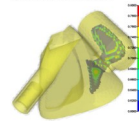


Moulage - Conception



mercredi 19 mai 2021

U4 ETUDE DE PREINDUSTRIALISATION / COMPETENCES :

- C01. Proposer et argumenter des modifications de la pièce liées aux difficultés techniques et aux surcoûts de production.
- C03. Pour chacun des procédés visés, proposer un processus prévisionnel et des principes d'outillages associés.
- C04. Valider le choix du couple matériau - procédé d'élaboration au regard de la géométrie et des spécifications de la pièce à produire.
- C05. Spécifier les moyens de production nécessaires (machines-outils, outils, outillages...).
- C06. Établir les documents destinés aux partenaires co-traitants et sous-traitants.

. BO ou Référentiel : BTS IPM 2005

SAVOIRS / Niveau 2 : Expression

S7.1 Élaboration des pièces métalliques semi-ouvrées

- Principe physique associé au procédé.
- Principe des outillages.
- Limites et performances (matériaux, formes et précisions réalisables).
- Incidences sur le matériau et sur les procédés de transformations ultérieurs.
- Notion sur les coûts.

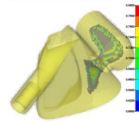
Pour les procédés suivants :

- moulage en moules non permanents et permanents ;
- déformation plastique : laminage, forgeage, estampage, matriçage, extrusion... ;
- déformation plastique des tôles : pliage, emboutissage... ;
- découpage, découpage fin, oxycoupage, découpage au jet d'eau haute pression, découpage au laser.

- **Enumérer les règles de tracé des pièces moulées et de conception d'un moule**

Objectif Opérationnel

Moulage - Conception



mercredi 19 mai 2021

- . **SITUATION** : Classe de Première Année de BTS IPM
- . **PREREQUIS** : - Le moulage en sable
- . **DONNEES DU PROBLEME, CONDITIONS DE REALISATION** :
 - **DUREE** : 2 Heures
- . **TRAVAIL DEMANDE** :
 - Citer les propriétés mises en jeu lors de la réalisation d'une pièce de fonderie
 - Lister les principaux défauts des pièces moulées
 - Enoncer les règles de conception d'un moule
 - Enoncer les règles de tracé des pièces

PLAN ET DEROULEMENT DE L'ACTIVITE :

. **METHODE** :

- **ACTIVITE** (de Groupe, d'Equipe, Individuelle) : - Cours + TD

. **MOYENS DIDACTIQUES** :

- | | |
|--------------------------|---|
| - DOCUMENTS : | - Poly Cours + 2 dossiers Annexes (Tracé et tolérances) |
| - AUDIO-VISUELS : | - Vidéos / Diaporamas et Animations |
| - AUTRES : | - Exemple de pièces moulées |
| - BIBLIOGRAPHIE : | - Memotech : Procédés de mise en forme des matériaux |
| | - Memotech : Génie des matériaux |
| - LIENS : | - http://www.angers.ensam.fr/ressources/Fonderie2005/pages/page_regles_conc_non_per.htm |
| | - http://www.ac-poitiers.fr/cmvp/cmvp/Fonderie/ |
| | - http://fr.wikipedia.org/wiki/Fonderie_d'aluminium#Choix_d.27un_tel_type_de_fonderie |
| | - http://bibli.ec-lyon.fr/prodSci/theses/Kelleuch/these_back.html |
| | - http://www.angers.ensam.fr/ressources/Fonderie2006/pages/page_alliages_alu.htm |

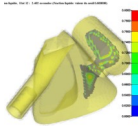
EVALUATION DE L'ACTIVITE :

☐

. *Evaluation Formative*

☐

. *Evaluation Sommative*



Moulage - Conception

Page 1/10

1 PROPRIETES PHYSIQUES DES MATERIAUX

1.1 Fusibilité

La **fusibilité** est la propriété de passer de l'état solide à l'état liquide sous l'action de la chaleur.

1.2 Moulabilité

La **moulabilité** est l'aptitude d'un matériau à l'état liquide à être coulé dans des empreintes (moule) en vue d'obtenir des pièces brutes de forme plus ou moins complexe. Elle est directement liée à la coulabilité.

1.3 Coulabilité

La **coulabilité** est l'aptitude d'un matériau fondu à bien remplir le moule et à reproduire fidèlement son empreinte. Si la coulabilité est trop faible il peut y avoir des trous dans le remplissage (surtout dans les sections de faible dimension).

L'augmentation de température augmente la coulabilité de tous les métaux et alliages métalliques. Par contre, les inclusions non métalliques dans un alliage diminuent sa coulabilité.

Nom	Symbole	Densité	Point de fusion en °C
Aluminium	Al	2,7	660
Plomb	Pb	11.34	327
Cadmium	Cd	8.64	321
Chrome	Cr	7.14	1857
Fer	Fe	7.87	1535
Or	Au	19.32	1064
Zinc	Zn	7.14	420
Cuivre	Cu	8.92	1083
Nickel	Ni	8.91	1453
Platine	Pt	21.45	1772
Mercure	Hg	13.55	- 39
Argent	Ag	10.49	962
Titane	Ti	4.5	1690
Etain	Sn	7.29	232

1.4 Dilatibilité

La **dilatibilité** exprime la variation de volume que subit un matériau sous l'influence de la température.

Si V est le volume du solide à la température T °C et V_0 le volume à 0 °C, on a la relation suivante pour la dilatation volumique :

$$V = V_0(1 + kT)$$

k est le coefficient de dilatation cubique et la quantité $(1 + kT)$ s'appelle le binôme de dilatation cubique. Si on exprime T en °C, k s'exprime alors en °C⁻¹.

De même pour une plaque, la dilatation se fait surtout sentir suivant sa surface. On a :

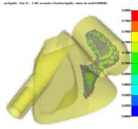
$$S = S_0(1 + \sigma T)$$

σ étant le coefficient de dilatation surfacique moyen.

Pour une tige, la dilatation linéaire est importante. Elle obéit à la loi :

$$l = l_0(1 + \lambda T)$$

λ étant le coefficient de dilatation linéaire et $(1 + \lambda T)$ le binôme de dilatation linéaire. λ n'est qu'une valeur moyenne entre les températures 0 °C et T °C.



Moulage - Conception

Page 2/10

Corps	λ	Corps	λ
Plomb	$2,95.10^{-5}$	Laiton	$1,85.10^{-5}$
Zinc	$2,90.10^{-5}$	Invar	$1,00.10^{-6}$
Aluminium	$2,33.10^{-5}$	Verre	$7,00.10^{-6}$
Cuivre	$1,70.10^{-5}$	Pyrex	$3,00.10^{-6}$
Fer	$1,22.10^{-5}$	Quartz	$5,50.10^{-7}$

Pratiquement, le coefficient de dilatation cubique est égal à trois fois le coefficient de dilatation linéaire ($k = 3\lambda$), le coefficient de dilatation surfacique valant 2λ .

- **Exemple 1** : Une tige de Zinc mesure 2 mètres de longueur à 30°C . Combien mesure-t-elle à 800° ?
- **Exemple 2** : Un rond d'aluminium de diamètre 10 mm et de longueur 1 m à 0° est placé à 90°C . Calculer sa longueur et sa variation de volume.
- **Exemple 3** : Quand on chauffe un solide, son volume augmente mais sa masse reste constante. Sa masse volumique μ va donc diminuer quand la température s'élève. A 0°C et à $T^\circ \text{C}$, on a :

$$\mu_0 = \frac{M}{V_0} \quad \text{et} \quad \mu = \frac{M}{V}$$

d'où :

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \frac{V_0}{V}$$

$$\mu = \frac{\mu_0}{1 + kT}$$

La masse volumique du mercure est égale à 13600 kg.m^{-3} à 0°C . Sa dilatabilité est égale à 172.10^{-6}

1.5 Criquabilité

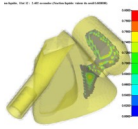
La **criquabilité** est l'aptitude d'un alliage à donner des criques au cours de la solidification.

2 Autres Caractéristiques

2.1 Compacité

La compacité peut être évaluée par la masse volumique, elle est d'autant meilleure que l'on se rapproche de la masse volumique théorique de l'alliage.

La compacité est liée aux deux facteurs principaux suivants:



Moulage - Conception

Page 3/10

- **La retassure** : la solidification des alliages d'aluminium s'effectue avec une contraction volumique de 6 à 11 % selon les alliages. Pour éviter l'apparition des défauts de retassure, la solidification doit être orientée et le masselottage doit être réalisé convenablement. Selon les alliages, la retassure peut être:

concentrée: retassure- cavité,

dispersée: micro retassure.

- **Le gazage** : à l'état liquide, l'aluminium est capable de dissoudre une certaine quantité d'hydrogène, provenant de la réduction de la vapeur d'eau, alors que cette quantité est beaucoup plus faible à l'état solide. Il se forme alors des porosités régulièrement réparties au cours de la solidification. Il faut donc éliminer l'hydrogène dissous du métal liquide - opération de dégazage. Cette opération est d'autant plus nécessaire que le refroidissement est lent. Certains éléments modificateurs, comme le sodium et le strontium, favorisent l'apparition de ces porosités.

2.2 Inclusions

Elles sont principalement constituées par des oxydes formés lors de la fusion des alliages. Sur le métal liquide, il se forme une couche d'aluminium protectrice, mais cette couche peut être modifiée par certains éléments, comme le magnésium ou le sodium, qui la rendent alors moins protectrice.

Au cours des manipulations, lors de la coulée, cette peau d'alumine peut se briser et être entraînée dans la pièce. La présence de peau d'oxyde constitue une discontinuité très défavorable aux caractéristiques mécaniques. Les oxydes doivent donc être évités par un traitement de désoxydation approprié du bain de métal, et en se gardant de toute turbulence lors de la coulée du métal dans le moule.

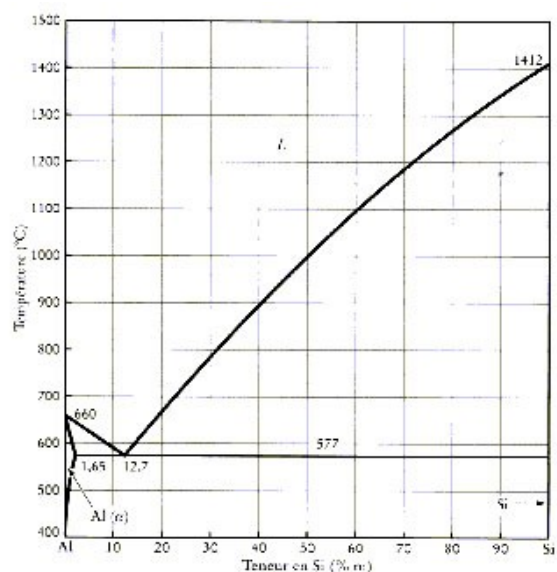
2.3 Influence des éléments d'alliage

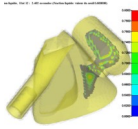
Les principaux éléments d'alliage sont le silicium, le cuivre, le magnésium et le zinc.

Nota : Les informations de ce paragraphe sont limitées au cas de l'alliage Aluminium / Silicium

Diagramme d'équilibre Al-Si.

L'aluminium et le silicium forment un eutectique à 13% environ de silicium



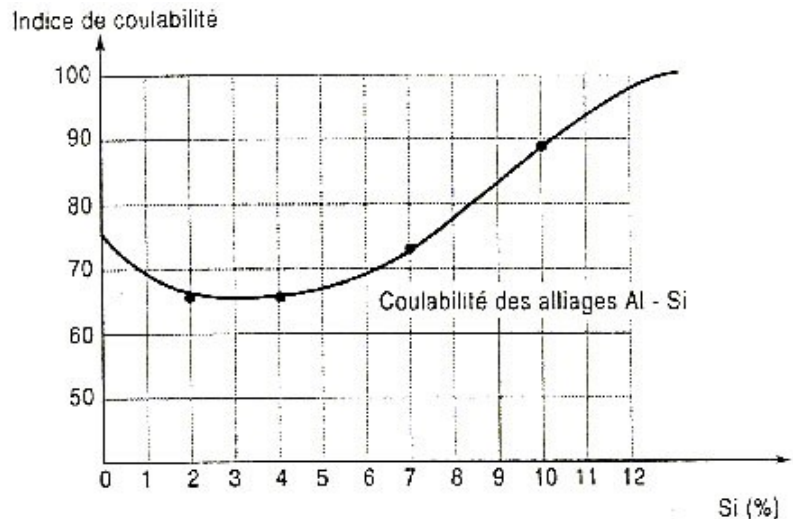


Moulage - Conception

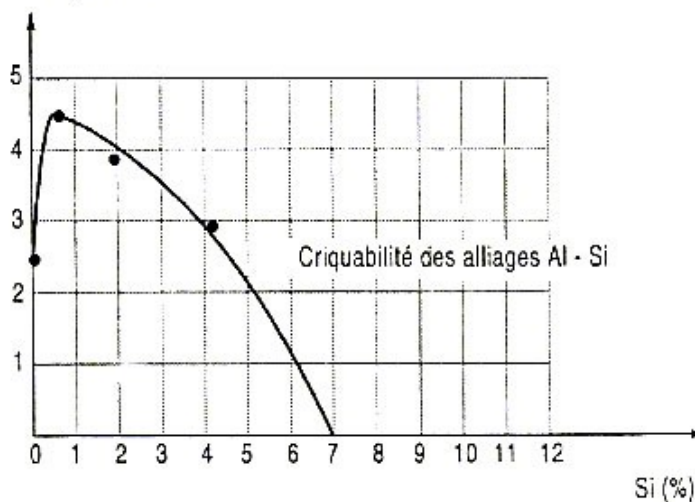
Page 4/10

L'augmentation de la teneur en silicium conduit aux propriétés suivantes :

- une amélioration de la coulabilité

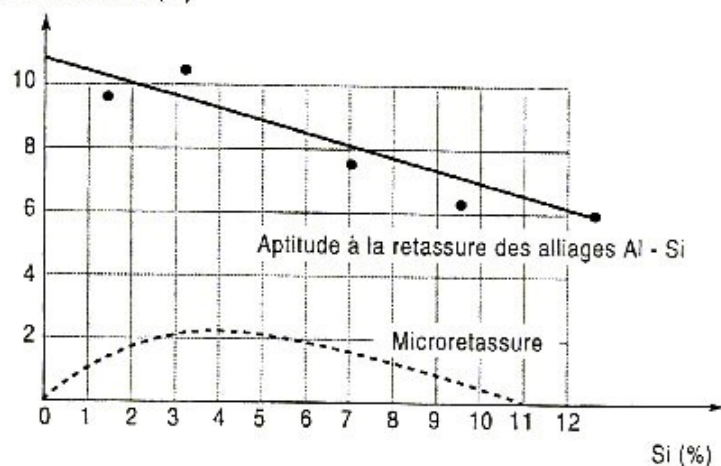


Indice de criquabilité

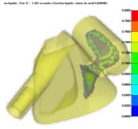


- une diminution de la criquabilité qui devient nulle, à partir de 7 % de silicium

Contraction volumétrique au refroidissement (%)



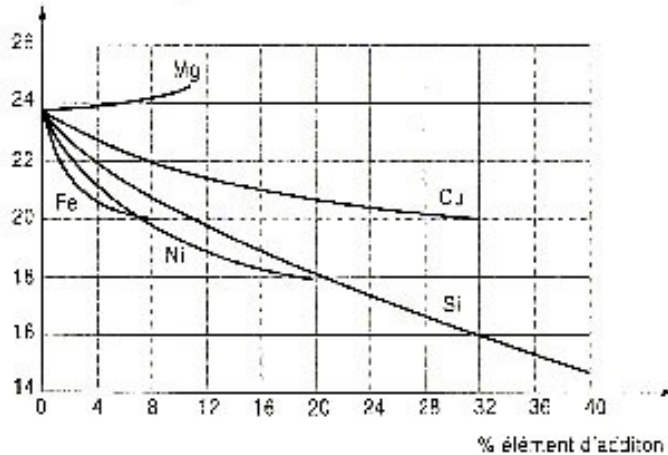
- une diminution de la contraction volumétrique à la solidification (le silicium augmente en effet de 12 % en volume en se solidifiant)



Moulage - Conception

Page 5/10

Coefficient de dilatation thermique
entre 20 et 100 °C : $\beta \times 10^{-6}$



- le coefficient de dilatation diminue avec la teneur en silicium

Et enfin,

- La charge de rupture, la limite d'élasticité et la dureté augmentent un peu avec la teneur en silicium, alors que l'allongement diminue. L'alliage devient fragile à partir de la teneur eutectique.
- L'usinabilité est bonne jusqu'à 7%; moyenne de 7 à 13% et difficile au-delà de 13 %.
- Le silicium n'altère pas sensiblement la tenue à la corrosion de l'aluminium.
- Les alliages aluminium-silicium se protègent par anodisation. L'anodisation de décoration n'est possible qu'en dessous de 4 % de silicium, au-delà, les couches sont grises.

3 Les principaux défauts rencontrés en moulage

3.1 La retassure

La **retassure** est une cavité ouverte ou fermée, unique ou plus ou moins dispersée, localisée dans les zones se solidifiant en dernier lieu

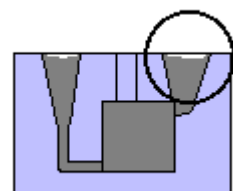
La cause principale est la contraction de volume subie par le métal :

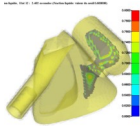
- A l'état liquide, dans le moule, jusqu'au début de la solidification
- En passant de l'état liquide à l'état solide

Des causes accessoires peuvent également agir sur l'importance, l'aspect et la localisation du défaut. Ce sont :

- Les gaz dégagés par le moule et la pression atmosphérique
- L'effet, sur les parties en solidification, du retrait solide de parties déjà solidifiées (Criques de retassure)
- Les dégagements gazeux au sein du métal liquide (retassures dispersées)
- Les déformations du moule sous l'effet de la dilatation ou sous l'effet de la pression du métal

Exemple de retassure, située au milieu de la surface supérieure de chaque coulée et due à la baisse de volume du métal lors de la solidification





Moulage - Conception

Page 6/10

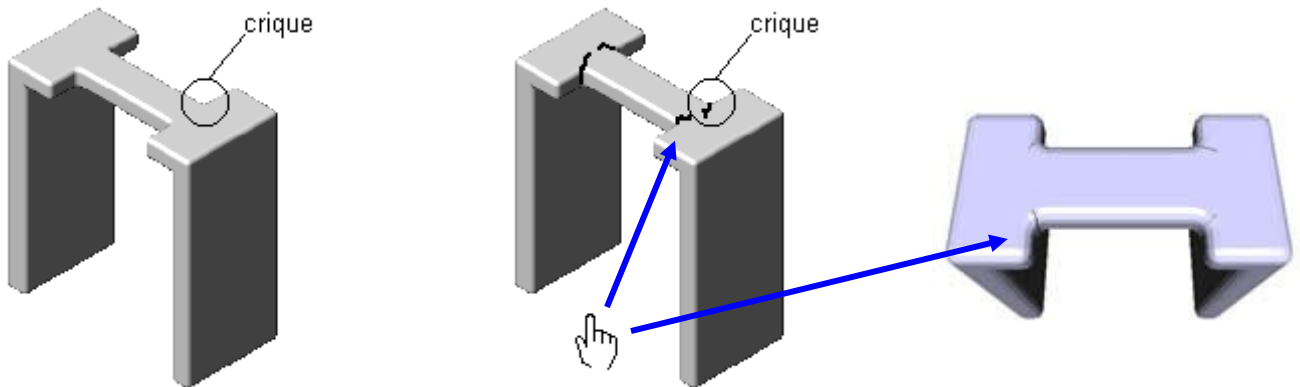
Cas particulier des fontes grises et GS

La contraction de solidification se manifeste pour tous les alliages de fonderie. Toutefois, dans le cas des fontes grises et GS, la formation de graphite « eutectique » compense l'effet des contractions pour donner en fin de compte :

- Une contraction réduite
- Une absence de contraction
- Un gonflement

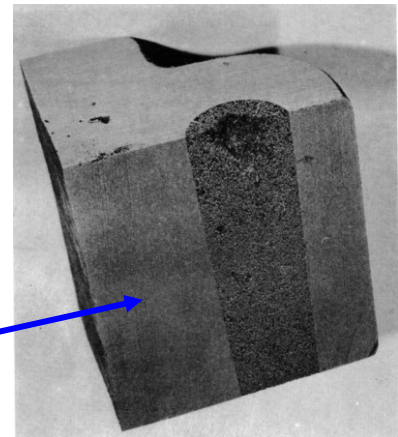
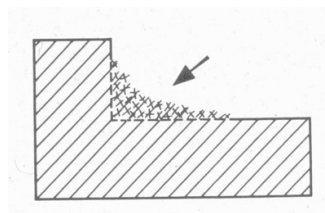
3.2 Les criques

Les **criques** résultent de la discontinuité de la matière (refroidissement hétérogène du fait des différences d'épaisseurs entraînant des différences de température et de contraction), et se présentent sous la forme d'une fente longiligne de profil irrégulier, provoquée par une coulée trop lente ou trop froide.



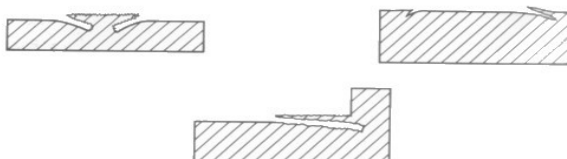
3.3 L'abreuvage

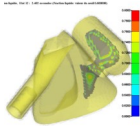
L'**abreuvage** est une excroissance de surface, constituée par un mélange de sable et de métal, provenant de la pénétration du métal liquide dans le moule de sable dont la densité est insuffisante.



3.4 La gale

La **gale** est une excroissance métallique irrégulière d'une épaisseur de quelques millimètres, liée à la formation de zones de condensation lors du moulage.



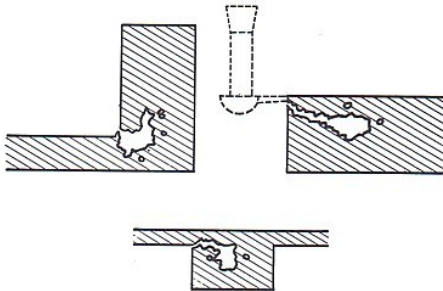


Moulage - Conception

Page 7/10

3.5 La soufflure

Les **soufflures** sont des cavités causées par des dégagements gazeux produits dans les pièces moulées au moment de la solidification



3.6 Autres défauts

- La **goutte froide**, qui est due à un moule trop froid ou mal huilé, forme un trou dans le métal. Ce défaut se produit lorsque une goutte s'accroche à la paroi lors de la coulée et se solidifie avant le reste de la coulée.
- Les **crasses** sont des impuretés non métalliques provenant du récipient qui sert à verser le métal en fusion.
- Les **gerces** sont des plis saillants irréguliers dus à un soulèvement du moule
- Les **piqûres** forment de petites cavités circulaires dues à des occlusions gazeuses.
- Le **défoncement** correspond à un gonflement de la surface de la pièce provoqué par une déformation du moule sous la poussée du métal liquide.

4 Règles de conception d'un moule

4.1 Plan de joint

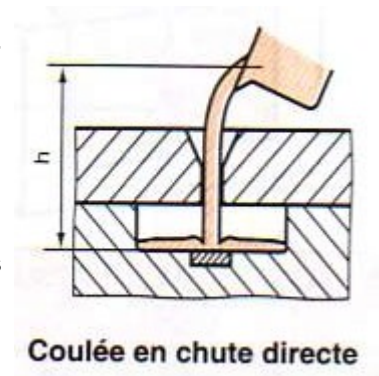
Il est choisi en fonction des formes des pièces : Il doit tenir compte :

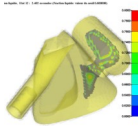
- Du remplissage de l'empreinte
- Des masselottes
- Du démoulage de la pièce (moulage permanent) ou du modèle (non permanent)

4.2 Alimentation des moules

Il existe 3 types de coulées :

4.2.1 Par le haut (en tête, à chute directe) : elle s'adresse aux pièces de faible hauteur et favorise la solidification correcte du métal.

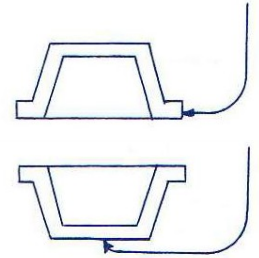




Moulage - Conception

Page 8/10

4.2.2 Par le côté (latérale) : Elle est destinée aux pièces de hauteur moyenne et permet le remplissage correct de l'empreinte



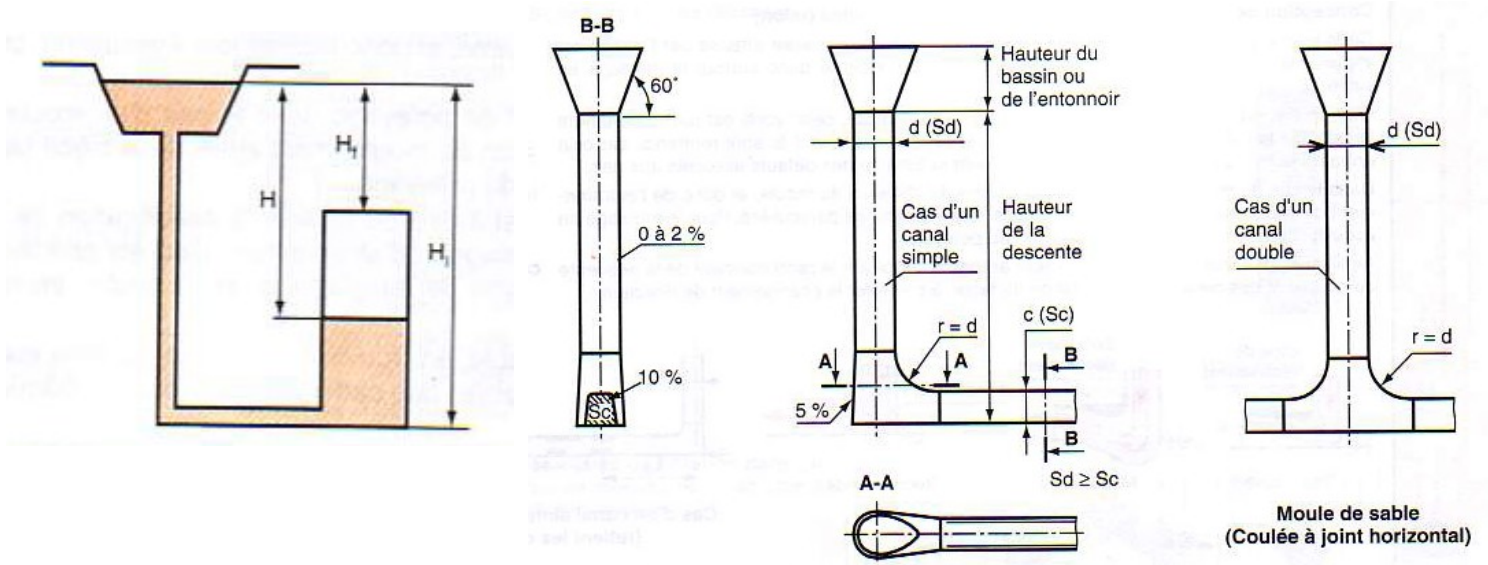
4.2.3 Par le bas (en source) : Elle est destinée aux pièces comportant un noyau en sable. La remontée du métal dans l'empreinte favorise l'évacuation de l'air

4.3 L'entonnoir de coulée

Il doit être dimensionné de façon à permettre le remplissage rapide du moule tout en évitant les turbulences lors de la coulée. Il doit également empêcher les débordements.

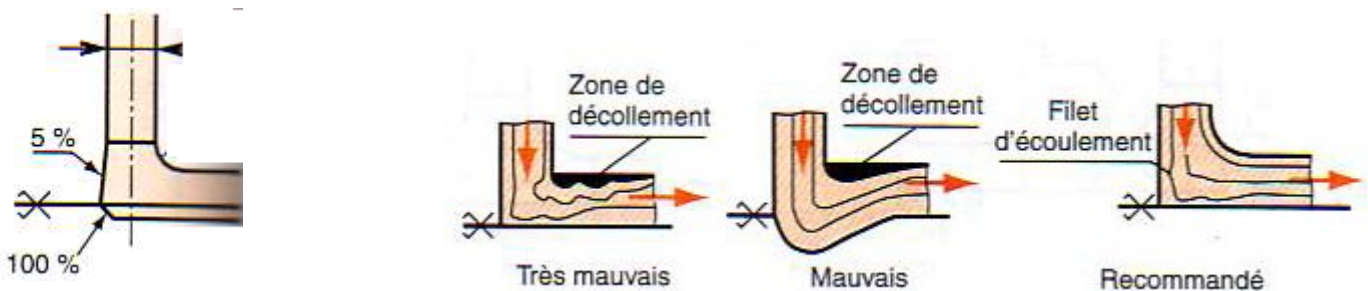
4.4 La descente de coulée

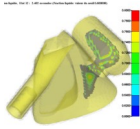
Plus la hauteur de la descente est importante, plus le débit de l'alliage sera important et plus ce dernier aura la capacité à remplir l'empreinte (Mise en pression)



4.5 Le canal de coulée

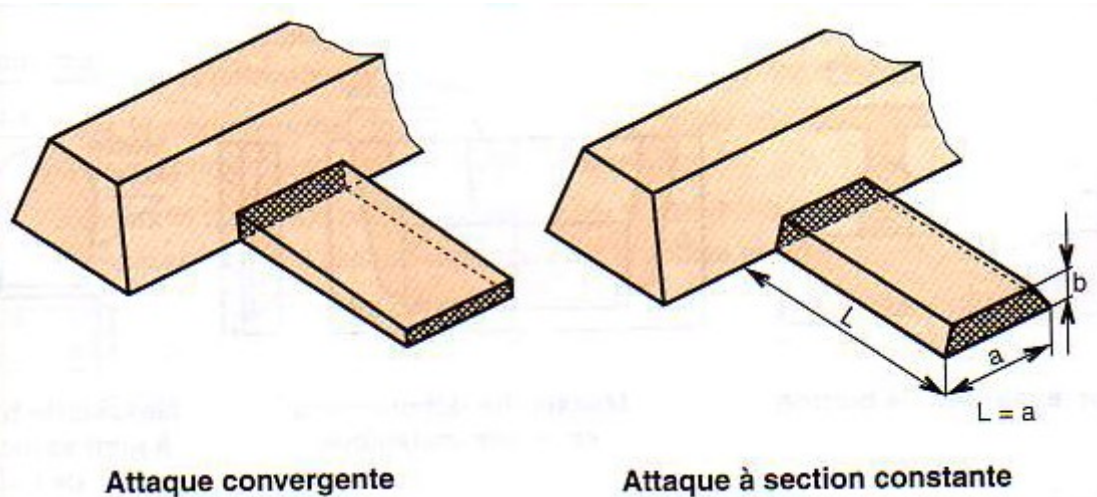
La vitesse atteinte par l'alliage en bas de la descente peut être importante en créant de nombreuses turbulences (érosion du moule en sable avec décollement ou formation de gaz) et la formation de défauts





4.6 L'attaque de coulée

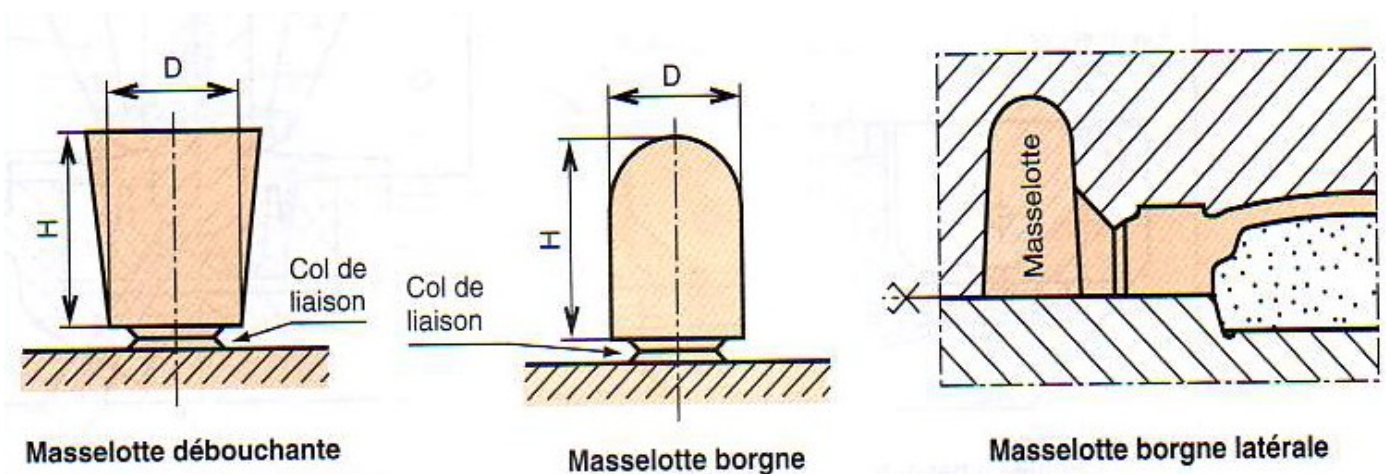
Elle sert à distribuer correctement et complètement le métal liquide dans l'empreinte. A cet effet, elle doit être de section totale suffisante. Son emplacement ne doit conduire à aucun défaut de pièce et doit permettre l'ébarbage sans risque de dégradation.

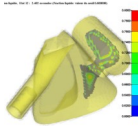


4.7 Les masselottes

Elles forment des réserves de matière liquide qui vont alimenter la pièce en métal lors de la solidification et sont destinées à compenser la diminution de volume. Leurs dimensions et positions font l'objet de règles très précises de façon à ce que leur effet soit maximal.

Une masselotte est définie par son volume, sa hauteur, son col de liaison, sa forme et son type.





Moulage - Conception

Page 10/10

4.8 Détermination du dispositif de coulée

Le calcul du *module de refroidissement* **MG** permet de déterminer les temps de solidification des différentes parties de la pièce, et par conséquent, le positionnement des alimentations ou des masselottes. (Voir TD moulage)

$$MG = \frac{V}{S}$$

V : Volume d'une partie de la pièce en cm³

S : Surface de refroidissement pour l'échange thermique en cm²

Plus le module MG est grand, plus la partie de la pièce considérée refroidit lentement.

5 Règles de tracé en fonderie

5.1 Les dépouilles

La dépouille est nécessaire pour extraire le modèle d'un moule en sable ou extraire la pièce finie d'une coquille. C'est l'angle de la paroi du moule avec la direction de l'extraction du modèle (ou de la pièce).

La dépouille s'ajoute aux surépaisseurs d'usinage

Hauteur	Dépouille	Angle
H<25	0,25 à 2 %	Variable
25<H<50	1 %	0° 34'
H>50	2 %	1° 8'

5.2 Autres règles de tracé des pièces

Cf Annexe 1 ou MEMOTECH Procédé de mise en forme des matériaux - Pages 27 à 34

5.3 Tolérances dimensionnelles

Cf Annexe 2 ou MEMOTECH Procédé de mise en forme des matériaux - Pages 110 à 113

1.4 Dilatibilité

Tige de zinc :

$$l_{30} = l_0(1 + 2,9 \cdot 10^{-5} \cdot 30)$$

$$l_{800} = l_0(1 + 2,9 \cdot 10^{-5} \cdot 800)$$

$$l_{800}/l_{30} = (1 + 2,9 \cdot 10^{-5} \cdot 800) / (1 + 2,9 \cdot 10^{-5} \cdot 30) = 1,0232/1,00087 = 1,0223106$$

$$l = 2,0446212 \text{ m} \quad l_{800} = l_{30}(1 + 2,9 \cdot 10^{-5} \cdot 770) = 2 \times 1,0223 = 2,04466 \text{ m}$$

Tige cylindrique d'aluminium

$$l = l_0(1 + 2,33 \cdot 10^{-5} \times 90) = 1,0021 \text{ m}$$

$$V = V_0(1 + 3\lambda T) = l \times \pi R^2(1 + 3\lambda T) = 100 \times \pi \times (1 + 6,99 \cdot 10^{-5} \times 90) = 100 \times \pi \times 1,00629 = 316,1 \text{ cm}^3 \text{ donc } 2 \text{ cm}^3 \text{ de plus qu'à } 0^\circ\text{C}.$$

I : Une tige de fer mesure 2 m à 0 °C. Quelle est sa longueur à 200 °C ?

Coefficient de dilatation linéaire du fer : $1,22 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Une tige de cuivre mesure 1 m à 800 °C. Quelle est sa longueur à 200 °C ?
 $\alpha_{\text{Cu}} = 1,70 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

II : Une règle mesure 503,5 mm à 100 °C et 505 mm à 200 °C.
Calculer le coefficient de dilatation linéaire du métal et la longueur de la règle à 0 °C.

$$I : l = l_0(1 + 1,22 \cdot 10^{-5} \cdot 200) = 2,00488 \text{ m}$$

$$l_{200} = l_0(1 + 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 200)$$

$$l_{800} = l_0(1 + 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 800)$$

$$l_{200}/l_{800} = (1 + 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 200) / (1 + 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 800) = 1,0034/1,0136$$

$$l = 0,989937 \text{ m}$$

$$II : \alpha = 2,99 \cdot 10^{-5} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} ; l_0 = 502 \text{ mm}$$

2.3 Influence des éléments d'alliage

Influence du cuivre

- la coulabilité passe par un minimum de 5 %, mais varie peu,
- l'aptitude à la retassure : la contraction volumétrique est peu modifiée par l'addition de cuivre,
- la criquabilité est très forte avec l'addition de cuivre.

Le cuivre améliore la charge de rupture et la limite d'élasticité au détriment de l'allongement. Les alliages aluminium-cuivre peuvent subir un traitement thermique de durcissement structural qui élève considérablement R_m , $R_{p0.2}$ et HB tout en conservant une plasticité convenable.

Fig. 259 : influence des traitements thermiques sur les caractéristiques mécaniques des alliages aluminium- cuivre moulés

Les alliages aluminium-cuivre ont une excellente usinabilité. Cependant, ils ont une mauvaise tenue à la corrosion, en particulier à la corrosion marine.

Les couches de protection obtenues par anodisation sont peu épaisses, poreuses et de dureté moyenne. Par contre, elles sont claires, donc utilisables en décoration.

Influence du magnésium

La coulabilité est médiocre du fait de la forte oxydabilité du magnésium;

l'aptitude à la retassure : la contraction volumétrique est peu modifiée par le magnésium, mais celui-ci augmente la tendance à la micro porosité,

la criquabilité est assez forte, mais diminue aux fortes teneurs en magnésium.

Le magnésium augmente la charge de rupture, la limite d'élasticité et la dureté au détriment de l'allongement. Un traitement thermique -mise en solution et trempe- améliore les caractéristiques mécaniques, mais il se produit une maturation lente à la température ambiante qui provoque une fragilisation, même après plusieurs années.

Les alliages aluminium-magnésium ont une excellente usinabilité.

L'addition de magnésium à l'aluminium améliore sa tenue à la corrosion, en particulier à la corrosion marine. Autrement, ces alliages s'anodisent très bien, aussi bien pour la protection que pour la décoration.

.