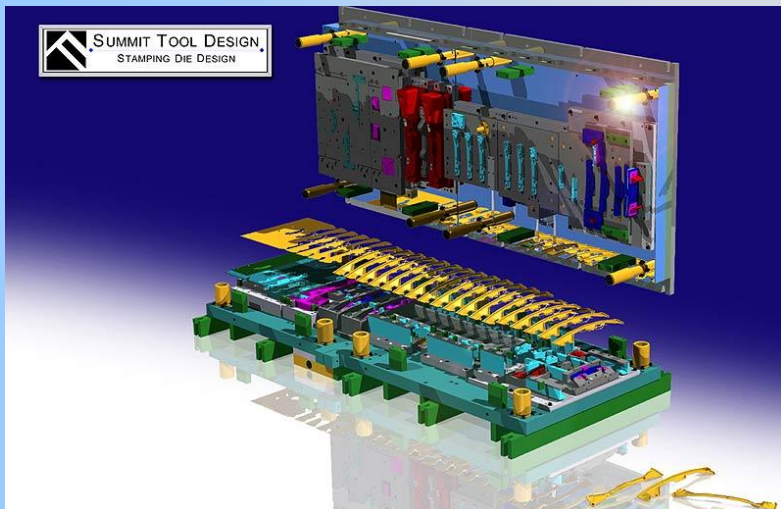
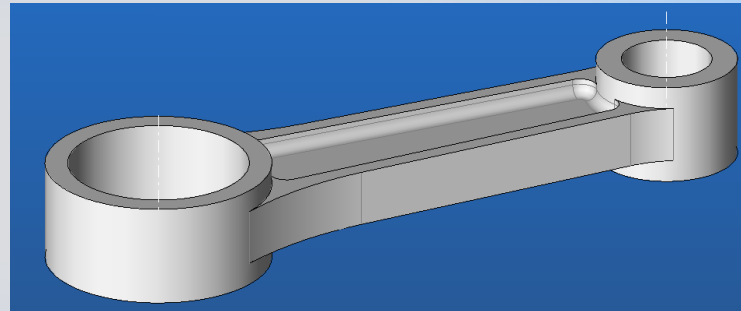




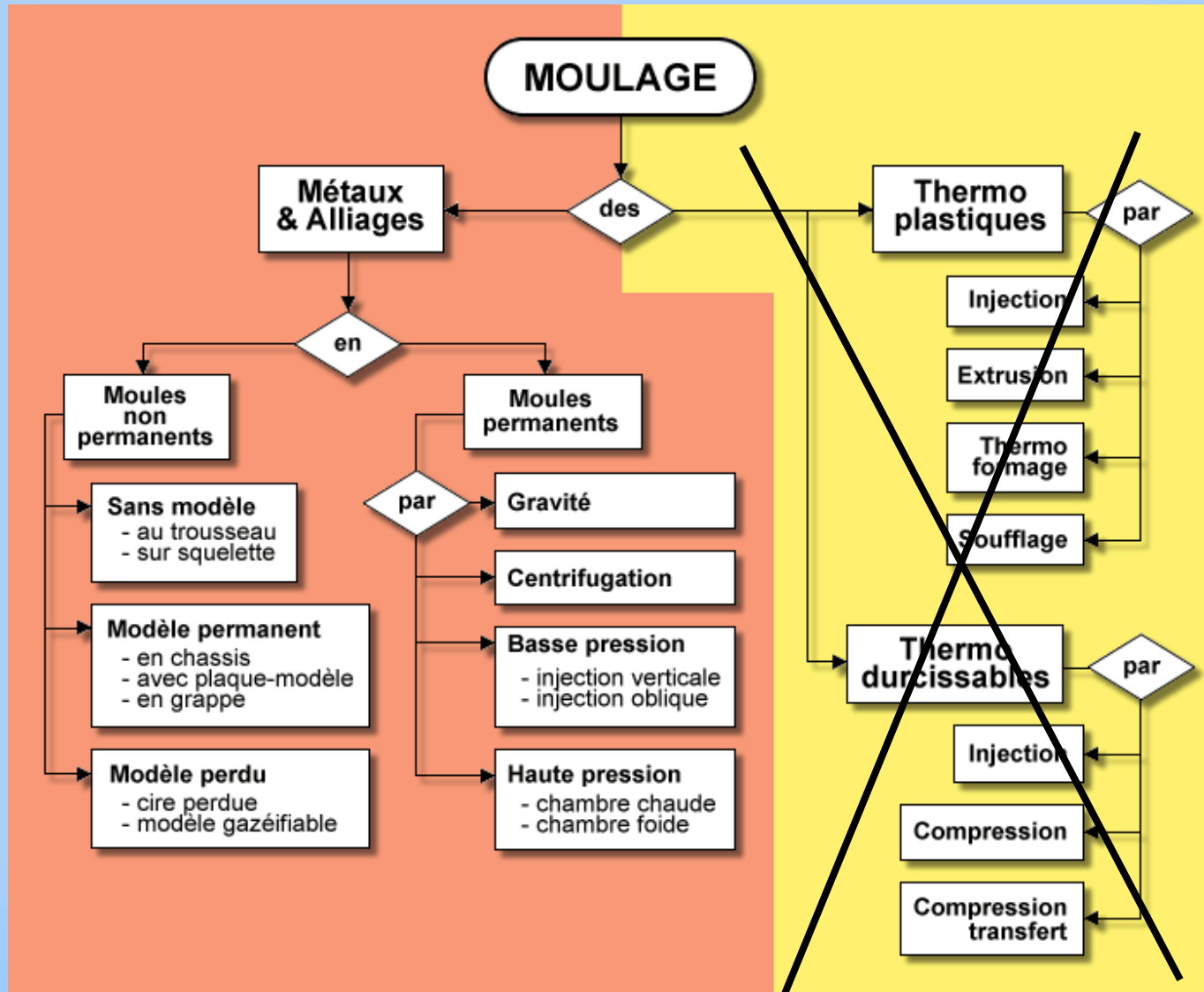
Fonderie

Forge



Découpe mécanique

Fonderie



Introduction

Les procédés de fonderie permettent d'obtenir des préformes, en remplissant d'alliage liquide une empreinte réalisée dans un moule. La pièce brute est obtenue après solidification.

La fonderie est utilisée aussi bien pour la coulée d'une pièce unique que pour la fabrication en grande série, par exemple pour l'automobile.

➤ **Avantages**

- économie de matière,
- économie de temps d'usinage,
- souvent peu coûteux (fonction de la série),
- rapide à mettre en œuvre (fonction de la série),
- ...

➤ **Inconvénients**

- usinage ultérieur pour une qualité inférieur à 15,
- échauffement de la matière,
- défauts,
- besoins de personnels qualifiés,
- dangers : brûlures, projections, chaleur,
- ...

Les procédés de moulage ➡ 2 grandes familles

Moulage en moule NON PERMANENT

Le moule est détruit dans
la phase de fabrication

empreinte
réalisée par
un modèle

- Modèle destructible
- Modèle permanent

Moulage au sable vert

Moulage cire perdue

Moulage en carapace

Moulage céramique

Moulage en moule PERMANENT

Les éléments du moule
sont réutilisables à chaque
réalisation de pièces

empreinte
usinée

C'est la technologie de remplissage qui
engendre les différentes solutions

Coquille par gravité

Moulage sous pression

Centrifugation

Coulée continue

Coquille basse pression

Etude de la fabrication d 'une pièce moulée (tube coudé)

Procédé :

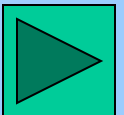
Moulage manuel par gravité en sable à vert

➤ Sable à vert : Sable silico-argileux *naturel* ou *synthétique*.

L'humidité du sable (origine du terme à vert) permet d'obtenir un moule relativement rigide avec un serrage basse pression.

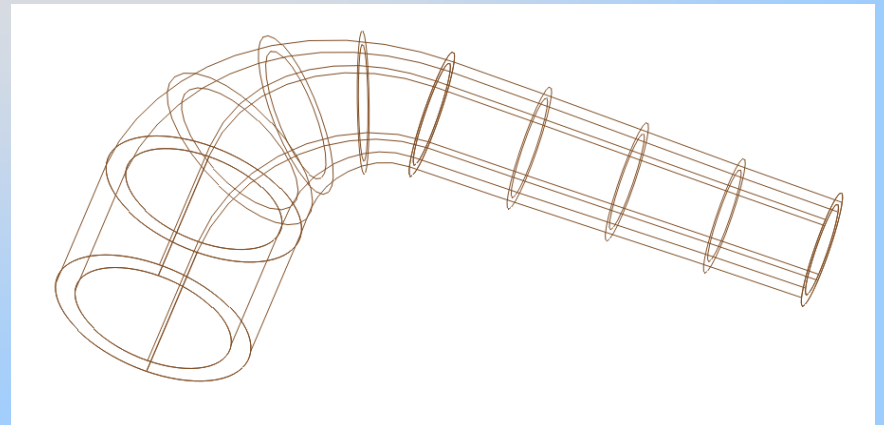
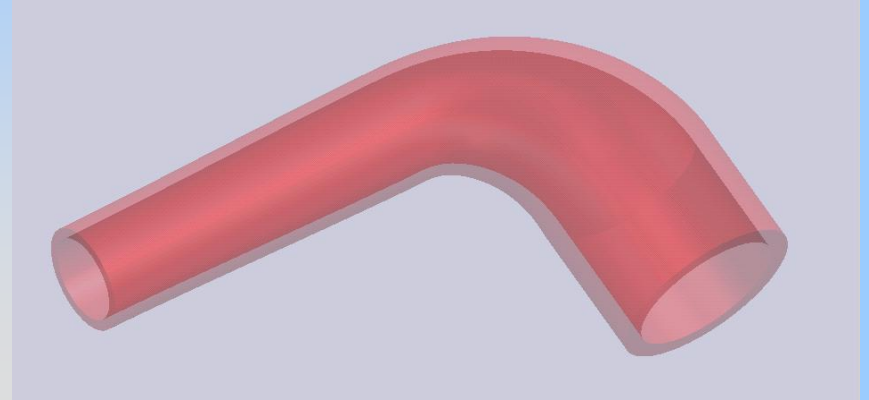
Il existe d'autres procédés au sable, tel que:

- Moulage en sable à vert séché, grillé, flambé,
- Moulage en sable étuvé, ensable sans liant,
- Moulage en sable agglomérés, en sable à huile ...



Plan de la présentation du moulage manuel

- Préparation du modèle
- Préparation de la boîte à noyau
- Préparation de la fusion
- Préparation du moule
- Préparation du châssis inférieur
- Préparation du châssis supérieur
- Ouverture des châssis et finition de l'empreinte
- Noyautage et remmoulage
- Coulée
- Refroidissement puis décochage
- Ébarbage de la pièce



➤ Préparation du modèle

Le modèle se réalise après l'étude de moulage. Celle ci doit prévoir les portées de noyaux, les attaques de coulées, le masselottage, des éventuelles évents et prendre en compte le retrait volumique lié au matériau moulé et au procédé de moulage (ex: Alu 3 à 7%, Acier 5 à 7%).

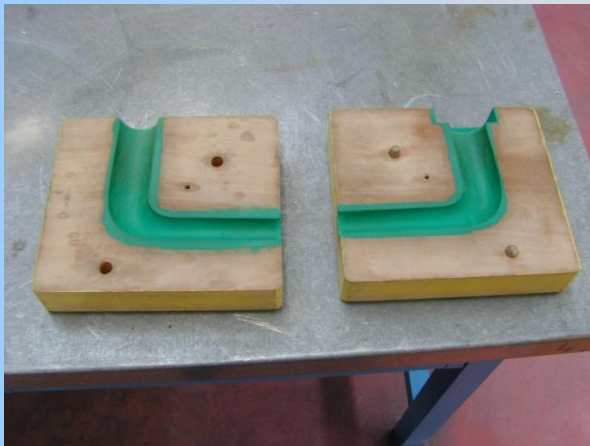
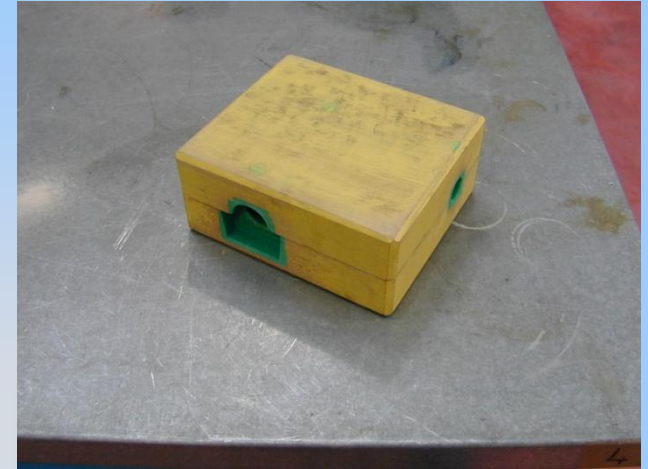


Le modèle peut être réalisé en bois, en résine, en plâtre, en ciment pour les modèles réutilisables et en polystyrène ou en cire pour les modèles perdus. Le modèle doit être en 2 parties pour permettre le démoulage.

[Retour au plan](#)

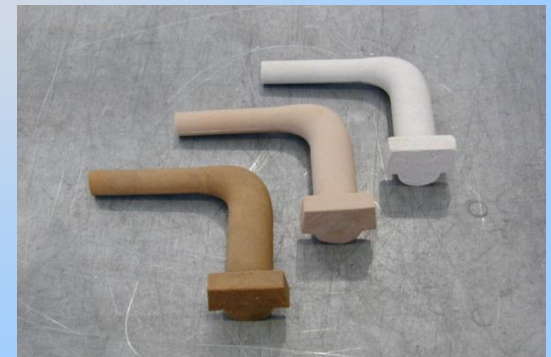
➤ Préparation de la boîte à noyau

On réalise une boîte à noyau pour un noyautage manuel ou sur une machine à noyauter. La boîte à noyau peut être en bois ou en résine.



La boîte à noyau doit être en 2 parties pour permettre d'en extraire le noyau.

Les noyaux sont le plus souvent fabriqués en sable aggloméré.



[Retour au plan](#)

➤ Préparation de la fusion

On utilise des lingots qui ont la bonne composition (préparés par l'aciérie)



On les place dans un four à induction pour assurer un meilleur rendement.



Puis on transvase le mélange vers un four de maintien

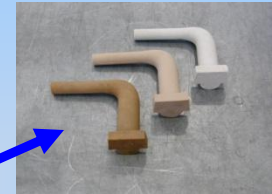


Retour au plan

➤ Préparation du moule

Le matériel nécessaire pour le moulage manuel se compose de:

Les noyaux



Les demi modèles



Deux châssis

(supérieur et inférieur)



Les outils du mouleur



Pilettes

Aiguille

Truelle

Spatules

[Retour au plan](#)

➤ Préparation du châssis inférieur

On place le modèle à l'intérieur
du 1/2 châssis inférieur



On racle alors la
surface du châssis
pour pouvoir
retourner le tout



On vient alors
damer le sable à
l'aide de la
pilette



On place un tamis afin d'éviter de
mettre des impuretés au contact du
modèle



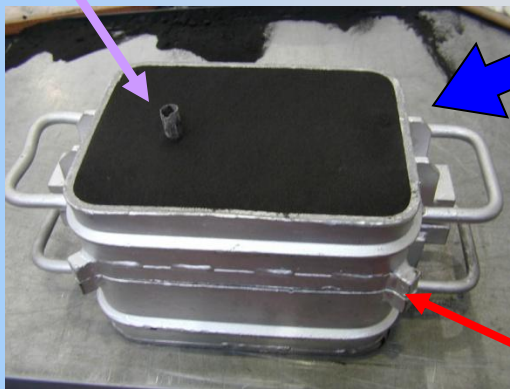
Retour au plan

➤ Préparation du châssis supérieur

Après avoir retourné le châssis inférieur on place le deuxième 1/2 modèle sur l'autre à l'aide des pions de centrage



Tube servant de descente de coulée



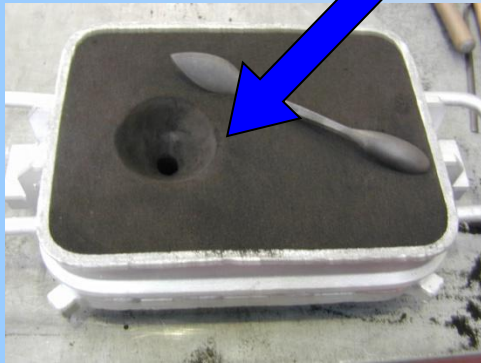
On met alors le châssis supérieur en y plaçant un tube qui servira de descente de coulée. On remplit le châssis de sable comme pour le 1er châssis.

La liaison entre les 2 châssis et les 2 demi modèles définit le **plan de joint**.

Retour au plan

➤ Ouverture des châssis et finition de l'empreinte

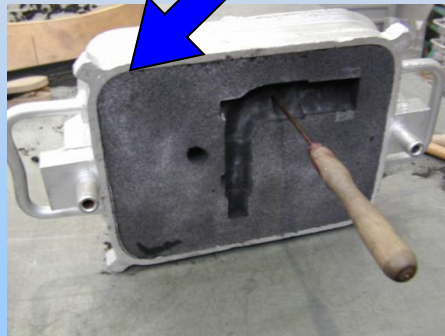
On creuse enfin l'entonnoir de coulée sur le dessus du châssis supérieur à l'aide d'une spatule



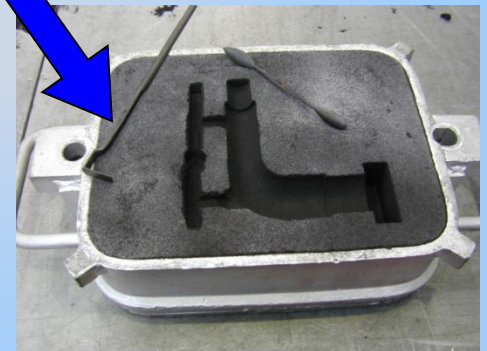
On sépare les 2 châssis et on enlève délicatement les deux 1/2 modèles.



On réalise les événements dans les parties les plus hautes du châssis supérieur



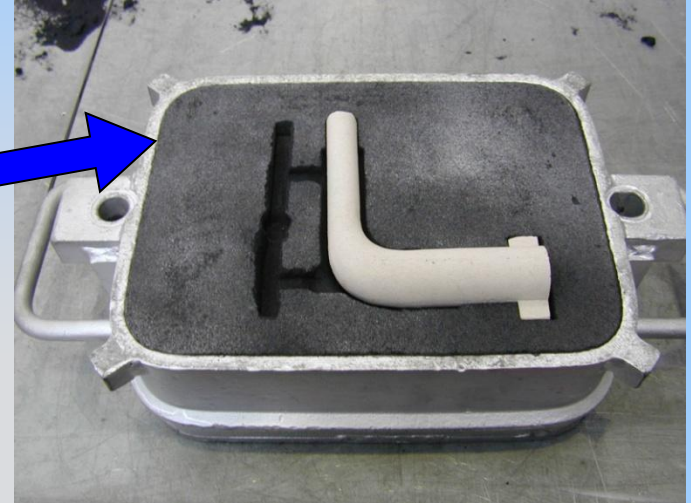
On creuse le canal et les attaques de coulées à l'aide des spatules dans le châssis inférieur



[Retour au plan](#)

➤ Noyautage et remoulage

On place alors le noyau dans l'empreinte du châssis inférieur

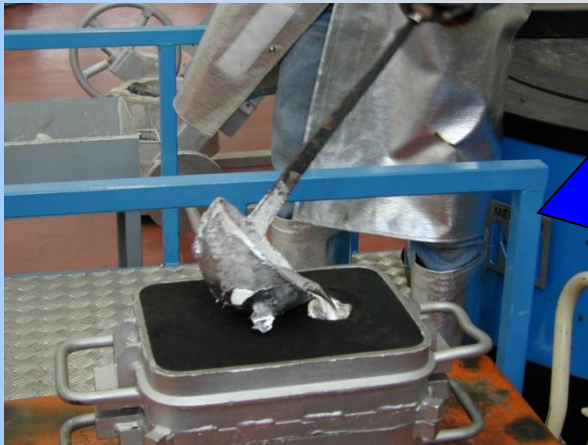


On procède alors au remmoulage c'est à dire à la fermeture du moule. Si la pièce à mouler est volumineuse on fermera le moule avec des clamps.

Retour au plan

➤ Coulée

On place le moule sur un support stable. Pour des raisons de sécurité il faut enfiler une combinaison ignifugée et un masque.



On peut alors faire coulée l'alliage en fusion dans l'empreinte en faisant pivoter rapidement la louche.

Retour au plan

➤ Refroidissement puis décochage

Une fois l'empreinte remplie, on laisse refroidir entre 5 et 15 minutes (suivant la taille de la pièce)



On obtient alors la pièce ainsi que son système d'alimentation et de masselotage



On peut alors procéder au décochage qui consiste à extraire la pièce du moule en le détruisant



Retour au plan

➤ Ebarbage de la pièce

Le sable que l'on a utilisé pour le moulage de la pièce est récupéré et recyclé dans la sablerie.

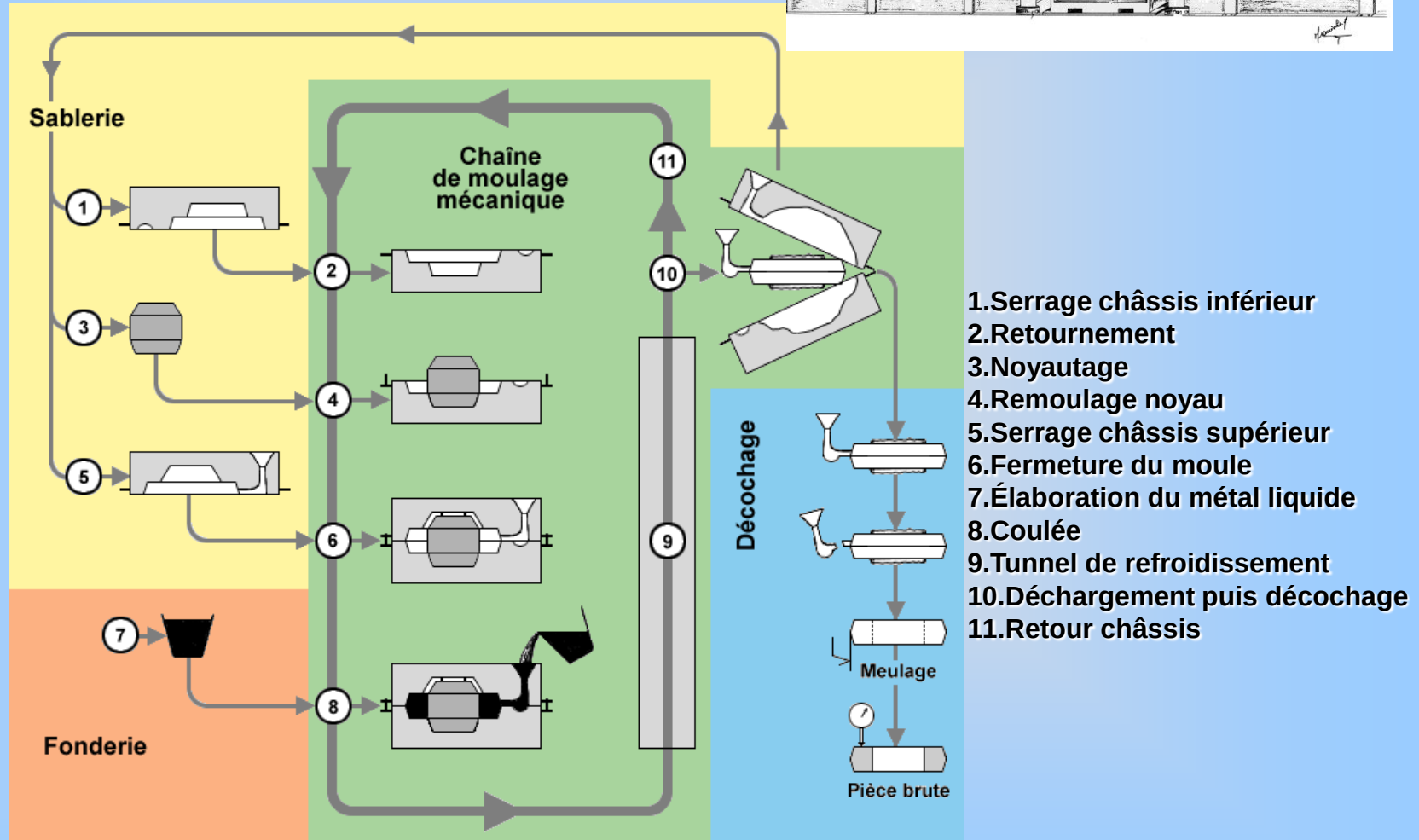
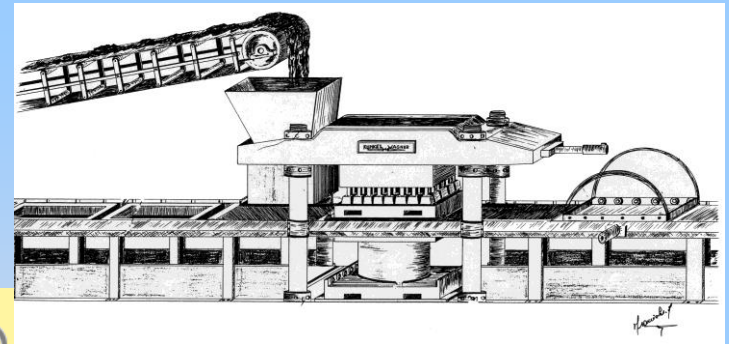
Il suffit alors de réaliser l'ébarbage de la pièce qui consiste à enlever le système d'alimentation et le système de remplissage. On supprime aussi les éventuelles bavures qui aurait pu se créer au niveau du plan de joint.

Les masselottes et le système de remplissage sont récupérés et refondus pour réaliser d'autres pièces.

➤ Machines à mouler

Chaîne de moulage mécanique

Cadence de production : 200 moules / heure



Présentation des autres procédés de moulage manuel

Moulage au sable vert

Moulage cire perdue

Moulage en carapace

Moulage céramique

Coquille par gravité

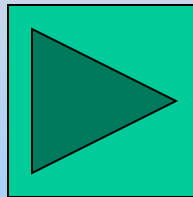
Moulage sous pression

Centrifugation

Coulée continue

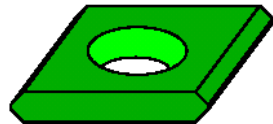
Moulage polystyrène

Coquille basse pression

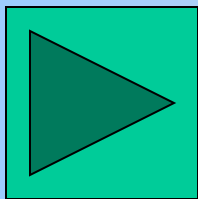
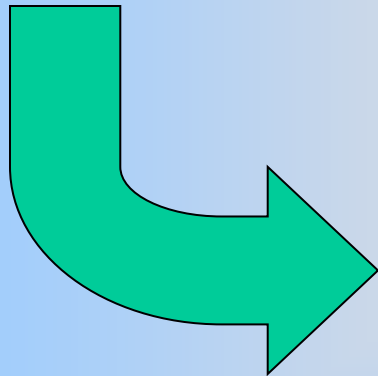


Moulage en coquille par gravité

PIÈCE A FABRIQUER

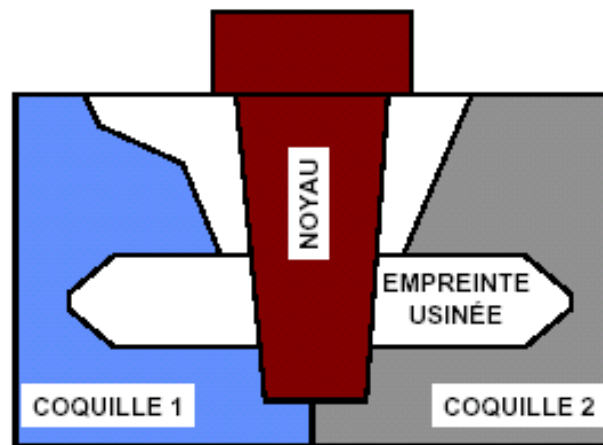


Alliages d'aluminium et de
cuivre



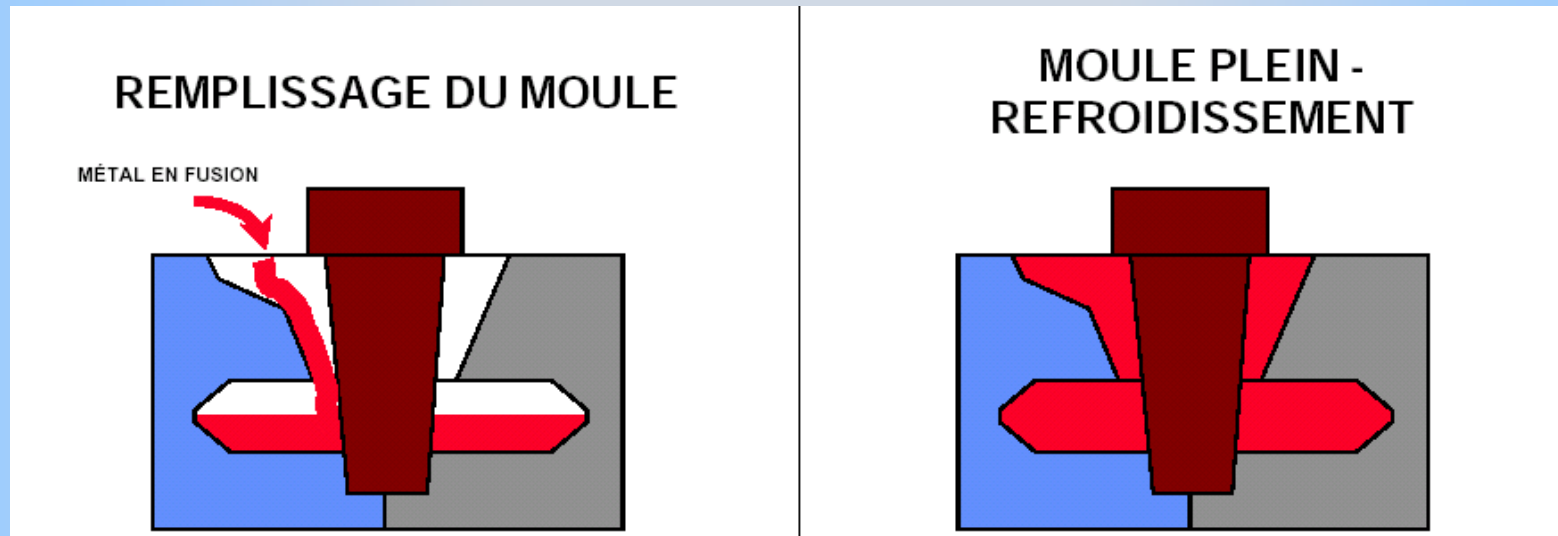
*Le moulage en moule
permanent utilise des moules
métalliques pouvant
supporter plusieurs coulées
successives → Séries
importantes*

MOULE MÉTALLIQUE



Moulage en coquille par gravité

Le remplissage et l'alimentation sont déterminés par la pesanteur, le moule étant appelé coquille

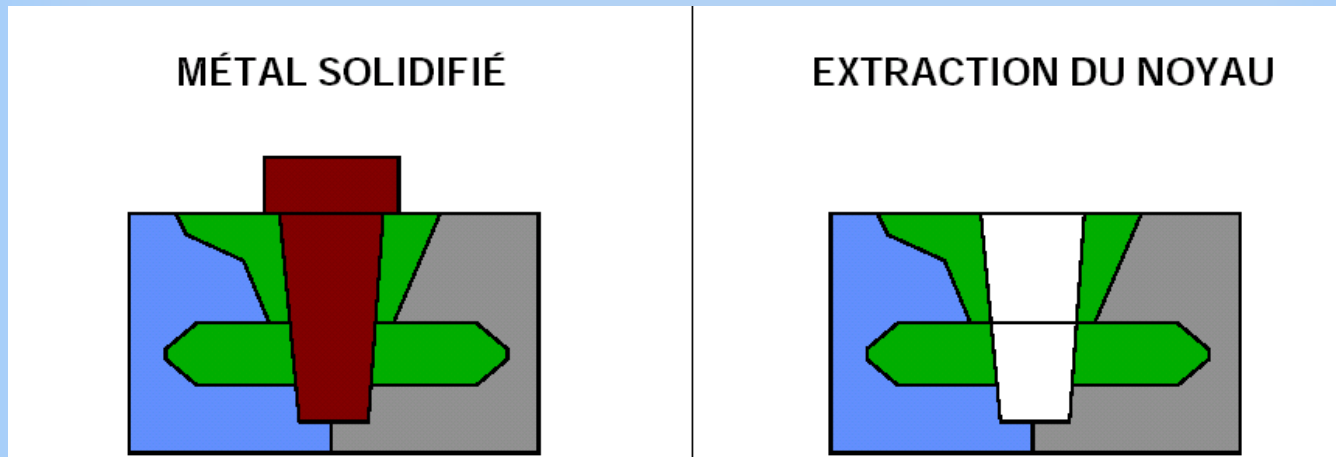


Le système de coulée doit être simple et direct, étant donné l'échange thermique rapide

Selon la position de l'attaque, nous trouvons:

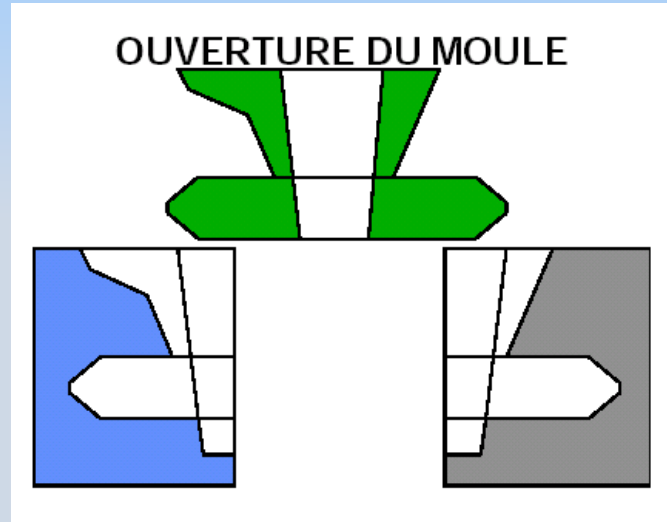
- La coulée en source
- La coulée latérale
- La coulée en chute

Moulage en coquille par gravité



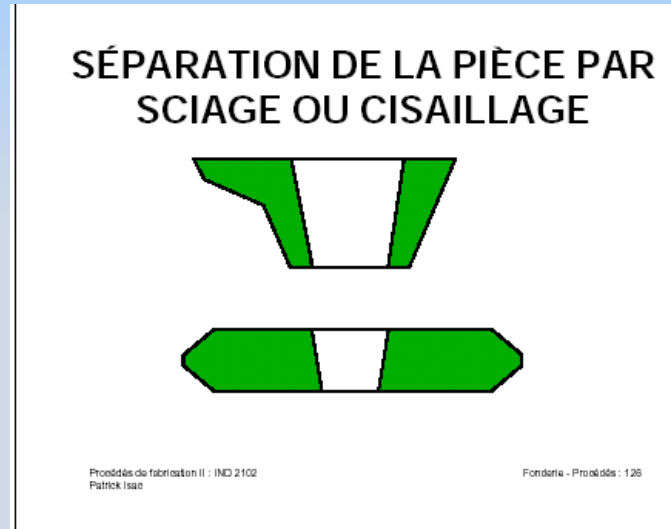
- Il faut prévoir le guidage le centrage et la butée du noyau(x).
- Il peut être en plusieurs parties si la pièce présente des contre dépouilles.
- Les noyaux très échauffés sont refroidis par de l'air ou de l'eau.

Moulage en coquille par gravité



- Les éjecteurs en acier trempé permettent d'extraire la pièce solidifiée de la coquille ouverte.
- Pour faciliter le démoulage, 2 autres facteurs interviennent:
 - La dépouille
 - Le poteyage (Enduit spécial évitant le collage pièce-coquille)

Moulage en coquille par gravité



• Les épaisseurs à prévoir sur la pièce moulée dépendent de la **nature de l'alliage** et des **dimensions de la pièce**

• Exemple:

Alliages d'aluminium



$$E = 1 + (3 \times L / 1000)$$

Alliages de cuivre

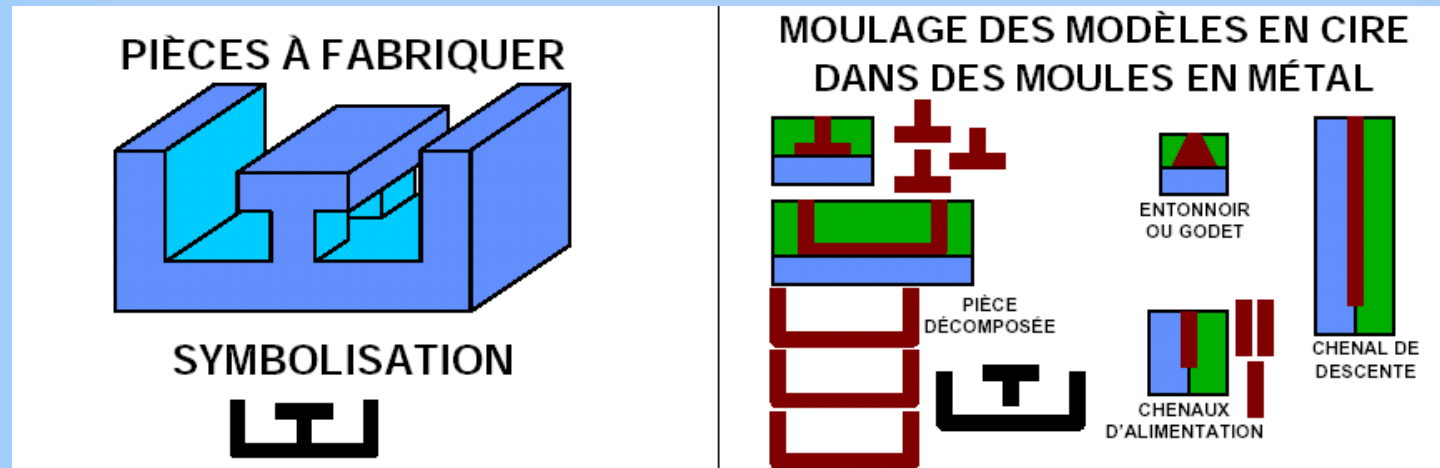


$$E = 1 + (4,5 \times L / 1000)$$

E: Surépaisseur

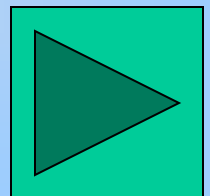
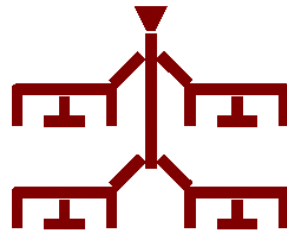
L: Plus grande dimension de la pièce

Moulage cire perdue



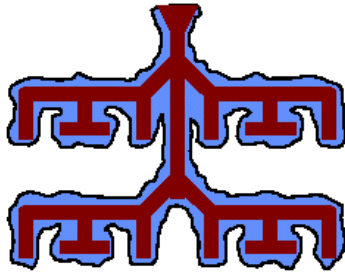
Le modèle en cire comporte la forme de la pièce ainsi que les systèmes de remplissage et d'alimentation obtenus par injection de cire dans un moule

**ASSEMBLAGE DES MODÈLES
EN GRAPPE PAR COLLAGE**



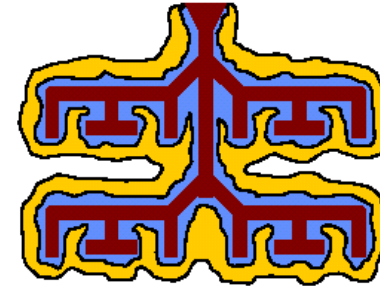
Moulage cire perdue

ENROBAGE DE LA GRAPPE AVEC
UN MATÉRIAU RÉFRACTAIRE



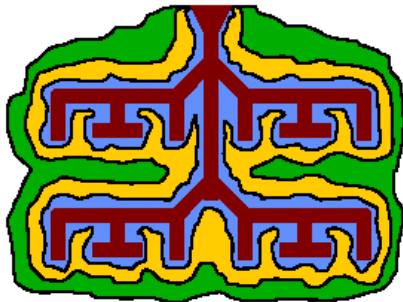
PREMIÈRE COUCHE LIQUIDE

ENROBAGE DE LA GRAPPE AVEC
UN MATÉRIAU RÉFRACTAIRE



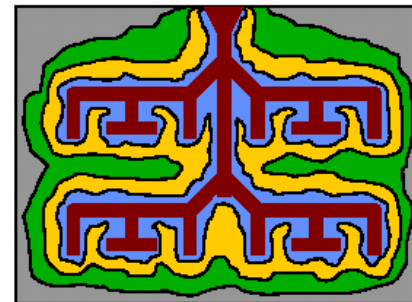
DEUXIÈME COUCHE EN POUDRE

ENROBAGE DE LA GRAPPE AVEC
UN MATÉRIAU RÉFRACTAIRE



TROISIÈME COUCHE LIQUIDE

ENROBAGE DE LA GRAPPE AVEC
UN MATÉRIAU RÉFRACTAIRE

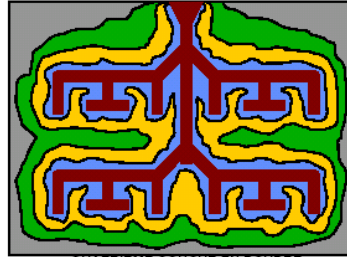


QUATRIÈME COUCHE EN POUDRE

On réalise ensuite une carapace de plusieurs millimètres d'épaisseur par enrobage du modèle avec des produits réfractaires (appelé poté)

Moulage cire perdue

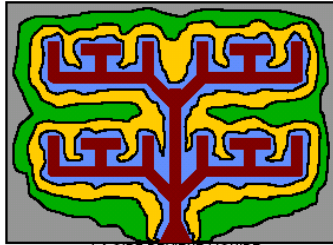
ENROBAGE DE LA GRAPPE AVEC
UN MATÉRIAU RÉFRACTAIRE



QUATRIEME COUCHE EN POUDRE

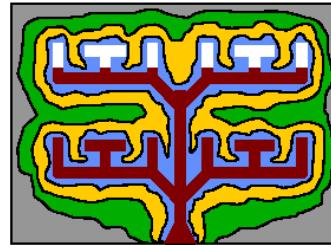
- L'ensemble est mis dans un châssis que l'on remplit de sable et maintien en étuve à 110° pour durcir la potée

RETOURNEMENT ET
CHAUFFAGE DU MOULE

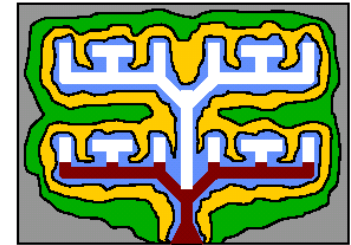


LA CIRE DEVIENT LIQUIDE

LE MOULE COMMENCE A SE
VIDER DE LA CIRE LIQUIDE



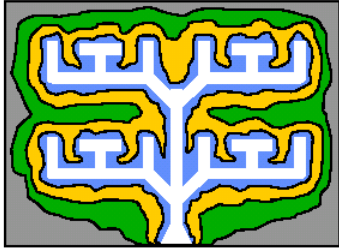
LE MOULE FINIT DE SE VIDER



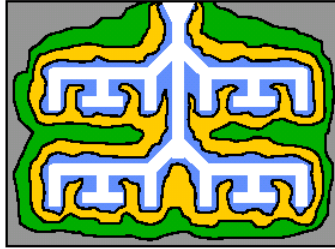
- Le moule est ensuite tourné vers le bas et chauffé à 1000° environ pour laisser s'écouler la cire fondue
→ Le moule est alors prêt pour la coulée

Moulage cire perdue

RETOURNEMENT DU MOULE
POUR LA COULÉE

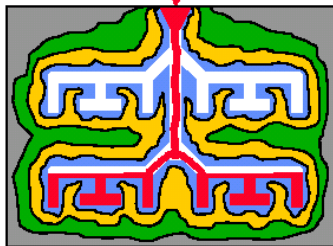


LE MOULE EST
COMPLÈTEMENT VIDE

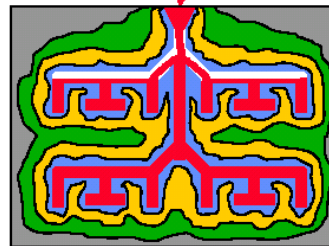


La coulée

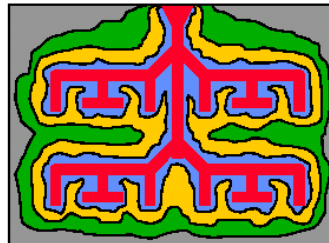
REMPLEISSAGE DU MOULE
MÉTAL EN FUSION



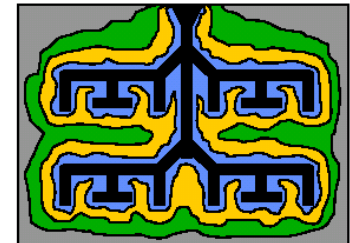
REMPLEISSAGE DU MOULE
MÉTAL EN FUSION



MOULE PLEIN
REFROIDISSEMENT

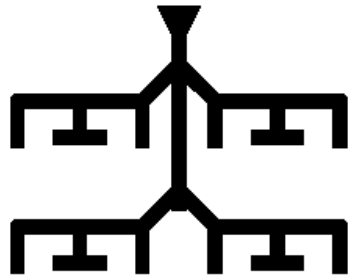


MÉTAL SOLIDIFIÉ



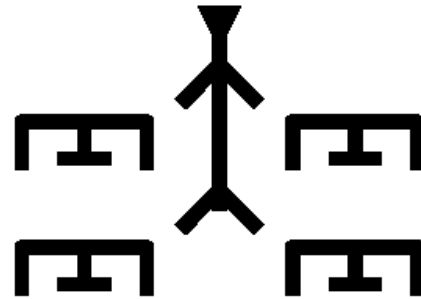
Moulage cire perdue

DESTRUCTION DU MOULE



Grappe décochée

SÉPARATION DES PIÈCES PAR
SCIAGE OU CISAILLAGE

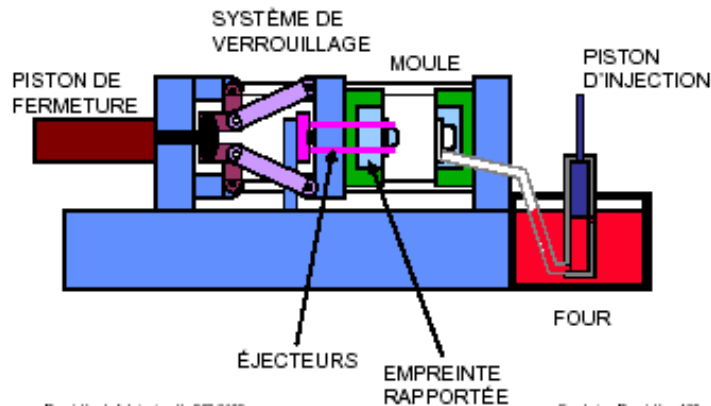


Pièces finies

Moulage sous pression

On injecte, par l'intermédiaire d'un piston, en un temps très court, un alliage en fusion dans un moule entièrement mécanique

MACHINE OUVERTE



Processus de fabrication II : IND 2102
Patrick Issac

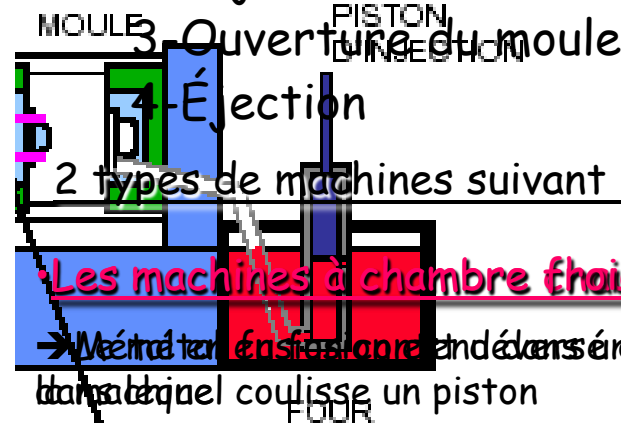
Fonderie - Processus : 129

ÉJECTEURS

Processus de fabrication II : IND 2102
Patrick Issac

Cycles: OUVRETE

- 1-Fermeture du moule
- 2-Injection
- 3-Ouverture du moule
- 4-Éjection



2 types de machines suivant le type d'injection:

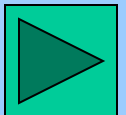
Les machines à chambre chaude

→ Métaux à haute température et dans un endroit où l'acier est derrière la machine, dans lequel coulisser un piston

Nature des alliages : alliages d'aluminium et de magnésium

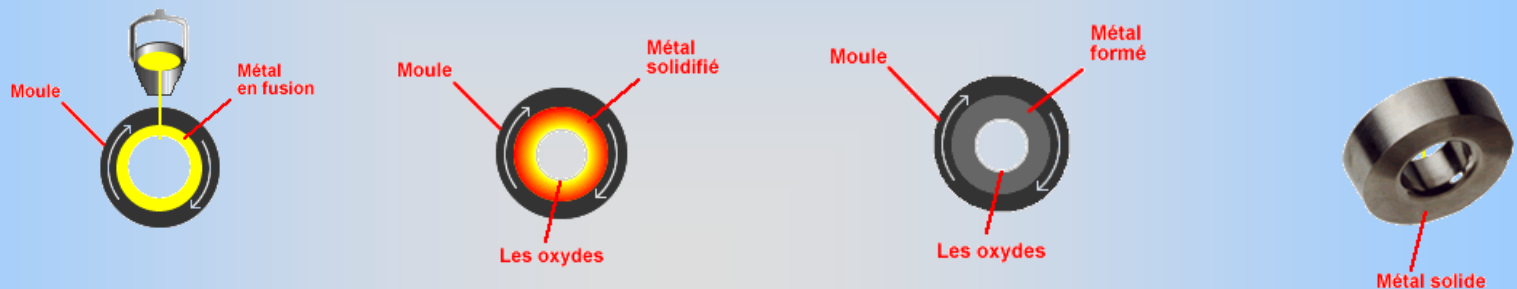
Force de fermeture : 50 à 2000 tonnes

Fonderie - Processus : 129



Moulage par centrifugation

Le moule est directement entraîné en rotation, appliquant à l'alliage coulé une accélération égale à plusieurs dizaines de fois l'accélération de la pesanteur.



Avantages:

- Économie de noyaux pour les pièces creuses
- Diminution de la mise au mille par la suppression des systèmes de remplissage et d'alimentation
- Ségrégation centrale d'éléments de faible masse volumique (Oxyde, impuretés,...)

La machine de centrifugation est d'axe horizontal, vertical ou oblique

Les moules, appelés coquille, sont métalliques (Fonte, acier) ou en graphite

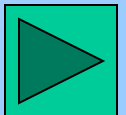


Tableau : choix du procédé de moulage en fonction de la nature du métal ou de l'alliage coulé

Métaux ou alliages Procédé de moulage	Fontes		Aciers		Fontes malléables		Alliage de cuivre		Alliage d'aluminium		Alliages de magnésium		Alliages divers	
Au sable	1 pièce	1 tonnes	1 pièce	40 kg	1 pièce	50 kg	1 pièce	1 tonnes	1 pièce	2 tonnes	1 pièce	10 kg	1 pièce	30 kg
	2.5 mm	+/-1 à +/-4	4.75 mm	+/-1.5 à +/-6	1.5 à 2.4 mm	+/-0.6 à +/-6	2.4 à 3 mm	+/-0.4 à +/-1	3.3 à 4.8 mm	+/-2 par 250 mm	4 mm	+/-0.8 à +/-2.5	1 mm	
Cire perdue	RARE		10 pièces	150 kg			10 pièces	40 kg	10 pièces	3 kg	10 pièces			
				+/-0.1 à +/-1.6				+/-0.2 à +/-0.5		+/- 0.05 sur 25 mm				
Par gravité	250 à 1000 pièces	100 kg			250 à 1000 pièces	15 kg	100 à 300 pièces	10 kg	1000 à 5000 pièces	20 kg	4000 pièces	20 kg	4000 pièces	10 kg
	3 mm	+/-0.8 à +/-2			3 mm	+/-0.6 à +/-2	2.5 à 3 mm	+/-0.3 à +/-1	2.5 à 3.5 mm	+/-0.4 sur 25 mm	3.2 à 4.7 mm	+/-0.4 à +/-0.6	1.5 à 2 mm	+/-0.1 à +/-0.4
Sous pression							1000 pièces	12 kg	1000 à 25000 pièces	40 kg	6000 pièces	15 kg	6000 pièces	40 kg
							0.8 à 1.5 mm		1 à 1.2 mm		0.8 mm		0.3 à 0.5 mm	
Par centrifugat ion	200 à 1000 pièces	50 tonnes	100 pièces	270 tonnes			200 pièces	8 tonnes	RARE					
	2 mm		3 mm											

➤ Glossaire :

Plan de joint : La surface de séparation des différentes parties du moule.

Empreinte :

Noyaux :

Dépouille :

Retrait :

Masselotte :

Évent :

Retassure :

Surépaisseur d'usinage :

Crique :

Mise au mille :

➤ Glossaire :

Plan de joint :

Empreinte :

Forme inverse des surfaces extérieures de la pièce à obtenir et aux dimensions légèrement supérieures (Retrait durant le refroidissement)

Noyaux :

Dépouille :

Retrait :

Masselotte :

Évent :

Retassure :

Surépaisseur d'usinage :

Crique :

Mise au mille :

➤ Glossaire :

Plan de joint :

Empreinte :

Noyaux : On utilise des noyaux en sable dans un moule, lorsqu'une pièce présente des parties intérieures en contre dépouille

Dépouille :

Retrait :

Masselotte :

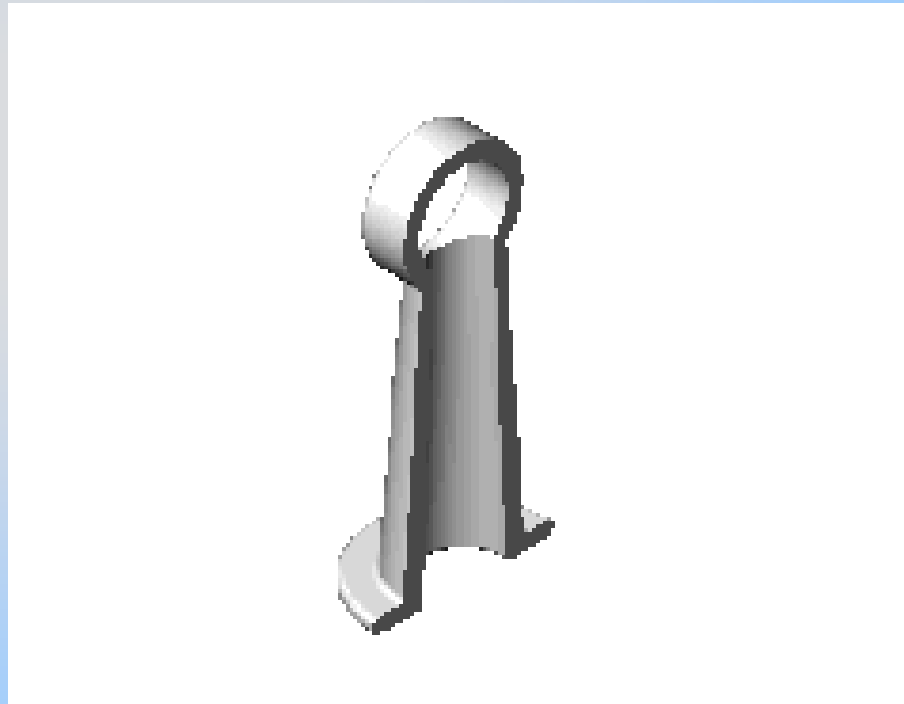
Évent :

Retassure :

Surépaisseur d'usinage :

Crique :

Mise au mille :



➤ Glossaire :

Plan de joint :

Empreinte :

Noyaux :

Dépouille :

Le sable est serré autour du modèle et ne doit subir aucune déformation ou arrachement lors de l'extraction du modèle. Il est donc prévu une certaine dépouille qui facilite le démoulage.

Retrait :

Masselotte :

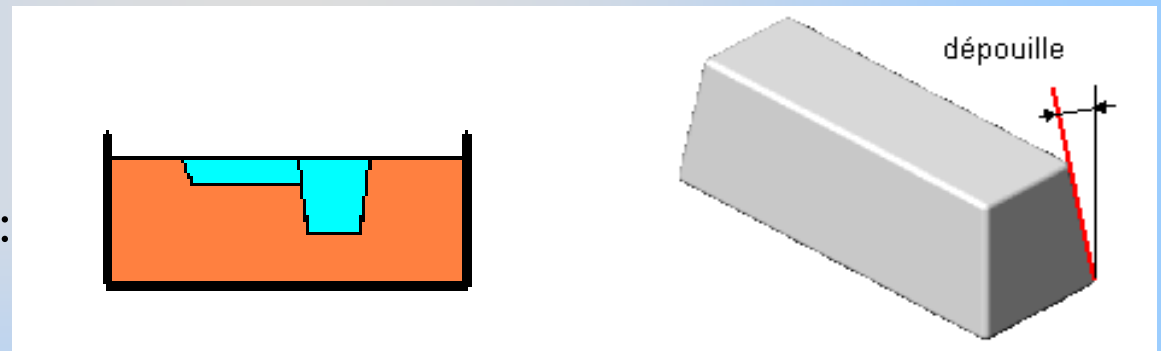
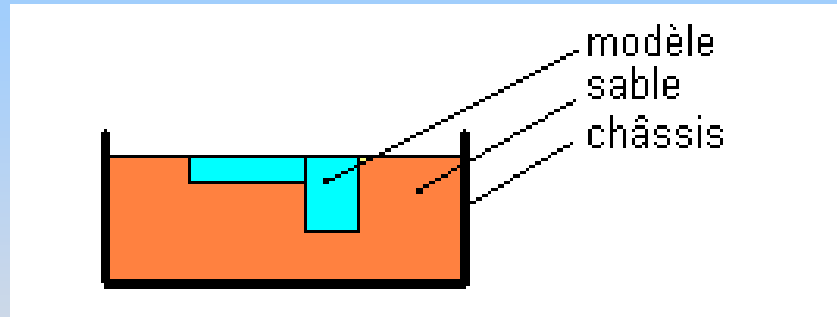
Évent :

Retassure :

Surépaisseur d'usinage :

Crique :

Mise au mille :



➤ Glossaire :

Plan de joint :

Empreinte :

Noyaux :

Dépouille :

Retrait : Diminution du volume de la matière lors de la solidification (%)

Masselotte :

Évent :

Retassure :

Surépaisseur d'usinage :

Crique :

Mise au mille :

➤ Glossaire :

Plan de joint :

Empreinte :

Noyaux :

Dépouille :

Retrait :

Masselotte :

Système d'alimentation de l'empreinte en vue de compenser le retrait volumique lors de la solidification de l'alliage liquide.

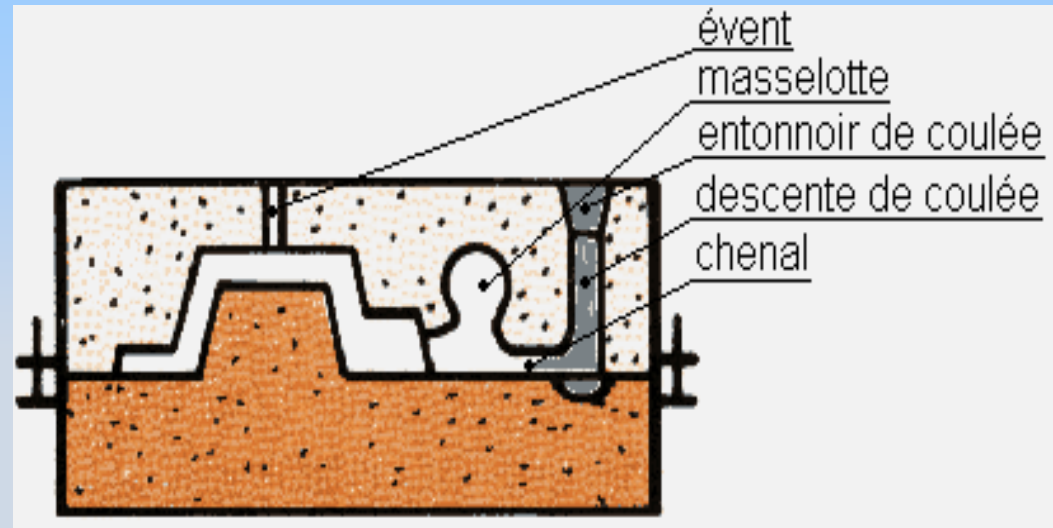
Évent :

Retassure :

Surépaisseur d'usinage :

Crique :

Mise au mille :



➤ Glossaire :

Plan de joint :

Empreinte :

Noyaux :

Dépouille :

Retrait :

Masselotte :

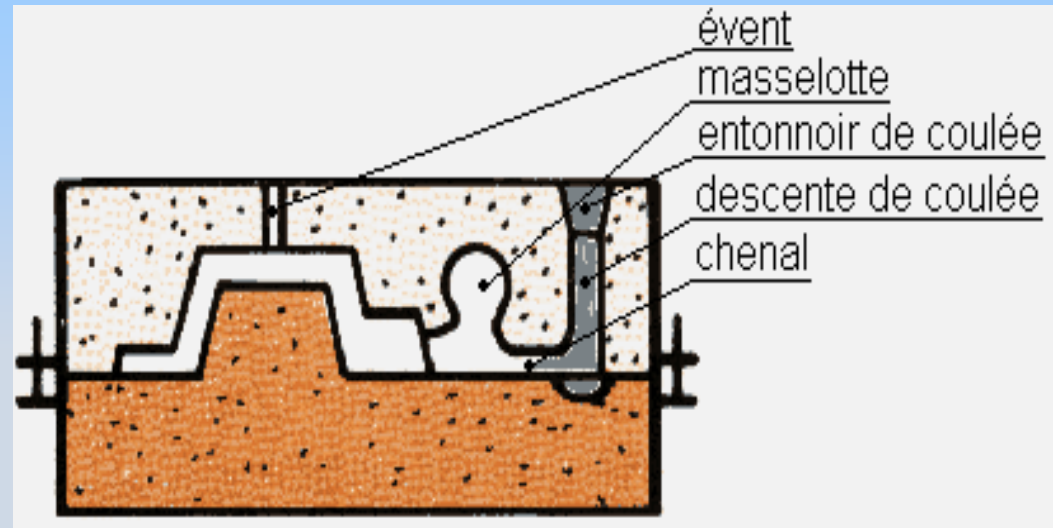
Évent : Trous d'air permettant aux gaz d'être évacués pendant la coulée

Retassure :

Surépaisseur d'usinage :

Crique :

Mise au mille :



➤ Glossaire :

Plan de joint :

Empreinte :

Noyaux :

Dépouille :

Retrait :

Masselotte :

Évent :

Retassure : Cavités qui se forment à l'intérieur ou à l'extérieur des pièces moulées et qui ont pour cause la diminution de volume que subit l'alliage coulé lors de son refroidissement

Surépaisseur d'usinage :

Crique :

Mise au mille :

➤ Glossaire :

Plan de joint :

Empreinte :

Noyaux :

Dépouille :

Retrait :

Masselotte :

Évent :

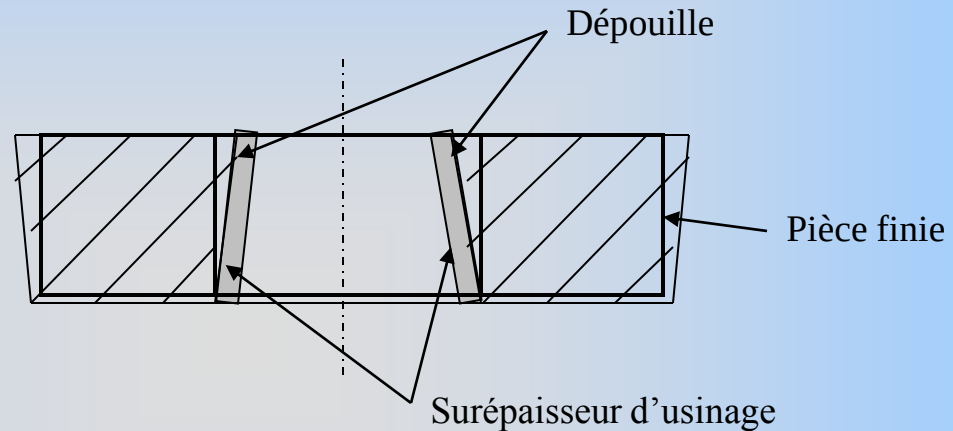
Retassure :

Surépaisseur d'usinage :

Le tracé de la pièce de fonderie doit tenir compte des surépaisseurs d'usinage.

Crique :

Mise au mille :



➤ Glossaire :

Plan de joint :

Empreinte :

Noyaux :

Dépouille :

Retrait :

Masselotte :

Évent :

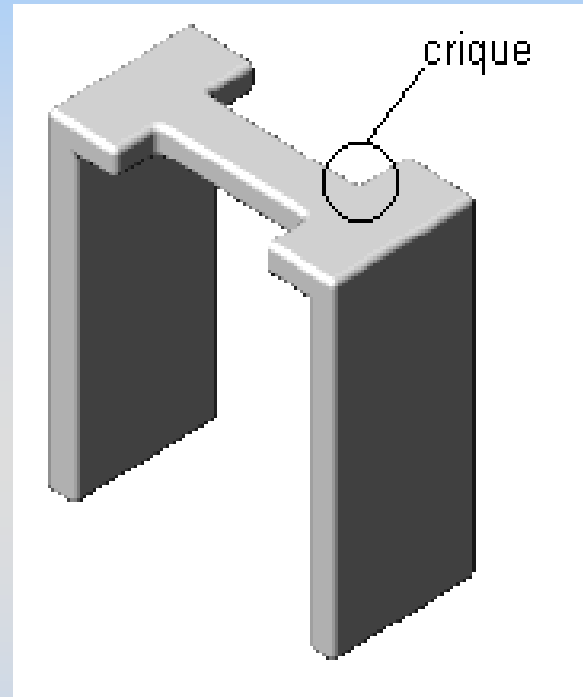
Retassure :

Surépaisseur d'usinage :

Crique :

Le retrait engendre des tensions dues aux différences d'épaisseurs, notamment aux angles vifs où s'exerce l'effet d'entaille et fragilisent la pièce.

Mise au mille :



➤ Glossaire :

Plan de joint :

Empreinte :

Noyaux :

Dépouille :

Retrait :

Masselotte :

Évent :

Retassure :

Surépaisseur d'usinage :

Crique :

Mise au mille : La mise au mille est le rapport de la masse de la pièce finie M1 par rapport à la masse totale du volume de matière coulée M2.

$$(M1/M2) \times 100$$

➤ Ressources :



FIN DU DIAPORAMA

Présentation réalisée à partir du travail de Aurore MALONI & Dominique CABANNES professeurs certifiés en Génie Mécanique Productique.