,50	5,60	6,75	
		tmin.	0,60	0,90	1,00	1,20	1,40	1,60	2,00	2,70	
		max.	0,80	1,10	1,30	1,50	1,80	2,00	2,40	3,20	

Tableau 24 : différentes dimensions des vis en fonction des diamètres nominaux.

Pour tous les matériaux, il y a dans le temps une diminution du couple de serrage initial. Les alliages de zinc ne sont pas étrangers à ce phénomène appelé « Torque Relaxation » en anglais.

Le couple résiduel est bien entendu fonction du couple de serrage initial mais aussi du nombre ou de la longueur de filets engagés, de la nuance de l'alliage dans lequel est réalisé le vissage, et aussi de la température d'utilisation de l'ensemble vissé.

Des études récentes réalisées par l'ILZRO (International Lead Zinc Research Organization) ont montré que :

- pour des groupes de données A (effet de la longueur engagée),
- pour des groupes de données B (effet du pas),
- pour une charge initiale de 6 kN, la cinétique de la « relaxation de couple » obéissait à une équation donnant la charge résiduelle du type :

$$L = A \times t - \alpha$$

où L est la charge résiduelle après un temps t, A et  $\alpha$  sont des constantes.

Plus la longueur d'engagement est importante, plus le couple résiduel est élevé. Plus le pas est important, plus le couple résiduel est élevé pour un matériau donné. Toutefois, la longueur d'engagement prédomine sur le pas pour cette influence.

Vous trouverez dans les tableaux 25 à 29 les valeurs servant à calculer la valeur L (sachant que la charge initiale est de 6 kN) en fonction des différentes longueurs, températures et des différents pas, alliages.

Dans le meilleur des cas, la charge résiduelle est de l'ordre des 2/3 de la charge initiale alors que le point bas est aux environs du 1/6 de la valeur initiale.

Cd, Sn, Te, Ni, Mn < 0,001 ; In < 0,0005 ; balance Zn

Alliage	Longueur d'engagement (mm)	A	$\alpha$
Zamak 3	10	9 360	0,271
Zamak 3	15	10 690	0,218
Zamak 3	20	9 520	0,193
Zamak 3	25	9 490	0,181
Zamak 5	10	12 990	0,239
Zamak 5	15	13 920	0,219
Zamak 5	20	9 740	0,165
Zamak 5	25	9 790	0,154
ZA8	10	13 460	0,237
ZA8	15	13 810	0,197
ZA8	20	8 740	0,143
ZA8	25	8 700	0,131

**Tableau 25 :**  
Valeur des constantes en fonction des différentes longueurs d'engagement (tests à 80°C)

Alliage	Longueur d'engagement (mm)	A	$\alpha$
Zamak 3	10	12 630	0,204
Zamak 3	15	9 210	0,121
Zamak 3	20	7 640	0,118
Zamak 3	25	7 520	0,092
Zamak 5	10	9 390	0,123
Zamak 5	15	7 640	0,072
Zamak 5	20	7 450	0,066
Zamak 5	25	7 030	0,072
ZA8	10	8 040	0,091
ZA8	15	7 260	0,054
ZA8	20	7 200	0,056
ZA8	25	6 810	0,056

**Tableau 26 :**  
Valeur des constantes en fonction des différentes longueurs d'engagement (tests à 50°C)

Alliage	Pas (mm)	A	$\alpha$
Zamak 3	0,75	8 910	0,241
Zamak 3	1,00	10 460	0,256
Zamak 3	1,25	10 960	0,262
Zamak 5	0,75	12 170	0,254
Zamak 5	1,00	15 910	0,255
Zamak 5	1,25	13 380	0,220
ZA8	0,75	14 250	0,243
ZA8	1,00	13 900	0,219
ZA8	1,25	14 120	0,212

Tableau 27 : Valeur des constantes en fonction des différents pas (tests à 80°C)

Alliage	Pas (mm)	A	$\alpha$
Zamak 3	0,75	12 240	0,182
Zamak 3	1,00	11 520	0,170
Zamak 3	1,25	9 430	0,134
Zamak 5	0,75	11 140	0,144
Zamak 5	1,00	8 730	0,100
Zamak 5	1,25	8 440	0,092
ZA8	0,75	9 140	0,104
ZA8	1,00	7 720	0,073
ZA8	1,25	7 250	0,063

Tableau 28 : Valeur des constantes en fonction des différents pas (tests à 50°C)

Alliage	Longueur d'engagement (mm)				Longueur de pas (mm)		
	10	15	20	25	0,75	1,00	1,25
80°C							
Zamak 3	812	1 475	1 645	1 812	1 020	1 030	1 018
Zamak 5	1 455	1 837	2 130	2 357	1 208	1 524	1 759
ZA 8	1 573	2 137	2 286	2 524	1 550	1 816	1 956
50°C							
Zamak 3	1 930	3 000	2 571	3 194	2 281	2 377	2 748
Zamak 5	2 958	3 888	4 023	3 590	2 892	3 411	3 546
ZA 8	3 424	4 366	4 241	4 028	3 414	3 887	3 966

Tableau 29 : Charge résiduelle (en N) après 150 heures en température/fonction des différentes longueurs d'engagement et de pas

## 8.5 Collage

### 8.5.a. Nature de l'opération

Le collage permet d'assembler des pièces en alliages de zinc entre elles et aussi avec d'autres matériaux.

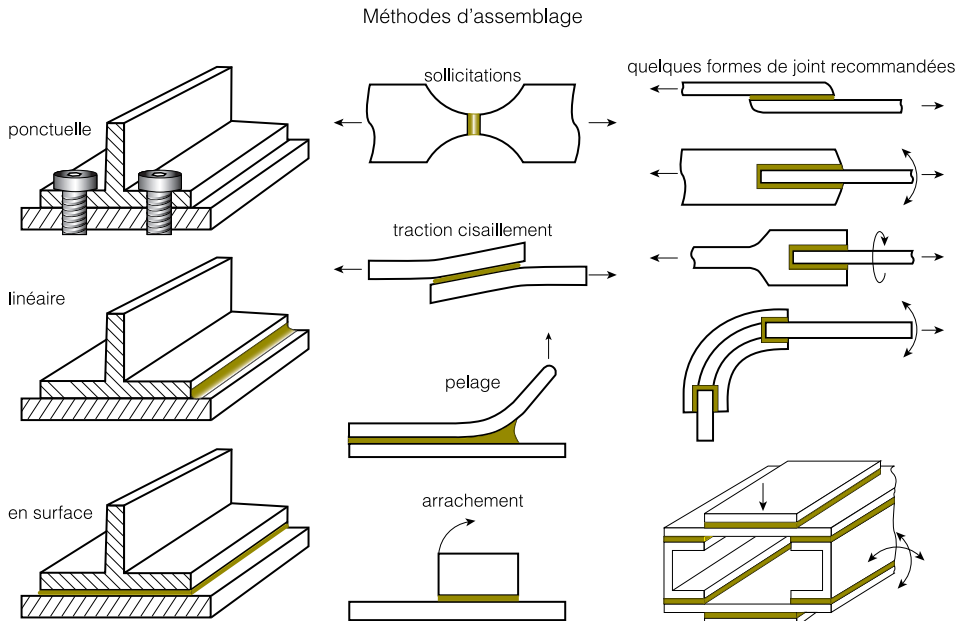


Figure n° 108 : exemples de liaisons selon différents types de contraintes

### 8.5.b. Méthode - Moyen - Outil

#### • L'assemblage par adhésion :

Ce mode d'assemblage repose, comme toute autre technique, sur des règles bien précises incontournables ; il est donc nécessaire de considérer les points particuliers :

- les matériaux et les états de surface,
- la polymérisation de l'adhésif,
- l'environnement de l'assemblage en fonctionnement (température, effort, vibration, vieillissement de la colle ...).

#### 1. La préparation des surfaces :

Les performances du collage et la constance des résultats sont liées à l'interface adhésif-substrat. La préparation a pour but d'enlever toute matière étrangère ou particule libre et, éventuellement, de modifier chimiquement ou physiquement cette surface.

La préparation de surface peut se faire par traitement physique (exemple : abrasion, sablage) ou par traitement chimique (exemple : super solvant sec, primaire, flammage).

## 2. Le choix de l'adhésif :

Selon les fournisseurs de colle, des tableaux de sélection peuvent donner une indication sur l'adhésif qui semble convenir à une application en fonction de certains critères importants.

D'autres paramètres peuvent modifier ce premier choix s'ils sont compatibles avec le résultat demandé : méthode d'application, de polymérisation, température limite, résistance aux solvants, ...

Avant toute mise en fabrication, des essais doivent être effectués pour cerner tous les problèmes pratiques et déterminer la fourchette des résultats pouvant être obtenus dans des conditions aussi proches que possible de la réalité.

## 3. Les conditions de fonctionnement :

Les conditions de collage, de traitement ou d'assemblage, de stockage et d'utilisation peuvent influencer le collage. Par exemple : passage en four de cuisson de peinture après assemblage par collage.



Figure n° 109 : Assemblage de 21 pierres par collage sur pièce dorée

### • Préparation des pièces Zamak devant être collées :

#### 1. Conception :

- il est important d'étudier avec précaution toutes les étapes et d'intégrer l'opération de collage dès le début de l'étude,
- prévoir des zones granitées (grain charmillés 36-39),
- des jeux réduits au maximum à 0,3 mm,
- des zones permettant de récupérer les excès de colle,
- tenir compte des surépaisseurs.

#### 2. Application :

Pour les pièces d'un autre matériau devant être assemblées sur du Zamak il convient de :

- dépolir, strier (dans le cas où l'état de surface des pièces est lisse),
- dégraisser,
- traiter les pièces avant collage.

### • Dépose des colles :

Il existe plusieurs solutions :

- manuelle,
- avec les seringues et busette auto mélangeuse,

- avec des appareils de dépose permettant de doser avec précision,
- montage spécifique avec tenue sous pression temporisée.

Remarque : Il ne faut pas oublier que les performances définitives s'obtiennent après 24 à 48 heures.

Dans tous les cas, le Zamak, brut ou décoré, se prête aisément à tout type de collage, mais chaque cas demande des essais ou des conseils auprès des fournisseurs de colle.

### 8.5.c. Domaines d'applications :

#### • *En mécanique et automobile,*

La fixation des emmanchements est réalisée avec des résines anaérobies de différentes résistances. Les jeux admis entre les composants sont de 0,10 à 0,15 mm.

L'étanchéité des plans de joint est réalisée avec des résines anaérobies pâteuses. Les jeux admis entre les composants sont de 0,15 à 0,50 mm.

Le freinage des vis ou écrous est réalisé avec du frein filet, de préférence faible ou normal, pour éviter la détérioration du filet au démontage. Les jeux admis entre les composants sont de 0,15 mm maximum.

#### • *En cosmétique :*

Pour les assemblage d'accessoires, miroir, pierre synthétique, verre, métal, sur pièces revêtues électrolytiquement, dorées, argentées, chromées (attention, cette dernière finition est délicate à coller), .etc. On utilisera des colles structurales (résines anaérobies, résines acryliques, résines époxy).

Les cyanoacrylates, du fait de leur agressivité et de leur émanation blanchâtre sur les revêtements dorés, ne seront choisis qu'en dernier lieu et cela après essai sur un échantillonnage représentatif.

#### • *Sur des pièces avec exigences alimentaires :*

Pour le collage du liège sur la pièce en Zamak on utilisera une colle thermofusible ou une colle araldite.

#### • *Décoration :*

On peut fixer des accessoires métalliques de salle de bains sur miroir avec des adhésifs double face en faible épaisseur 0,64 à 1 mm maximum.

#### • *Articles cadeaux :*

Pour la fixation d'embout métal sur barrette verre (porte-couteau) ; on emploiera des résines époxy ou élastomère silicone.

Pour la décoration sur verre on utilisera une colle UV ou époxy.

### 8.5.d. Résultats

#### • *Avantages :*

- o répartition uniforme des contraintes sur toute la surface collée,
- o excellente résistance au vieillissement et à la fatigue,
- o contact continu entre les surfaces,
- o élimination de tout risque de corrosion,
- o assemblage de matériaux différents,
- o pas de déformation des substrats et maintien de leur intégrité,
- o mise en oeuvre aisée,

- o bon esthétisme,
- o bonne tenue au brouillard salin suivant type de colle utilisé,
- o corrosion galvanique atténuée, voire supprimée,
- o rôle d'isolant du film de colle,
- o réduction des coûts d'assemblage.

• **Inconvénients :**

- o perte de la conductibilité électrique, sauf dans le cas de collage étudié spécialement pour l'application.

### 8.5.e. Différentes familles d'adhésifs :

• **Adhésifs phénoliques :**

- o vinyliques,
- o nitriles,
- o polychloroprènes.

• **Adhésifs acryliques :**

- o anaérobies,
- o cyanoacrylates,
- o acryliques modifiés,
- o durcissants sous rayonnement UV.

• **Adhésifs époxydiques**

• **Adhésifs polyuréthannes**

• **Adhésifs polyamides**

### 8.5.f. Contrôle qualité :

Le suivi de la qualité d'un assemblage par collage, en fabrication, passe par le contrôle des différentes étapes de celui-ci et des éléments intervenant dans ces assemblages :

1. L'adhésif, son stockage, sa préparation et sa mise en œuvre,
2. Les matériaux utilisés aussi bien ceux qui constituent les pièces que les agents de démoulage, les emballages, les solvants, ...
3. Les opérations effectuées sur les pièces à coller : moulage, usinage, préparation de surface,
4. Le dosage et la dépose de l'adhésif,
5. L'assemblage et le maintien des pièces pendant la polymérisation de l'adhésif,
6. Les conditions de polymérisation, selon l'adhésif utilisé,
7. Le contrôle des assemblages collés, par destruction d'échantillons, par essai non destructif sous effort limité, ou tout autre moyen compatible : radiographie, ultraviolets, thermographie, ...

## 8.6 Insert surmoulé

Le surmoulage d'insert métallique (goujons, axes, douilles, écrous, ...) placé dans le moule avant l'injection permet :

- L'amélioration localisée de la résistance, de la dureté, des qualités



de frottement, des caractéristiques électriques ou magnétiques...

- D'ajouter des formes complémentaires.
- De réaliser un assemblage avec une meilleure tenue aux contraintes mécaniques.

La tenue de l'élément inséré dans la pièce est assurée par le retrait du métal moulé au cours de son refroidissement. Il est toutefois souvent nécessaire de prévoir des rainures, des gorges ou des moletages pour garantir une meilleure immobilisation en rotation et/ou en translation. L'épaisseur de métal autour de l'insert doit être suffisante pour assurer une bonne tenue et éviter le criquage.

La mise en place d'inserts dans un moule chaud et dans des zones d'empreintes qui ne sont pas toujours facilement accessibles ralentit la cadence de moulage. Dans le cas de grandes séries, on peut envisager des systèmes d'acheminement automatique des inserts.

Si le jeu entre l'insertion et son logement est trop grand, le métal injecté sous haute pression s'infiltré autour de l'insertion, risquant de la rendre ainsi inutilisable. On recommande des jeux de l'ordre de 0,02 à 0,04 mm, pour cette raison la mise en place des inserts dans le moule est délicate et nécessite une mise au point.



*Figure n° 110 : Exemples de pièces avec inserts surmoulés et lou surmoulées en plastique*

Dans le cas de goujons filetés (Fig. 136), il est indispensable que le filetage soit arrêté avant la surface de la pièce afin d'éviter que le métal ne pénètre dans les filets.

Si l'insertion doit par exemple affleurer la surface de la pièce, le jeu sur la longueur de l'insertion sera inférieur à 0,02 mm.

L'insert doit être exempt de bavures, tétons de décolletage, etc. et comporter un chanfrein d'entrée pour faciliter la mise en place dans le moule.

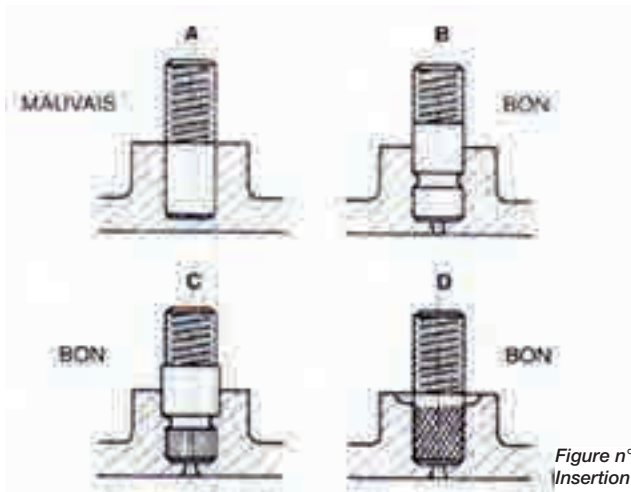


Figure n° 111 :  
Insertion d'un goujon fileté

#### • Restriction sur le matériau à utiliser

Les inserts réalisés dans un matériau différent du zamak, peuvent provoquer une attaque par corrosion électrochimique.

Les éléments insérés, protégés par un revêtement de cadmium, de plomb ou d'étain, peuvent diffuser à l'intérieur des pièces en Zamak et provoquer une pollution liée à la présence de ces impuretés dans les alliages de zinc.

Les pièces en zamak avec inserts nécessitent un recyclage spécifique (C'est par exemple le cas du laiton qui contient généralement 2 % de plomb).

## 8.7 Surmoulage sur pièces en alliages de zinc

Le surmoulage d'alliages de zinc par des thermoplastiques est une opération devenue courante pour des domaines d'applications divers :

- freinage,
- limitation des bruits,
- limitation des vibrations parasites,
- décoration,
- résistance aux intempéries.

La mise en place automatique de la pièce Zamak dans le moule d'injection des thermoplastiques nécessite une précision dimensionnelle élevée et doit faire l'objet d'une collaboration entre le fondeur et le transformateur plastique.



Figure 112 :  
Corps de visseuse  
automatique à  
air comprimé

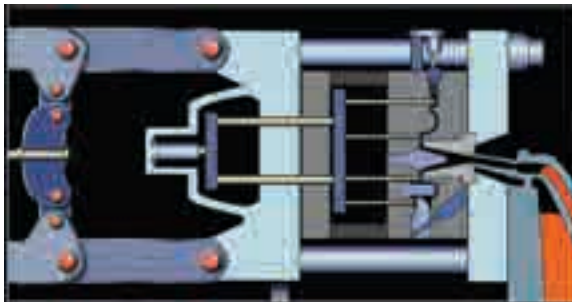
## 9.1 Mise en œuvre des alliages de zinc

La mise en œuvre des alliages de zinc est réalisable avec tous les procédés de moulage : sous-pression, coquille, sable. L'importance des séries, le degré de finition, de compacité, de précision dimensionnelle conditionnent très souvent le choix du type de technologie.

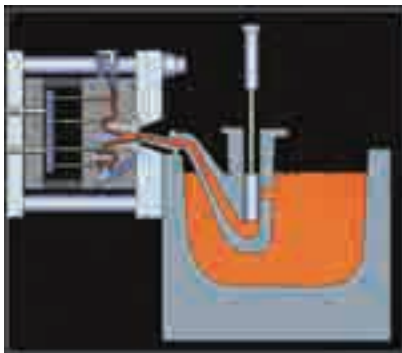
### 9.1.a. Le moulage sous-pression

Le procédé d'injection sous-pression d'un métal à l'état liquide permet la production de pièces minces aux formes les plus complexes avec des tolérances dimensionnelles très serrées.

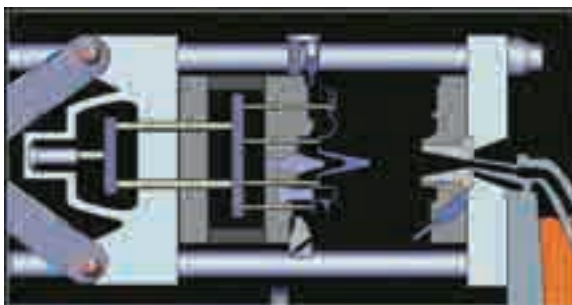
Le principe de la fonderie sous-pression en chambre chaude est le plus répandu de par ses avantages technico-économiques :



1- Fermeture du moule



2 - Injection de l'alliage



3 - Ejection de la pièce

Figure n° 113 :  
Principe de  
fonctionnement d'une  
machine à chambre  
chaude

Le creuset est attaché au groupe fermeture du moule. L'ensemble gooseneck et piston est immergé dans le bain de métal liquide (Fig. 139-1).

L'alliage est conduit jusqu'aux empreintes au travers du gooseneck, de la buse machine et des canaux d'alimentation du moule (Fig. 139-2).

La pièce est éjectée du moule (Fig. 139-3). Le piston revient en position haute, l'orifice du gooseneck est libéré et la chambre d'injection se remplit automatiquement du métal fondu. La machine est alors prête pour l'injection suivante.

Les cadences de production sur machines conventionnelles à chambre chaude sont élevées et peuvent avoisiner 1000 injections par heure pour des pièces minces et de faibles dimensions.

Le groupe fermeture qui assure les mouvements du moule est généralement mû par un système de genouillères.

Les colonnes de guidage, au nombre de 4, garantissent le maintien du moule en position fermée lorsque le piston applique au métal la pression d'injection pouvant varier de 100 à 300 bars.

Les presses à injecter sont caractérisées par leur force de fermeture. La force de fermeture est en réalité la résistance qu'offre la machine aux efforts d'injection tendant à ouvrir le moule.

Lorsque la machine est fermée, la pression d'injection est transmise aux colonnes de la machine. La force de fermeture est donc la tension maximum admissible avant qu'il y ait déformation élastique des colonnes au moment de l'injection.

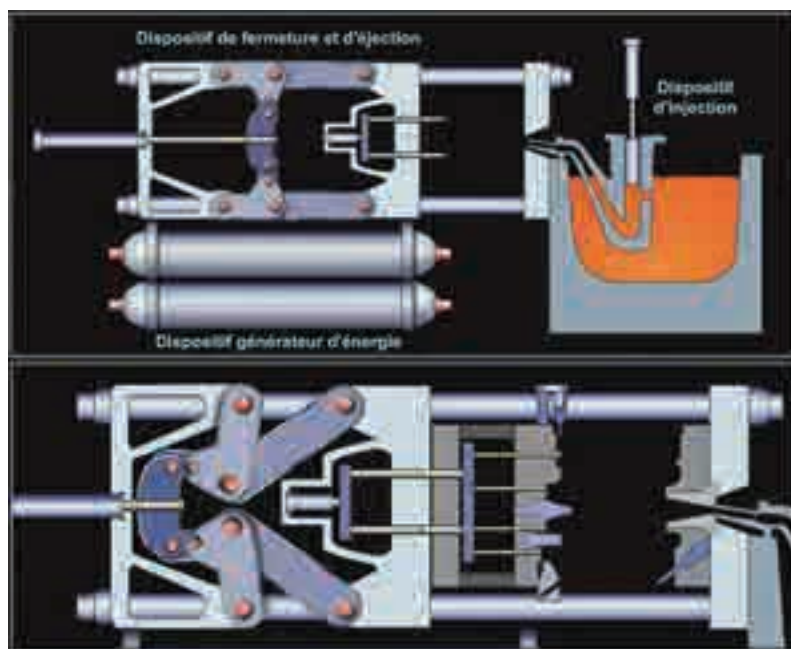


Figure n° 114 : Description d'une machine d'injection sous pression

Les paramètres liés à la surface projetée au niveau du plan de joint du moule, ainsi que son encombrement, justifient le choix d'une machine de force de fermeture donnée. Le parc machine française est constitué de presses dont la force de fermeture est comprise entre 5 et 500 tonnes.

Des familles de petites presses à injecter offrent des cadences de production élevées. Des pièces de poids inférieur au gramme sont moulées avec de grandes précisions. Comme sur les autres familles de presses, les moules peuvent comporter une ou plusieurs empreintes avec plusieurs tiroirs.

### 9.1.b. Le moulage en coquille par gravité :

Les Zamak et les alliages ZA peuvent être moulés en coquille, et ce pour de petites et moyennes séries. Les caractéristiques dimensionnelles et de résistance à la traction sont supérieures à celles obtenues en moulage au sable, mais inférieures à celles obtenues en moulage sous pression.

### 9.1.c. Le moulage au sable :

Il est principalement utilisé pour les Kayem, ZL12 et ZL27 pour la réalisation de pièces unitaires, de petites séries ou de pièces de dimensions importantes, sans contraintes de résistance mécanique et avec des états de surface comparables à la granulométrie du sable utilisé.

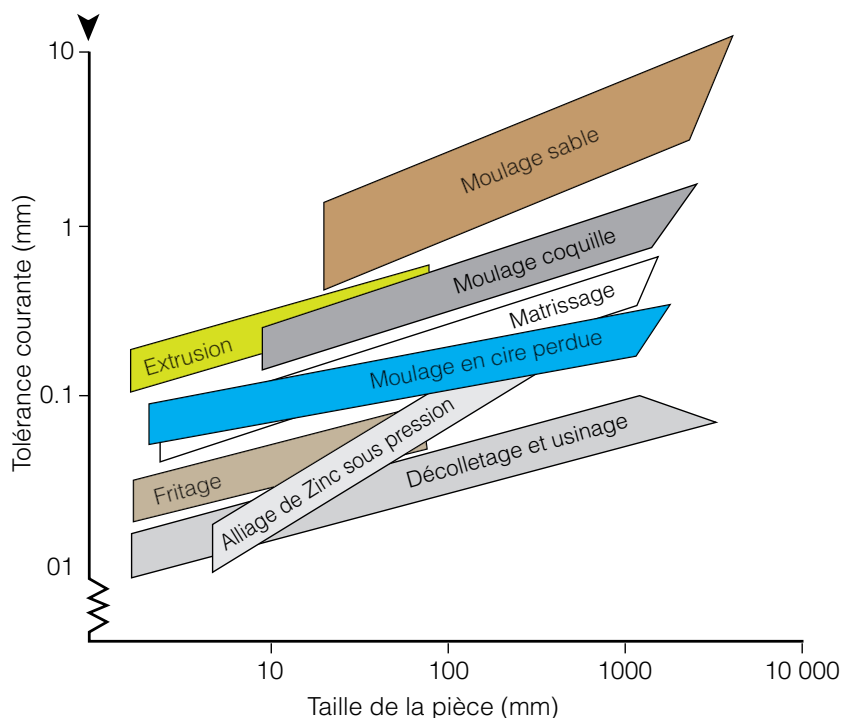


Figure n° 115 : Comparaison des tolérances usuelles des différentes technologies utilisées pour la transformation des métaux.



# Conclusion

## « Zinc Fonderie France »

Zinc Fonderie, créée en 1978, est devenu Zinc Fonderie France en 2006 par décision de son assemblée générale.

Cette association est composée d'adhérents appartenant à la filière de transformation du ZINC de la mine au recyclage : les producteurs de matière première, les fabricants de presses, les équipementiers industriels et bien naturellement les fondeurs.

Zinc Fonderie France a pour rôle essentiel de promouvoir les alliages de zinc et leurs applications et s'emploie à faire connaître ce que proposent les technologies d'injection aux multiples facettes.

Nombre de concepteurs doivent encore être informés et formés aux nombreuses possibilités offertes par le matériau, par les compétences des professionnels des métiers du Zinc et par leurs équipements.

Pour les aspects environnementaux, les designers de pièces, d'ensembles ou de sous ensembles peuvent s'appuyer sur les membres de l'Association que ce soit pour la co-conception ou pour l'éco conception, leur travail quotidien.

Cette préoccupation du partage des connaissances se décline en différentes actions :

- Création de documents numériques d'aide à la connaissance du matériau et à la conception de pièces.
- Participation de Zinc Fonderie France et ses adhérents à différents salons,
- Interventions dans les écoles,
- Création d'un film sur les métiers du Zinc et sa diffusion,
- Création d'un livre technique sur les alliages de zinc avec des exemples concrets,
- Elaboration de fiches techniques et d'exemples de pièces réalisées,
- Formations lors des séminaires « Zincentive »,
- Promotions et diffusion d'informations sur le site Internet de l'Association ([www.zinc-fonderie.com](http://www.zinc-fonderie.com)),
- Etc.

C'est dans cette logique et stratégie que les membres de l'Association Zinc Fonderie France ont écrit cet ouvrage.

*Le président de Zinc Fonderie France*  
**Jacques Despeyroux**

Cet ouvrage a été réalisé par  
**Spirale**

Achévé d'imprimer en Août 2009  
**sur les presses de Spirale - Istres - France - Imprimeur labellisé Imprim'vert**



L'ouvrage a été imprimé sur papier bénéficiant  
de la certification internationale de gestion durable des forêts.



Dépôt légal Septembre 2009

I.S.B.N. : 978-2-71-190232-3