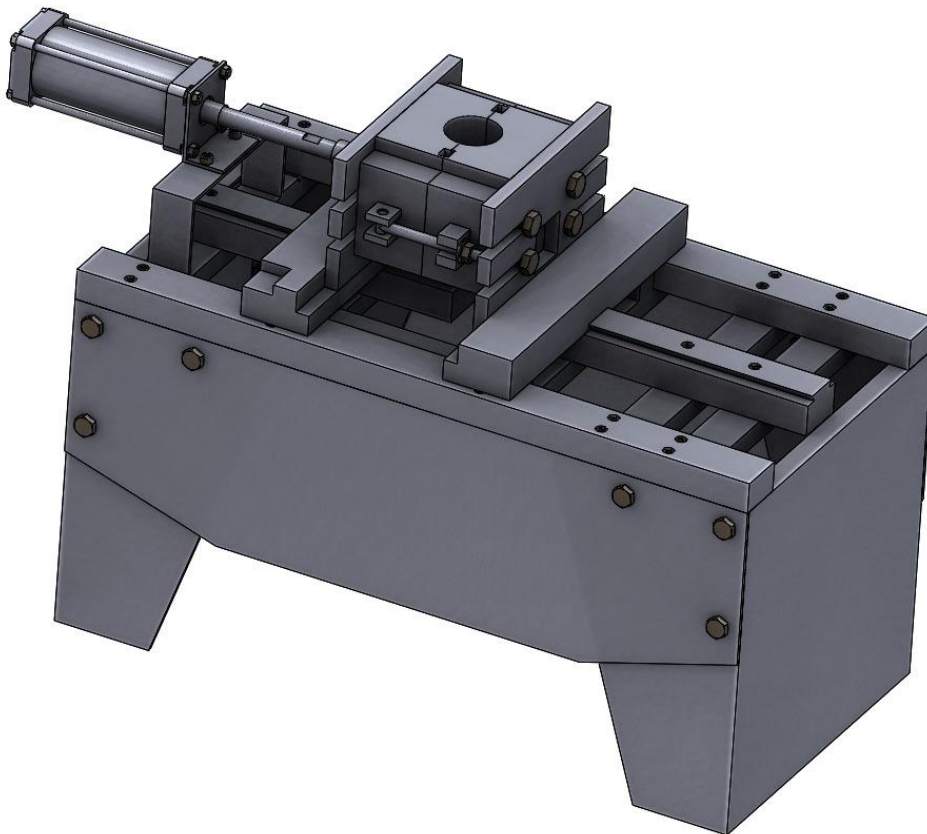


**INITIATION  
AUX  
PROCEDES  
DE  
FONDERIE**





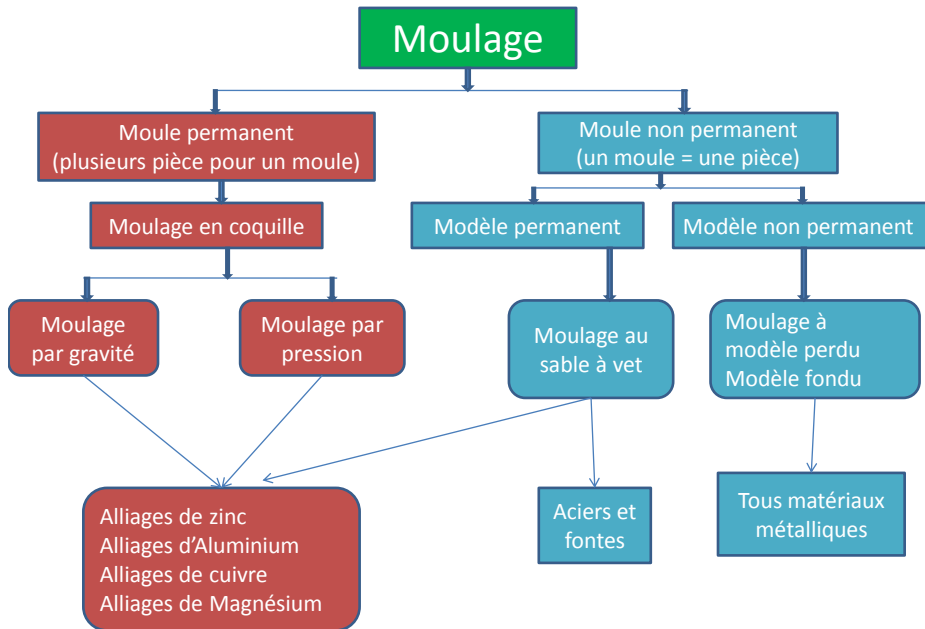
## Table des matières

|          |                                              |    |
|----------|----------------------------------------------|----|
| I.       | LA FONDERIE .....                            | 4  |
| I.1.     | Introduction .....                           | 4  |
| I.2.     | Les alliages de fonderie .....               | 4  |
| I.3.     | Avantages et problèmes liés au procédé ..... | 4  |
| I.4.     | Les différents types de moulage .....        | 5  |
| I.4.1.   | Le moulage destructible : .....              | 5  |
| I.4.2.   | Le moulage permanent : .....                 | 5  |
| II.      | LE MOULAGE EN MOULE DESTRUCTIBLE .....       | 5  |
| II.1.    | Moulage avec modèle permanent .....          | 6  |
| II.1.1.  | Le modèle .....                              | 6  |
| II.1.2.  | La boîte à noyau .....                       | 8  |
| II.2.    | Joints de moulage .....                      | 9  |
| II.3.    | Système de coulée et d'alimentation .....    | 10 |
| II.3.1.  | Le système de remplissage .....              | 11 |
| II.3.2.  | Système d'alimentation .....                 | 12 |
| II.4.    | Le sable .....                               | 12 |
| II.4.1.  | Le sable à vert .....                        | 12 |
| II.4.2.  | Le sable à prise chimique .....              | 13 |
| II.5.    | Gamme opératoire en moulage machine .....    | 14 |
| II.6.    | Vocabulaire spécifique .....                 | 15 |
| III.     | LE MOULAGE EN MOULE PERMANENT .....          | 26 |
| III.1.   | Les procédés .....                           | 27 |
| III.2.   | Le moulage en coquille par gravité .....     | 31 |
| III.2.1. | Conception des outillages .....              | 31 |
| III.2.2. | Démoulage .....                              | 31 |
| III.2.3. | Tirages d'air .....                          | 31 |
| III.2.4. | Broches .....                                | 32 |
| III.2.5. | Préparation des coquilles .....              | 33 |
| III.2.6. | Défauts du moulage en coquille .....         | 34 |

## I. LA FONDERIE

### I.1. Introduction

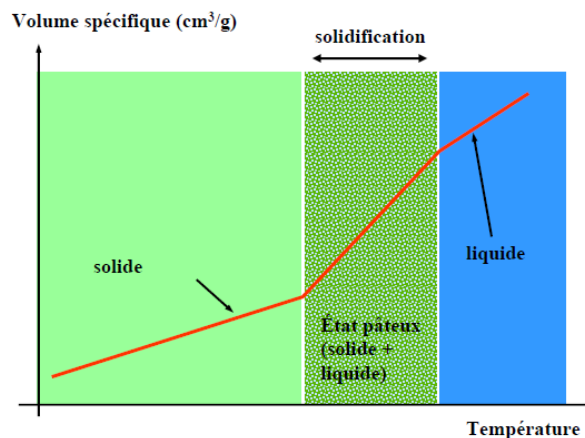
La **fonderie** est l'ensemble des moyens qui permettent de produire des pièces brutes par **coulée d'un alliage en fusion** dans un moule qui comporte une empreinte en **sable**, en **métal** ou en **céramique**. Cette industrie de mise en forme des métaux et des alliages se situe entre la sidérurgie qui, à partir de minerais élabore des alliages mis sous forme de semi-produits, et les industries de construction qui réalisent des ensembles mécaniques dans lesquels s'intègrent des pièces moulées.



### I.2. Les alliages de fonderie

La gamme des matériaux moulables est très étendue, les principaux alliages utilisés sont les fontes, les aciers, les alliages de cuivre, aluminium, zinc, magnésium, plomb, etc.

Le passage de l'état liquide à l'état solide s'accompagne d'un retrait.



| Métal                        | Al | Cu | Mg | Zn   | Fe   |
|------------------------------|----|----|----|------|------|
| Contraction liquide – solide | 7% | 5% | 4% | 3,7% | 2,7% |

### I.3. Avantages et problèmes liés au procédé

L'avantage principal du procédé est d'obtenir des pièces de forme complexe et creuse d'un poids variant de quelques grammes à plusieurs tonnes.

Les séries sont très variables : du prototype à plusieurs milliers de pièces.

Cependant la fusion de l'alliage (phase liquide) amène des problèmes liés à la solidification et au refroidissement. L'alliage se contracte pendant le changement de phase et ensuite pendant le refroidissement (quand il est solidifié). Ces contractions se manifestent par :

- des écarts dimensionnels importants
- des contraintes mécaniques internes amenant parfois des ruptures de pièce dans le moule (crique à chaud)
- des trous dans la pièce appelés retassures
- une structure de la matière hétérogène

#### **I.4. Les différents types de moulage**

On distingue deux différents types de moulage suivant la nature du moule.

Le moulage en moule non permanent ou *destructible* et le moulage en moule permanent ou *moulage coquille*.

##### **I.4.1. Le moulage destructible :**

Il ne permet d'obtenir qu'une pièce par moule. De ce fait le réfractaire doit être économique et on utilise un sable, la silice  $\text{SiO}_2$  ou un autre oxyde métallique.

La cohésion du sable est donnée par un liant minéral (argile), chimique (résine de synthèse), physique (le vide) ou bien il est utilisé sans liant.

L'empreinte dans le moule est laissée par un modèle qui lui-même peut être permanent (on fait plusieurs empreintes avec le même modèle) ou destructible (dans ce cas il faut un modèle par pièce).

##### **I.4.2. Le moulage permanent :**

Le moulage en moule permanent permet d'obtenir de nombreuses pièces à partir du même moule généralement métallique. Le coût du moule oblige un amortissement sur de grosses séries de pièces.

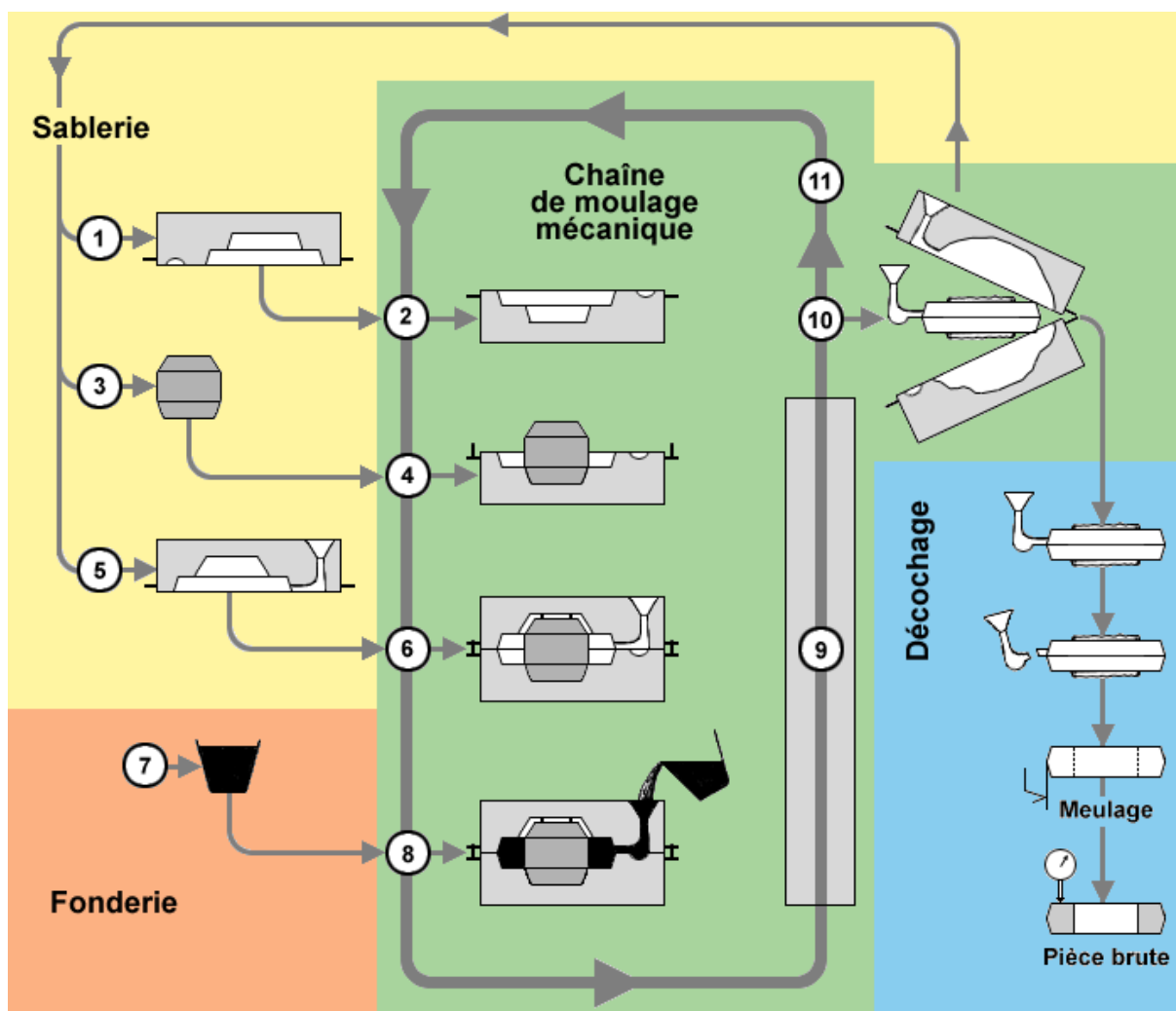
Suivant la technologie employée, on distingue le moulage en coquille par gravité (avec la pression atmosphérique), le moulage sous pression avec les techniques de la chambre chaude et de la chambre froide, et la centrifugation basée sur l'effet centrifuge (pour les tubes essentiellement).

## **II. LE MOULAGE EN MOULE DESTRUCTIBLE**

Pour fabriquer une pièce, il faut un moule et un modèle. Après coulée et refroidissement on casse le moule pour extraire la grappe (décochage).

L'empreinte sera réalisée :

- avec un modèle non permanent ou destructible ; une pièce = un modèle
- ou avec un modèle permanent ; un modèle = N pièces



## II.1. Moulage avec modèle permanent

L'outillage permet d'obtenir l'empreinte de la pièce dans le réfractaire.

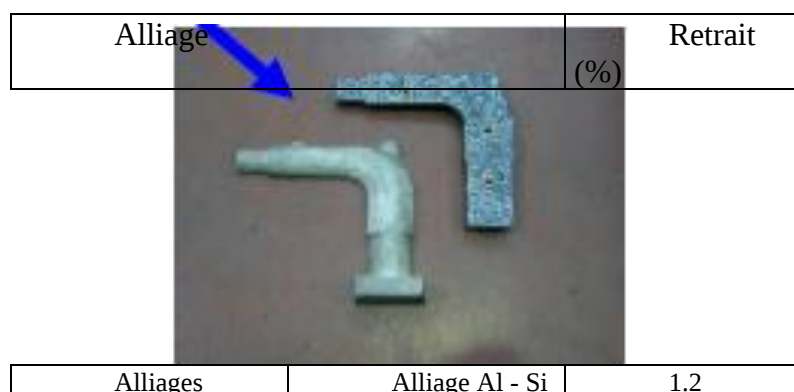
Il se compose d'un modèle et d'une boîte à noyau (moule à noyau).

### II.1.1. Le modèle.

Il est fabriqué par usinage dans un bloc ou bien coulé dans une résine polyester genre Araldite. On le classe suivant sa précision par une lettre.

C'est une image de la pièce à réaliser mais elle en diffère par :

- Une homothétie pour tenir compte du **retrait** linéaire dû à la contraction de l'alliage pendant son refroidissement en phase solide.
- Des parties supplémentaires ou portées de noyau qui positionnent le noyau dans le moule.



|                   |                |           |
|-------------------|----------------|-----------|
| d'aluminium       | Alliage Al -Cu | 1.3       |
|                   | Alliage Al-Mg  | 1.3       |
| Alliages ferreux  | Acier carbone  | 2 à 2.4   |
|                   | Acier allié    | 2.2 à 2.4 |
|                   | Fonte GL       | 0.5 à 1   |
|                   | Fonte GS       | 1 à 1.6   |
|                   | Fonte carbure  | 1.5 à 2   |
| Alliages cuivreux | Bronze         | 1.3       |
|                   | Laiton         | 1.5       |
|                   | Alliage Zn     | 0.5       |
|                   | Alliage Mg     | 5         |

### *Retrait de quelques alliages*

#### **a. Retrait**

C'est un phénomène physique de contraction du métal (ou alliage) lors de sa solidification (recristallisation).

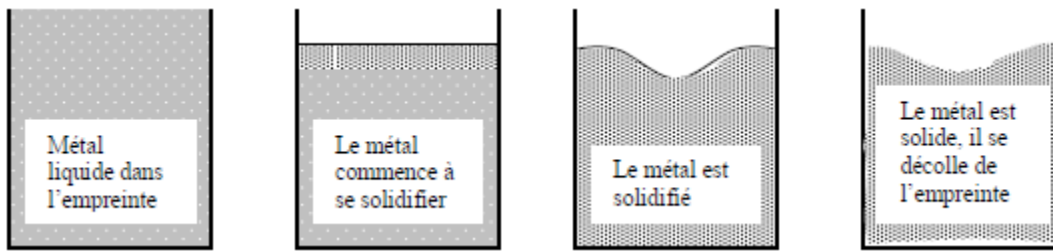


Schéma de variations de volume de l'acier, depuis l'état liquide

Son existence oblige le modelleur à prévoir sur le modèle des dimensions supérieures à celles de la pièce, d'environ : - 1,2 à 2,4% pour les aciers

- 1 à 1,5% pour les fontes

- 1,2 à 1,6% pour les alliages d'aluminium et cuivreux

#### **b. La dépouille :**

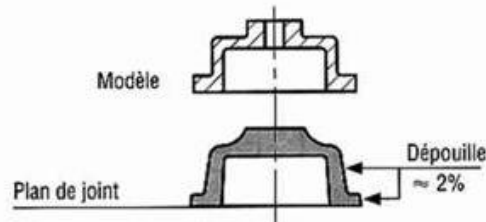
Inclinaison des parois verticales du modèle ou boîte à noyaux par rapport au sens de démoulage, elle permet de faciliter l'extraction du modèle en moulage sable ou de la pièce en moulage coquille. Le sens du démoulage est défini par le plan de joint.

Une dépouille importante facilite le démoulage. On préconise :

- pour une hauteur de dépouille < 50 mm      dépouille mini : 1%
- pour une hauteur de dépouille de 50 à 100 mm      dépouille mini : 2 à 2.5%

Le modèle pour pouvoir être extrait du moule (démoulage) doit être en dépouille. La dépouille est exprimée par une pente.

| Modèle                  | Dépouille (%) | Angle (°) |
|-------------------------|---------------|-----------|
| « sans » dépouille      | 0.5           | 0°17'     |
| dépouille réduite       | 1             | 0°34'     |
| dépouille normale       | 2             | 1°84'     |
| dépouille accentuée     | 5             | 2°51'     |
| portée de noyau normale | 10            | 5°42'     |
| portée de coiffage      | 20            | 11°18'    |
| talus de plaque         | 100           | 45°       |



### c. Les surépaisseurs d'usinages :

Réserves de matière nécessaires à l'usinage, elles sont fonction du nombre de passes effectuées et des copeaux minima (ébauche, semi-finition, finition).

#### ➤ Tolérances et surépaisseurs d'usinage

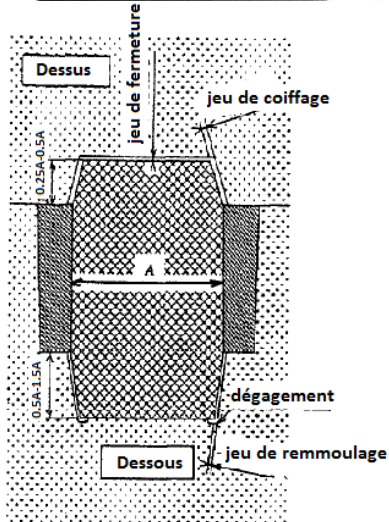
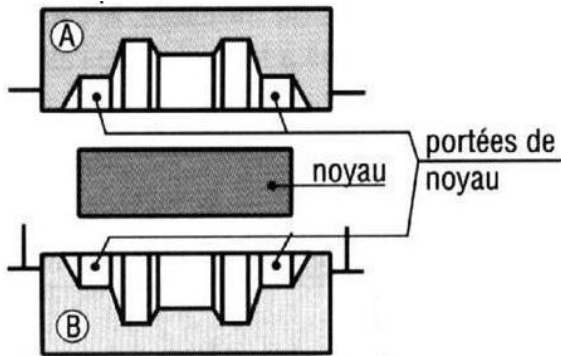
Les tolérances de moulages sont meilleures qu'avec le moulage sable (on peut obtenir  $\pm 0.3$  sur 200 mm).

La surépaisseur mini pour l'usinage est de 1 mm.

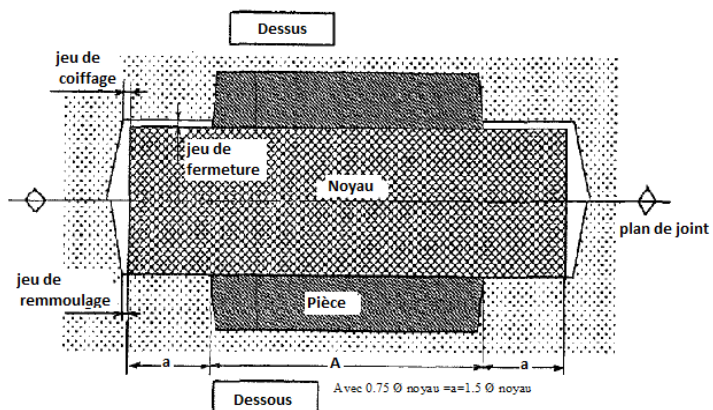
### d. Les portées de noyau :

Lorsque les formes intérieures de la pièce ne peuvent être obtenues avec le modèle : emploi de noyau en sable réalisés dans des boîtes à noyaux. Dans ce cas le modèle comprend les portées de noyaux.

Parties rapportées au positif sur les modèles avec noyau pour maintenir, soutenir et positionner ces derniers.



Noyau vertical



Noyau horizontal

### Dépouilles des portées des noyaux

Dessous : 10%

Dessus : 20%

### II.1.2. La boîte à noyau.

C'est le moule à noyau. Il faut autant de noyaux que de pièces à mouler car le noyau est détruit à chaque pièce (débouillage).

Le noyau doit pouvoir sortir de la boîte et comporte donc une dépouille. La dépouille des portées est accentuée pour faciliter la pose du noyau dans l'empreinte.

Dans ce process on reporte les difficultés géométriques de la pièce sur le noyau et de ce fait, il est souvent complexe. On peut être amené pour le réaliser à le fabriquer en plusieurs parties et à les coller ensuite.

La boîte à noyau est réalisée comme le modèle. Son coût augmente avec sa précision. L'utilisation de sables spéciaux impose parfois le matériau notamment par le procédé de boîte



## II.2. Joints de moulage ou plan de joint

Un moule se compose en générale de deux parties essentielles :

- Un dessous, dans lequel se trouve en creux la partie principale de l'empreinte du modèle,
- Un dessus qui sert de couvercle et qui peut contenir aussi une partie de l'empreinte.

La surface de contact de ces deux parties constitue le joint du moule (plan de joint), correspondant en général au contour apparent maximum du modèle.

Conditions importantes :

Supposons (figure 1) un joint de moule J, plan et horizontal, correspondant au contour apparent maximum du modèle.

Pour être en mesure d'extraire celui-ci dans le sens F perpendiculairement à J, il est indispensable que, partant de X, chaque point de la ligne XY se trouve en retrait, vers la droite, du point qui le précède immédiatement.

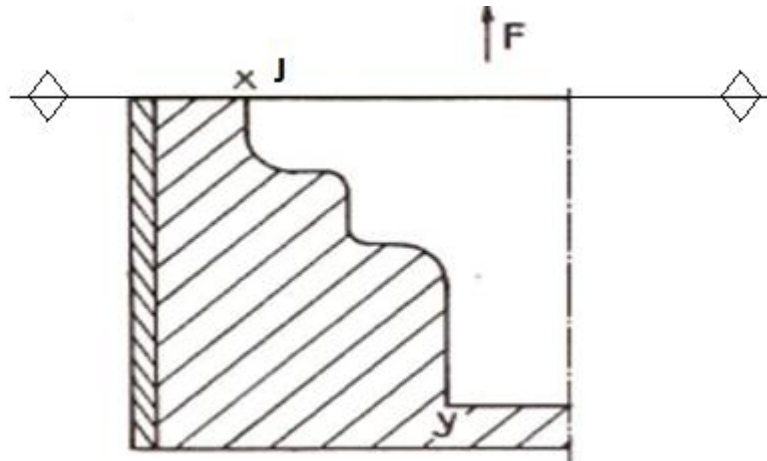


Figure 1 : plan de joint unique

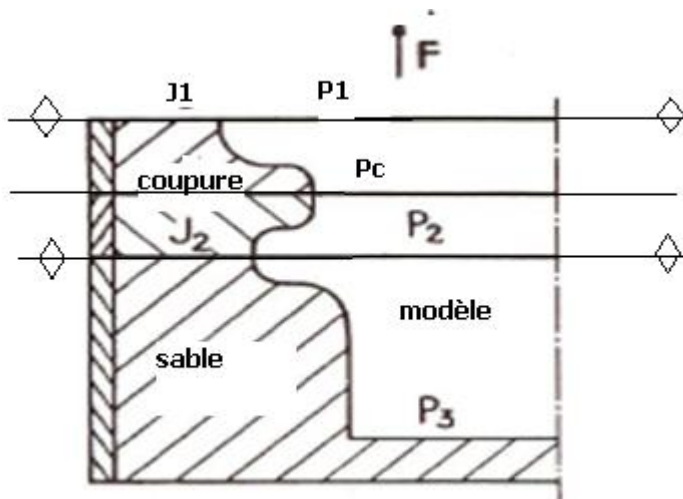


Figure 2 : plan de joint multiples

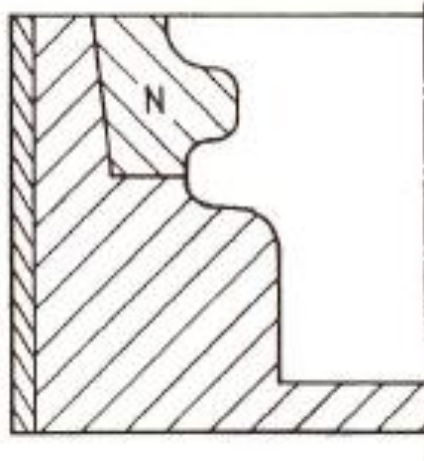
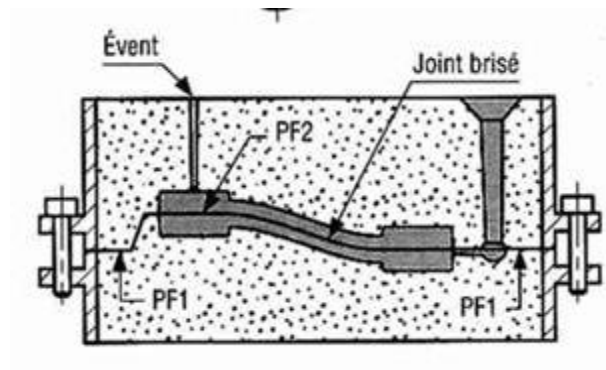


Figure 3 : noyau extérieur

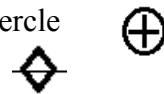


Plan de joint brisé

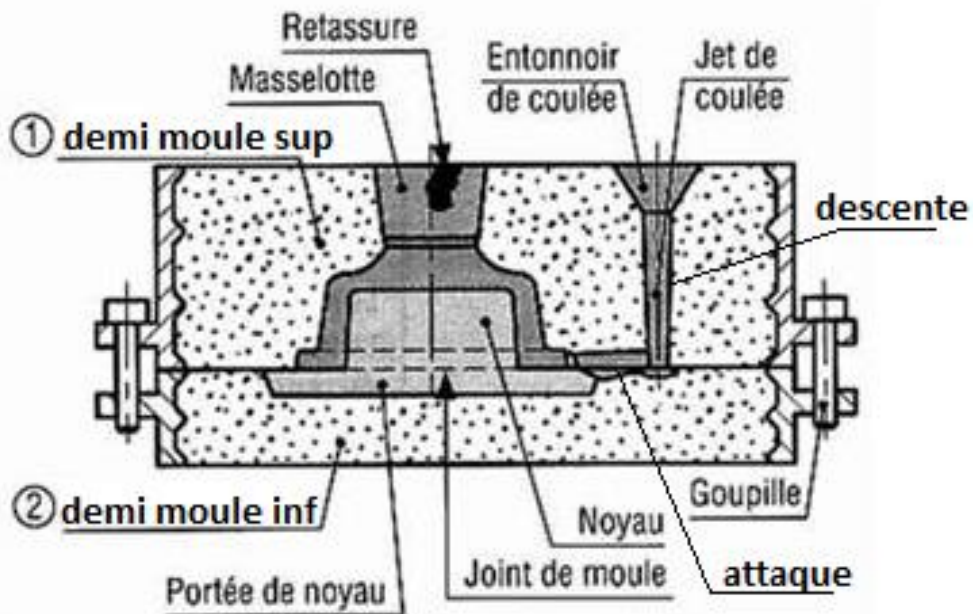
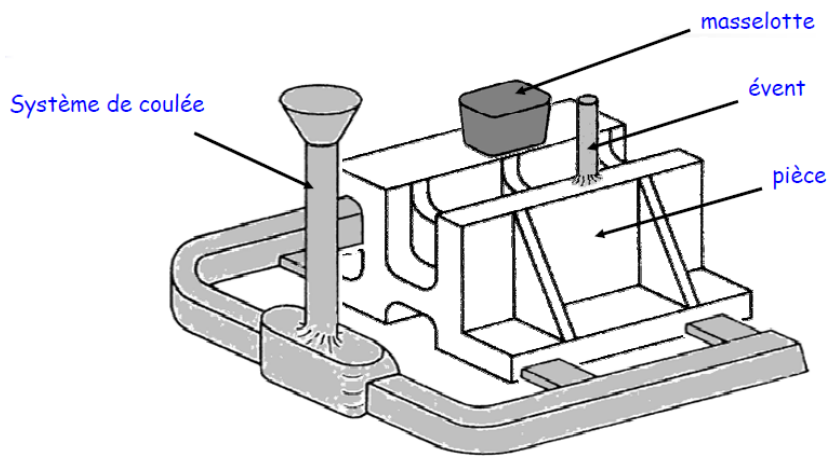
### Notation de plan de joint

Si c'est le plan de la feuille on mettra un plus à l'intérieur d'un cercle

Si c'est le plan perpendiculaire on met deux drapeaux croisés

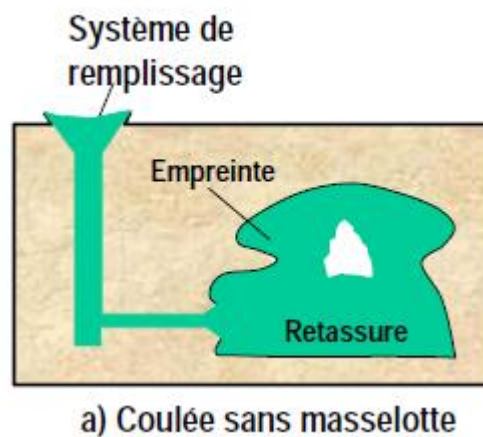


### II.3. Système de coulée et d'alimentation



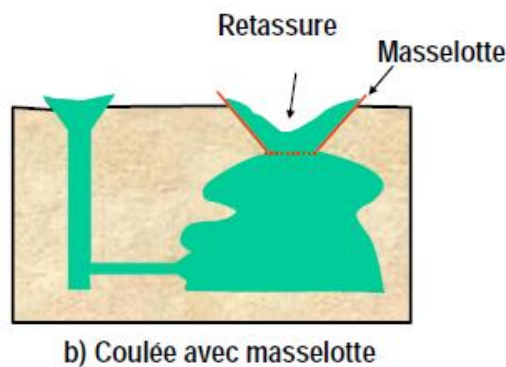
### II.3.1. Le système de remplissage

Le métal liquide pénètre au moule par l'intermédiaire du système de remplissage composé d'un entonnoir, une descente et une attaque.



#### e. Les différents types de coulée

### II.3.2. Système d'alimentation



Le système d'alimentation est composé des masselottes et des cols de liaison, ainsi que des refroidisseurs ; leur rôle est d'éviter la formation de retassures afin d'obtenir la compacité optimale de la pièce, définie par le cahier des charges.

#### **Masselotte**

C'est une cavité réalisée dans le moule et formant un réservoir d'alliage liquide lors du remplissage du moule. Elle restitue à l'empreinte une partie de l'alliage liquide, afin de compenser les déficits volumiques dus au refroidissement et à la solidification de l'alliage dans l'empreinte.

La liaison de la masselotte avec la pièce se fait par un col facilitant la séparation ultérieure lors de l'ébarbage.

### II.4. Le SABLE

#### II.4.1. Le sable à vert

C'est un matériau constitué de sable siliceux (ou quartzueux) et d'un liant (souvent l'argile + eau) qui assure la liaison entre les grains de sable et la cohésion du moule (après serrage, soufflage). On y ajoute fréquemment des produits d'addition destinés à compléter ou à modifier certaines propriétés : antioxydant, stabilisateur dimensionnel ou d'humidité...

Le principal critère de choix d'un sable est sa granulométrie car le diamètre moyen du grain de sable (du gravier au 75 microns) doit être adapté à la nature de l'alliage coulé et à la taille des pièces réalisées.

🚧 La cohésion du sable à vert (silico-argileux)

Le sable de moulage est préparé dans une **sablerie** entité obligée de toute fonderie. Le sable, l'argile et l'eau d'addition sont amenés dans un malaxeur muni de palets en rotation. Sous l'action des palets un film d'argile gonflée d'eau englobe chaque grain de silice. Le sable garde une fluidité qui permet de remplir le châssis.

Par un serrage mécanique, on approche les grains enrobés et on établit des ponts entre l'argile entourant les grains. Ces ponts forment une liaison physique et donnent la résistance mécanique au sable. La résistance à la compression se mesure mais celle à la traction est pratiquement nulle.

#### Comportement à la coulée

Au moment de la coulée le sable s'échauffe en recevant la chaleur de la pièce qui se refroidit. L'élévation de température provoque d'une part la vaporisation de l'eau d'addition et donc une contraction de l'argile, et d'autre part le chauffage de la silice qui se dilate.

Un bon sable est bien préparé si ces variations volumiques se neutralisent à peu près.

#### Recyclage

Le recyclage du sable après moulage est assez facile. Il consiste après cassage des mottes (sable du moule) et élimination des déchets métalliques en un remplacement de l'eau d'addition évaporée et un ajout d'argile active. Le tout repasse au malaxeur et le sable est de nouveau prêt.

**Avantage** : coût, recyclage, bien connu

**Inconvénient** : résistance mécanique médiocre, précision dimensionnelle, problème d'humidité, ne se conserve pas.

#### Utilisation

Le sable à vert est utilisé en moulage machine pour remplir les châssis.

### II.4.2. Le sable à prise chimique

Pour pallier les inconvénients du sable à vert, on remplace le liant argile par une résine chimique. Les procédés sont nombreux et évoluent sans cesse avec le développement de la chimie. On distingue ces divers procédés par le mode de durcissement suivant qu'il est : thermique ou procédé boîte chaude liquide gazeux

On dose suivant la granulométrie du sable, plus le sable est fin, plus on ajoute de résine pour une même résistance mécanique.

#### Cohésion d'un sable à résine

On mélange dans un malaxeur la silice, les résines et le catalyseur. Sous l'action des palets du malaxeur, les grains de sable sont enrobés d'une couche de résine. La réaction de polymérisation démarre. Le sable est encore fluide.

On remplit le châssis avec ce mélange et on donne une vibration sans serrage pour avoir un remplissage correct. Les grains enrobés de résine étant en contact, la réaction de polymérisation de la résine va créer des ponts mécaniques et donner la résistance à l'ensemble.

#### Comportement à la coulée

Au contact de l'alliage en fusion, la résine subit un craquage. Sur une faible épaisseur, le sable perd sa cohésion. Ce phénomène présente plusieurs intérêts pour les noyaux en facilitant le **débouillage** et en limitant la crique à chaud.

**Avantage** : pas de reprise d'humidité, qualité mécanique améliorée

**Inconvénient** : coût des résines, pollution, recyclage

## Utilisation

On utilise le sable à prise chimique :

Pour le remplissage du moule en moulage manuel ou en petite série

Pour la fabrication des noyaux quelque soit la série.

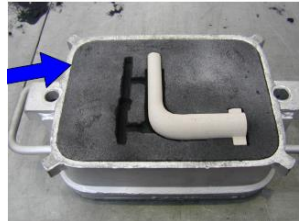
### II.5. Gamme opératoire en moulage machine



Réalisation du châssis inférieur et supérieur sur une machine à mouler



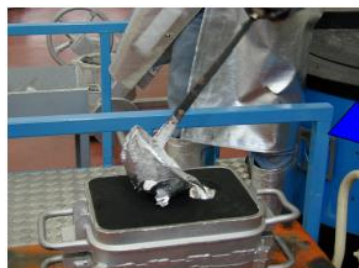
**Démoulage** : séparer le modèle des châssis



**Remmoulage** : mise en place du noyau



**Fermeture du moule**



**Coulée et refroidissement**



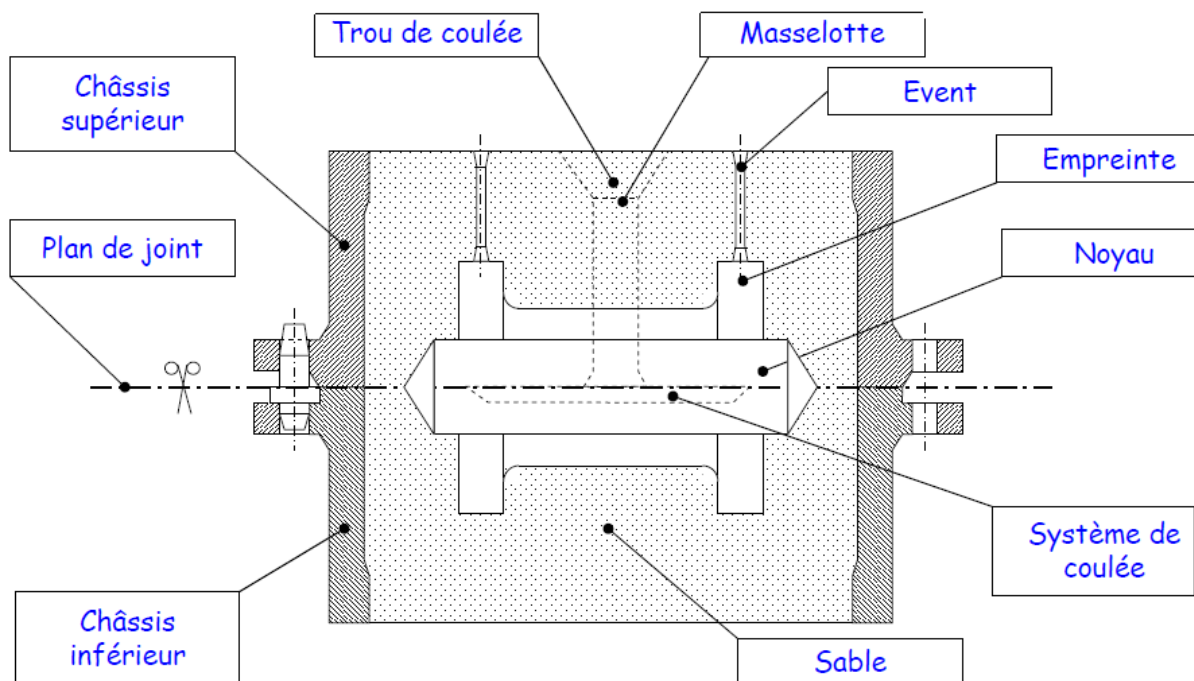
**Décochage** : casser le moule pour récupérer la grappe par secousses

**Débouillage** : casser les noyaux sans mélanger les sables par jet de grenaille  
Séparation des éléments de coulée

**Grenailage** : obligatoire pour les ferreux pour éliminer la gangue de sable

**Ebarbage** : opération souvent manuelle de finition (bavure, attaque ...)

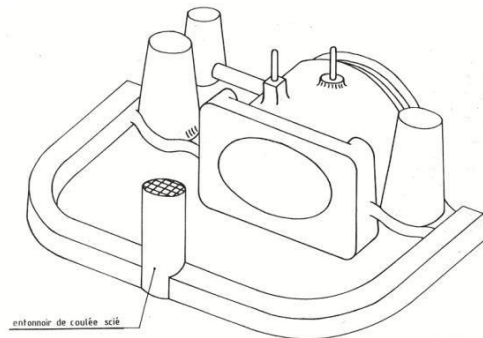
## II.6. Vocabulaire spécifique



# Fonderie en sable : du modèle à la pièce

*L'objectif est d'étudier la technologie liée au procédé de moulage en sable de pièces en alliage d'aluminium.*

La fonderie consiste à couler un métal ou un alliage liquide dans un moule afin de reproduire une pièce dans ses formes intérieures et extérieures, en limitant autant que faire se peut les travaux de finition après refroidissement. Ce procédé de formage des métaux est utilisé dans de nombreux secteurs, les techniques utilisées dépendent du matériau, des dimensions et des caractéristiques géométriques de la pièce à obtenir, et des quantités à produire. Cependant quel que soit le procédé employé, les pièces issues de moulage suivent les mêmes règles de tracé.

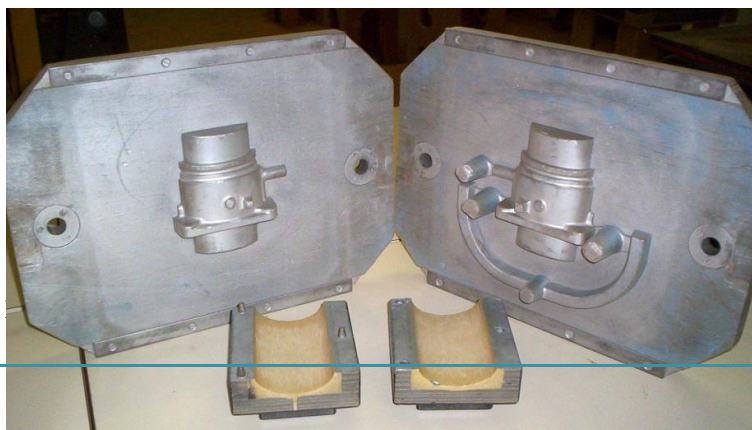


*Figure 1 : Esquisse de la pièce brute de moulage*

Cette ressource détaille les différentes phases de réalisation d'une pièce moulée en sable, de la préparation des matériaux au décochage de la pièce en passant par l'élaboration du moule et du noyau et la coulée de l'aluminium.

## 1 – Introduction

La pièce à mouler est un boîtier papillon réalisée en alliage d'aluminium dans un moule en sable. L'objet de cette ressource est de montrer les différentes phases du procédé de fonderie ; le modèle



est réalisé par ailleurs.

*Figure 2 : Les plaques modèles et la boîte à noyau*

## 2 – Réalisation du noyau

Le noyau, de forme simple pour cette pièce, est réalisé à l'aide d'une boîte à noyau (figure 2) et avec du sable aggloméré, mélange de silice et de silicate de soude (3% en masse). La boîte à noyau montée est remplie du mélange, tassé de façon homogène. Le mélange est ensuite piqué à l'aide d'une aiguille afin de laisser circuler le durcisseur injecté ( $\text{CO}_2$ ). Lorsque le noyau est durci, la boîte est démontée, le noyau délicatement sorti et ébavuré (figure 3).



*Figure 3 : Le noyau sorti de sa boîte*

## 3 – Réalisation du moule

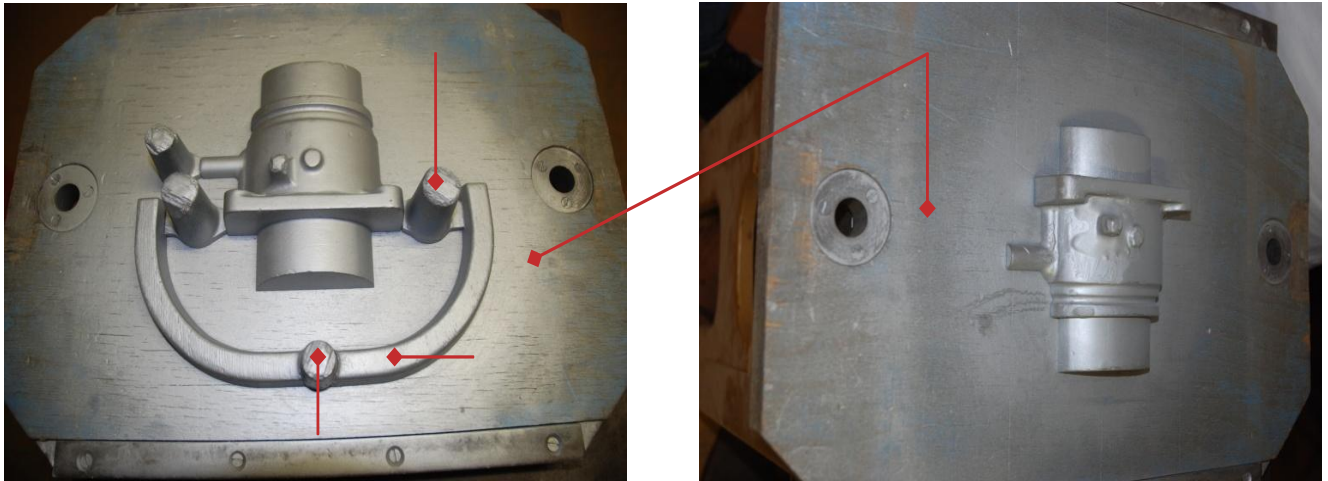
### 3.1 - Préparation du sable à vert

Le sable utilisé est composé de silice et d'argile, il est de couleur brune/oranger, et noircit au contact du métal chaud. Il est cependant réutilisable à l'infini une fois remis en condition : tamisé, aéré et humidifié. L'argile humidifiée est le liant des grains de silice. Avant utilisation du sable à vert, il faut mesurer le taux d'humidité et le ramener à 6%.

### 3.2 – Élaboration d'un demi-moule

Les deux plaques modèle (figure 4) sont fixées successivement sur la machine à mouler. Une de deux plaques comporte le canal d'alimentation et les masselottes. Un châssis positionné sur la plaque à l'aide de deux goujons de centrage (figure 5) comporte à sa base deux barres qui reposent sur les chandelles de la machine.

Les plaques modèle doivent être nettoyées des précédentes utilisations et en parfait état, tout défaut sur la surface utile du moulage sera reproduit sur la surface de la future pièce. Il faut donc veiller à maintenir les plaques modèle en déposant du talc ou de l'agent démoulant pour éviter l'adhérence du sable sur la plaque modèle.



*Figure 4 : Plaques modèle avec canaux d'alimentation, masselottes et trou de coulée*

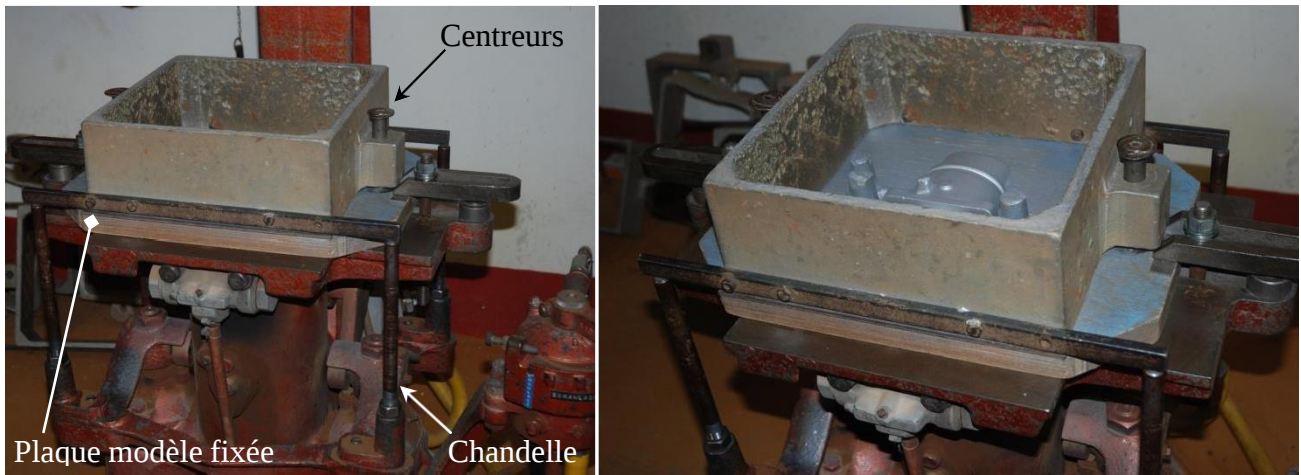


Figure 5 : Plaque modèle fixée sur la machine et le châssis positionné

Le châssis est rempli de sable tamisé pour la partie en contact avec la forme de la pièce ; de la granulométrie du sable en contact avec le modèle dépendra la qualité de l'état de surface de la pièce. Le sable doit être réparti correctement particulièrement aux endroits sensibles, il est progressivement tassé à la main, puis à l'aide de fouloirs lorsque la hauteur est suffisante pour ne pas endommager le modèle (figure 6). Le niveau du sable doit dépasser le bord supérieur du châssis, la machine



terminant le travail (figure 7). Figure 6 : Remplissage du châssis avec le sable à vert

Figure 7 : Tassement mécanique du sable à vert dans le châssis



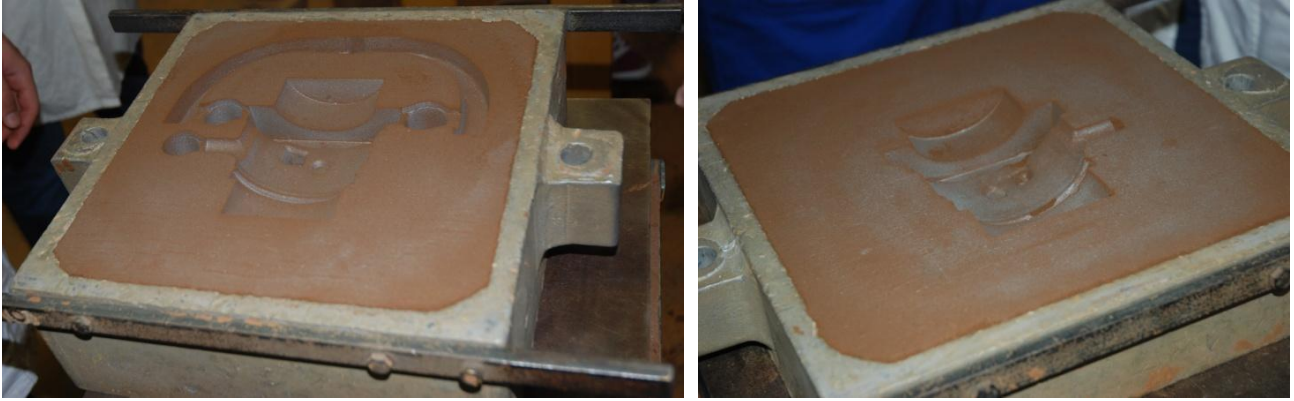
Le sable est arasé à hauteur de châssis afin d'obtenir une surface plane (figure 8), cette surface sert d'appui pour un des demi-moules lors de la phase de coulée. Puis par vibrations de la machine, le sable est décollé de la plaque modèle. Enfin le châssis est soulevé par les chandelles, la plaque modèle est libérée verticalement (figure 9) afin de ne pas abîmer l'empreinte déposée dans chaque demi-moule (figure 10).



*Figure 8 : Arasement du sable (raclage)*



*Figure 9 : Montée du châssis, libération des plaques modèle*



*Figures 10 : Empreintes dans les châssis, la couleur argentée est un résidu de l'agent démoulant*

### 3.3 – Réalisation des évents et du trou de coulée

Les évents facilitent l'évacuation des gaz lors de la coulée, ils sont réalisés à l'aide d'aiguille (figure 11). Le trou de coulée a été ébauché par la plaque modèle, il s'agit maintenant de le rendre débouchant (figure 12).



Figure 11 : Réalisation des évents à l'aiguille



Figure 12 : Prolongation du trou de coulée

Le châssis est ensuite retourné, puis l'ouverture du trou coulée est agrandie. La forme pyramidale du trou de coulée (figure 13) facilite la visée lors du remplissage et évite la création de vortex, ce qui pourrait entraîner grains de sable et bulles d'air dans le métal et donc des défauts dans la pièce.



Figure 13 : Finition du trou de coulée

### 3.4 – Assemblage du moule

Le noyau préalablement réalisé est positionné délicatement dans l'empreinte du châssis inférieur (celui qui ne comporte pas le trou de coulée). Puis les deux châssis sont superposés en veillant à leur bonne orientation l'un par rapport à l'autre. Les goujons assurent le bon positionnement et le maintien des deux châssis (figure 15).



Figure 14 : Positionnement du noyau



Figure 15 : Assemblage des deux châssis

#### 4 – Coulée

Le moule est posé à proximité du four contenant l'alliage liquide. La température (environ 700°C) nécessite un équipement de protection : casque avec masque, tablier, guêtres et moufles (figure 16). La coulée doit être faite rapidement en un seul geste (figure 17), il est nécessaire de prélever la bonne quantité à l'aide de la louche préalablement poteyée.



Figure 16 : Prélèvement de l'alliage liquide



Figure 17 : Coulée et remplissage du moule

## 5 – Obtention de la pièce

La pièce se solidifie mais se refroidit que très peu, il est important de réaliser le démoulage avec précaution. La pièce est solidaire du châssis supérieur séparé en le soulevant du châssis inférieur, qui garde la trace de la pièce moulée, l'empreinte est



noircie (figure 18).

*Figure 18 : **Décochage** ; Séparation des deux châssis. Les différentes couleurs du sable après extraction de la pièce :*

*1 partie brûlée, 2 partie chauffée jusqu'à environ 100°C (évaporation de l'eau), 3 partie non affectée thermiquement (importante isolation du moule en sable, le châssis reste à température ambiante)*

Le noyau est inclus dans la pièce (figure 19), il est préférable de ne pas mélanger les deux sables

; il faut donc extraire dans un premier temps la pièce et son noyau (figure 20), puis éliminer ensuite le noyau (**débouillage**) (figure 21).



*Figure 19 : La pièce et son noyau dans le châssis supérieur*



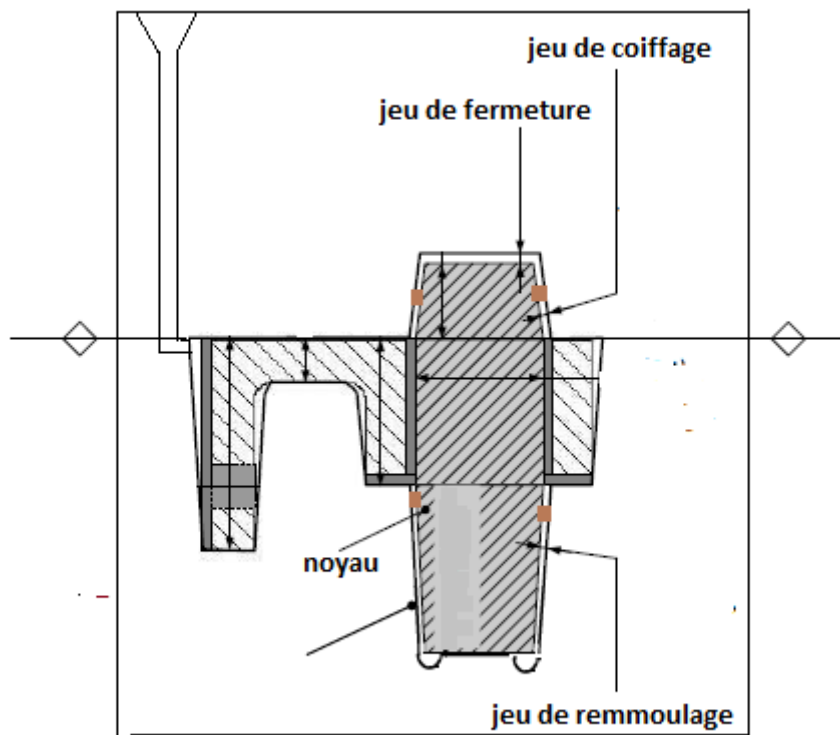
*Figure 20 : Destruction du moule pour extraire la pièce brute de moulage et son noyau inclus*



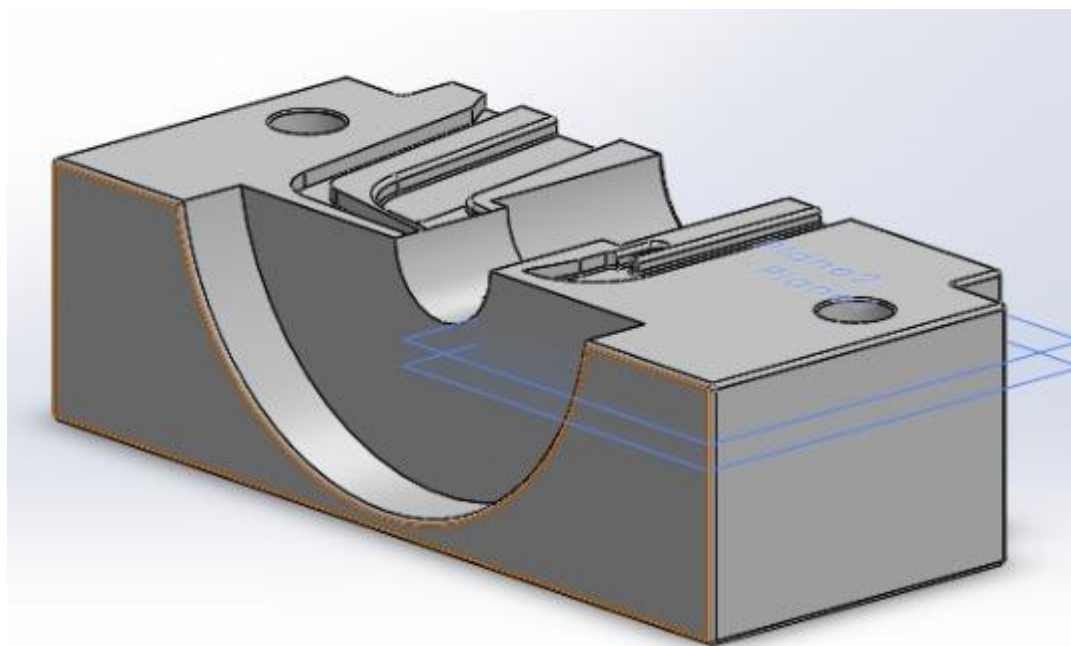
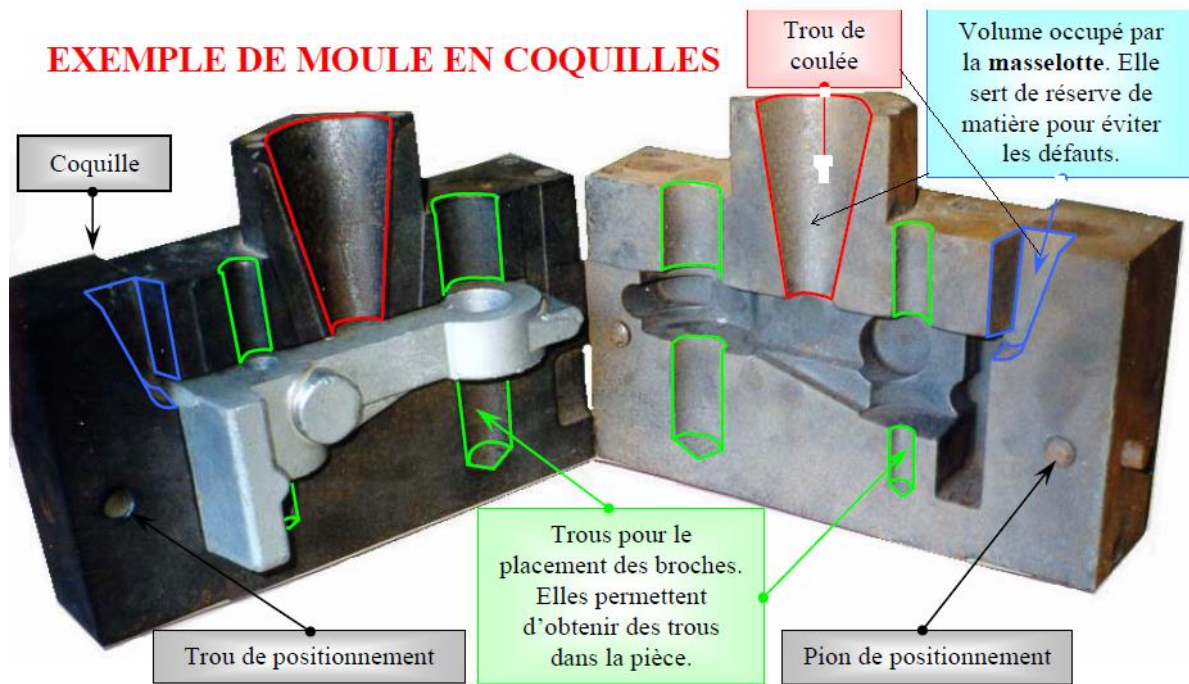
*Figure 21 : La pièce brute*

La pièce brute porte le canal d'alimentation et les masselottes qu'il faut par la suite éliminer. On remarque aussi la trace du plan de joint entre les deux châssis du moule.

### Etude de moulage en moule non permanent



### III. LE MOULAGE EN MOULE PERMANENT



Chape

### III.1. Les procédés

Un moule métallique permet de mouler plusieurs pièces.  
Les séries seront importantes (plusieurs milliers de pièces) pour amortir le coût élevé des investissements : études, réalisation et mise au point.

Dans l'industrie les cycles sont automatisés et chaque moule a sa cadence de production  
Principe du cycle de moulage :

- Fermeture du moule
- Coulée du métal en fusion
- Refroidissement : solidification de la matière
- Ouverture du moule
- Éjection de la grappe
- Poteyage
- Fermeture du moule

Il existe 3 catégories de procédé suivant l'effort appliqué sur l'alliage :

- ✚ Moulage en coquille par gravité
- ✚ Moulage en coquille sous pression
- ✚ Moulage par centrifugation

La fonction de moulage sera assurée par :

La semelle ; les chapes ; les noyaux ; les broches.

**La semelle** est le support des chapes et a plusieurs fonctions.

- a- Elle peut uniquement supporter et guider les chapes si celles-ci comportent toute l'empreinte.
- b- Elle peut en plus de supporter et guider les chapes comporter une partie de l'empreinte. Cette partie, est rapportée pour faciliter son remplacement (ou sa réparation) car elle est plus sollicitée thermiquement que le reste de la semelle. Cette partie moulante rapportée est cylindrique ou prismatique. Elle est en relief (on l'appelle **talus**) et elle assure le centrage des chapes, c'est-à-dire le repérage du reste de l'empreinte (voir figure1).

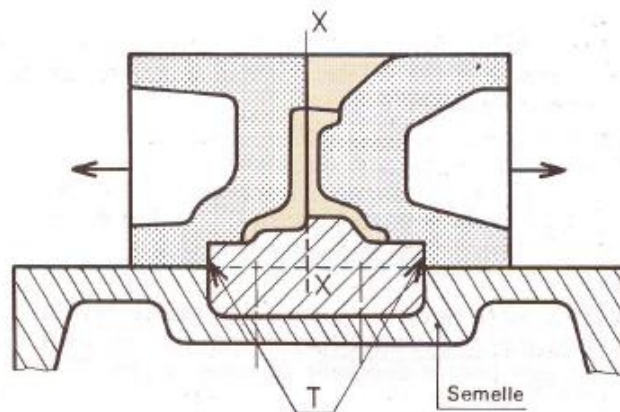


Figure 1

- c- Elle peut comporter toute l'empreinte, les chapes ayant une autre fonction (voir fig 2).

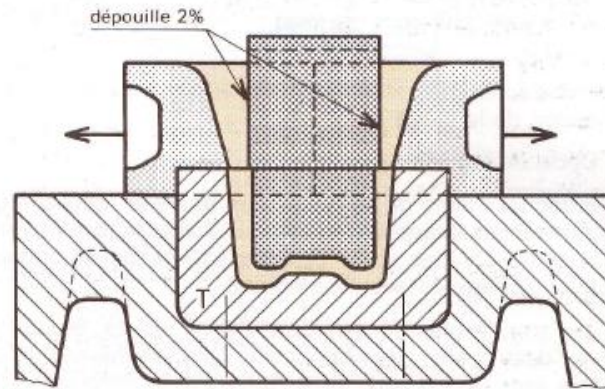
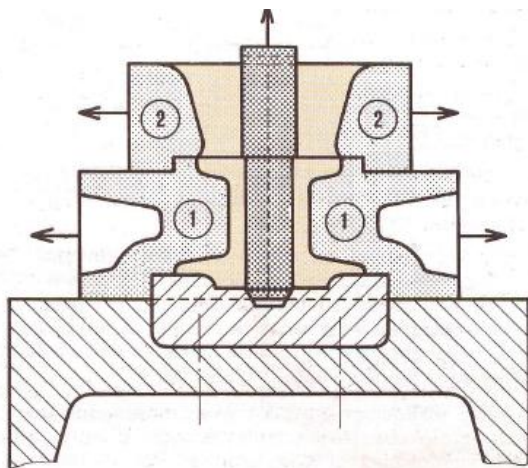


Figure 2

**Les chapes** donnent tout ou partie, des formes extérieures suivant la configuration de la semelle. Dans le cas « c » les chapes ne comportent que le système de remplissage et d'alimentation, ainsi que des noyaux éventuellement : elles sont appelées **chapes à jet**. ces chapes particulières peuvent exister dans le cas « a » ou « b » et elles sont alors supportées et guidées par les chapes moulantes (voir figure 3). Les chapes sont souvent mobiles bien que l'on puisse rencontrer le cas d'une des chapes est fixée sur la semelle, l'autre étant mobile. La partie male du guidage est un lardon fixé sur la chape, la rainure correspondante étant usinée dans la semelle.



Il faut assurer le centrage relatif des chapes. Celui-ci est réalisé par deux ou trois goujons et bagues cylindriques suivant l'étendue du joint.

Figure 3

**Les noyaux** sont les éléments moulants qui permettent l'obtention des formes intérieures et plus généralement, de toutes les formes en contre-dépouille.

Qu'entend-on par forme en contre-dépouille dans le moulage en coquille ?

- a) Par rapport à la direction de translation des chapes et à la direction d'éjection de la pièce, on peut trouver une troisième direction de démoulage d'une forme : celle-ci sera considérée en contre-dépouille (v. fig. 4, translation F 4 en contre-dépouille par rapport à F1, F2 et F3).

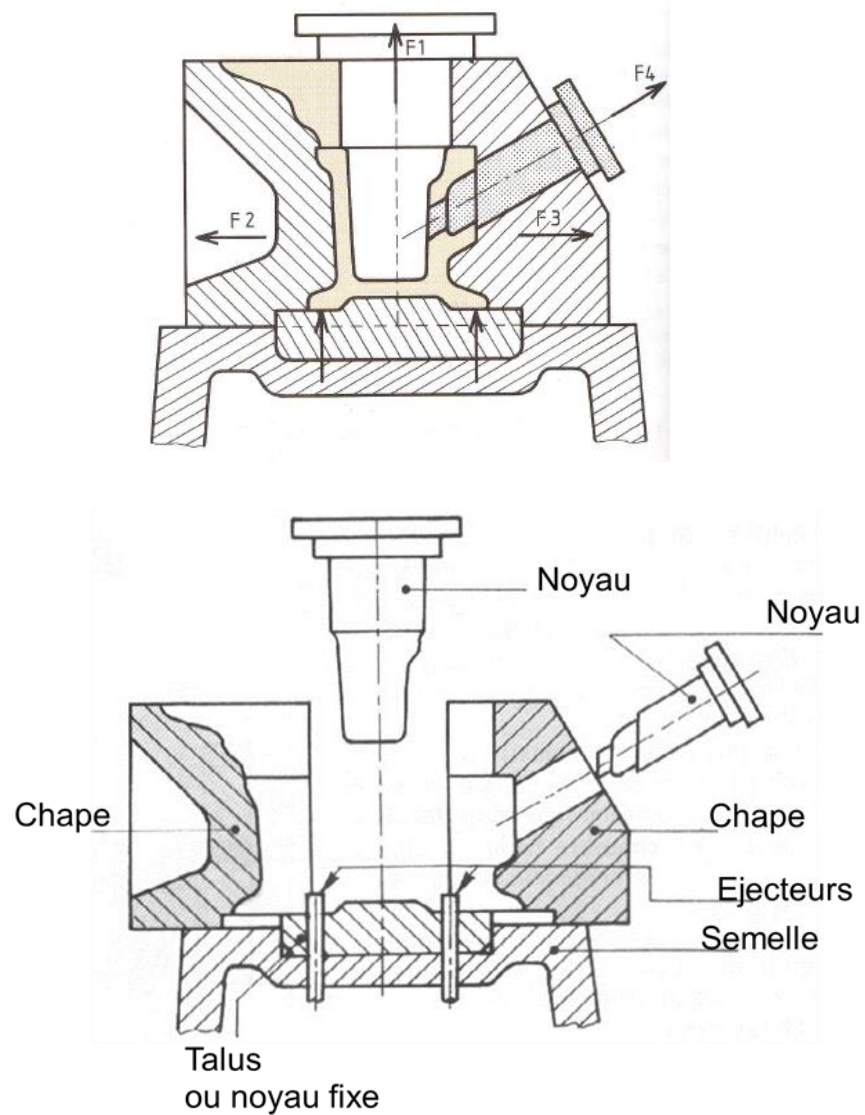


Figure 4

- b) On peut trouver une forme presque fermée ne permettant pas une translation du noyau : on peut dire que c'est une contre-dépouille absolue (v. fig. 5, forme intérieure).

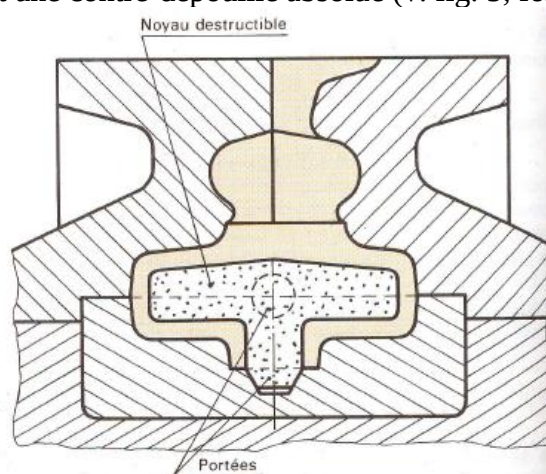
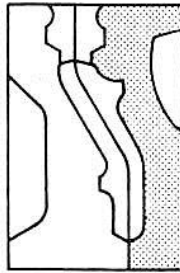


Figure 5

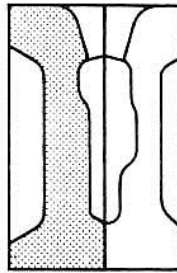
Pour chacun de ces deux cas, la conception du noyau sera fondamentalement différente. Dans le premier cas, le noyau peut être permanent dans le deuxième cas, il est obligatoirement destructible, c'est-à-dire en sable aggloméré à chaud ou à froid.

### III.2. Le moulage en coquille par gravité

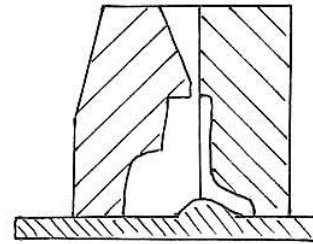
#### III.2.1. Conception des outillages



Joint brisé



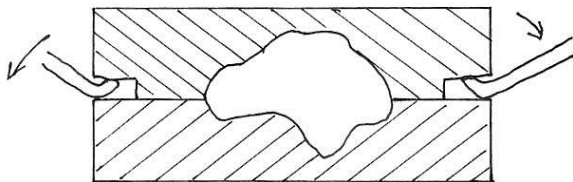
Joint plan



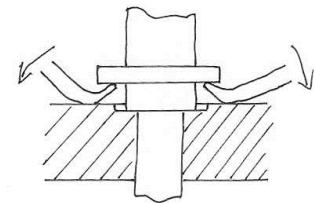
- Moule en une partie : lingotière
- Moule en deux parties (chapes) joint vertical
- Moule en 3 parties qui nécessite un guidage entre la semelle et les chapes

#### III.2.2. Démoulage

Pour diverses raisons et en particulier un retard à l'ouverture les efforts de démoulage peuvent devenir importants, il faut donc prévoir des dispositifs d'aide à l'ouverture : encoches symétriques sur les chapes, double épaulement sur les chapes, utilisation de vérins hydrauliques

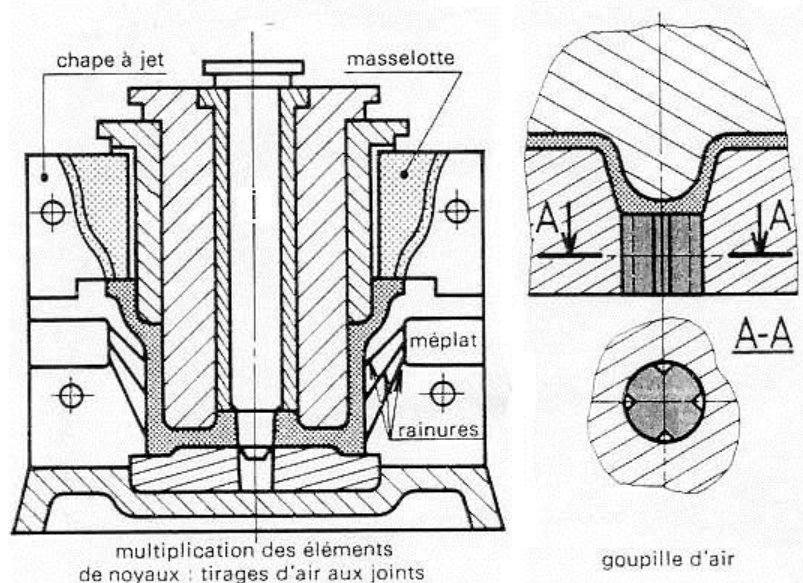


Mécanisme d'aide à l'ouverture



#### III.2.3. Tirages d'air

Il faut ajouter un ou des évents pour évacuer l'air dans le moule.



### III.2.4. Broches

Les broches sous le nom de broches sont généralement désignées les noyaux métalliques de forme cylindrique dont la longueur est relativement grande par rapport au diamètre et qui assurent la venue des alésages exceptionnellement des détails extérieurs de l'empreinte.

Les exemples suivants donnent des formes et dispositions fréquentes de broches.

#### 1) Broches épaulées.

C'est la broche classique qui peut se trouver entre deux chapes, au travers d'une chape, d'une semelle ou d'un noyau.

Comme pour les noyaux, la partie guide doit avoir un diamètre plus grand que celui de la partie moulante qui s'échauffe plus.

#### 2) Broches en butée sur un noyau (fig.1).

La broche est centrée sur une chape et non sur le noyau, dont le démoulage est ainsi rendu indépendant de celui de la broche et le centrage assuré par ailleurs n'est pas gêné au niveau de la broche.

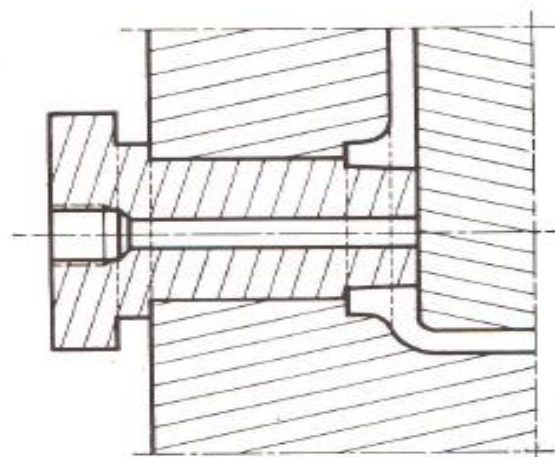
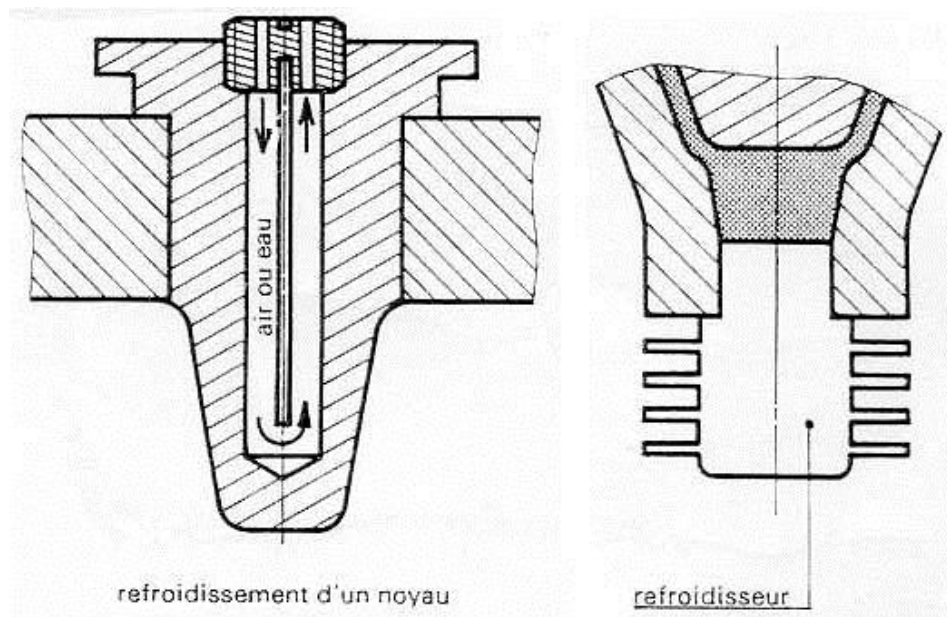


Figure 1

Ces pièces qui sont entièrement entourées de métal sont très sollicitées thermiquement et mécaniquement au moment du démoulage puisque sous l'action du retrait l'alliage solidifié a tendance à y adhérer.

Ils peuvent être refroidis intérieurement par une circulation d'air ou d'eau.



La dépouille à adopter croit avec la longueur : mini 1% jusqu'à 2%

|        | Longueur L mm        |                    |
|--------|----------------------|--------------------|
| Ø mm   | Alliages d'aluminium | Alliages de cuivre |
| 4 à 6  | 4 x Ø                | 3 x Ø              |
| 6 à 12 | 5 x Ø                | 4 x Ø              |
| > 12   | 6 x Ø                | 5 x Ø              |

Longueur L maxi des trous bruts de fonderie en fonction du diamètre Ø

### III.2.5. Préparation des coquilles

Les coquilles neuves ne sont pas utilisables directement en fonderie. La première opération est un essai à chaud pour vérifier les jeux de fonctionnement. Le chauffage gaz ne donne pas l'équilibre thermique exact mais il permet de révéler les erreurs grossières de conception.

Les alliages d'aluminium ayant la propriété de dissoudre le fer, il faut donc protéger le moule avec un **poteyage** qui a aussi pour fonction d'éviter soit le collage du métal sur la coquille, soit les dissipations de chaleurs.

La durée de vie d'une coquille dépend de très nombreux facteurs parmi lesquels :

la nature de l'alliage coulé  
la température de coulée  
la conception de l'outillage  
les conditions de service et d'entretien

Les ordres de grandeur sont les suivants :

- alliages cuivreux, laiton 5000 à 8000 pièces
- cuproaluminium 10000 à 15000 pièces
- alliages d'Al ou de Mg 30000 à 50000 pièces

### III.2.6. Défauts du moulage en coquille

Les défauts sont les mêmes que ceux observés en moulage sable, mais les conditions de moulage accentuent les risques de défauts.

| Défauts           | Causes                                                                                                                              |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Retassures        | coulée- masselottage<br>T° de coulée- T° du moule<br>conception du moule                                                            |
| soufflures        | dégagements de gaz dissous et gaz présent dans l'empreinte                                                                          |
| inclusions        | peaux d'alumine-nitrides, morceaux de creuset, restes de flux<br>entraînement de poteyages<br>moule malpropre ou poteyage mal séché |
| Pièces mal venues | coulée – température de coulée                                                                                                      |
| Arrachement       | mauvaise conception du moule quant au démoulage.                                                                                    |

Etude de moulage en moule permanent

