

# DOSSIER TECHNIQUE

# PROCEDES D'ELABORATION

# SOMMAIRE

## 1- GENERALITES

## 2- CISAILLAGE

2-1 Méthodes classiques de cisailage

2-2 Effort de cisailage

## 3- POINÇONNAGE ET DECOUPAGE

3-1 Principe du poinçonnage

3-2 Poinçons et matrices

3-3 Principe du découpage

3-4 Mise en bande des pièces

3-5 Effort de poinçonnage ou de découpage

## 4- PLIAGE

4-1 Principe du pliage

4-2 Effort de pliage

## 5- TRAITEMENTS ET REVETEMENTS DE SURFACE

## 6- MOULAGE EN MOULE PERMANENT

6-1 Généralités

6-2 Moulage en coquille par gravité

6-3 Coulée sous pression

**1- GENERALITES**

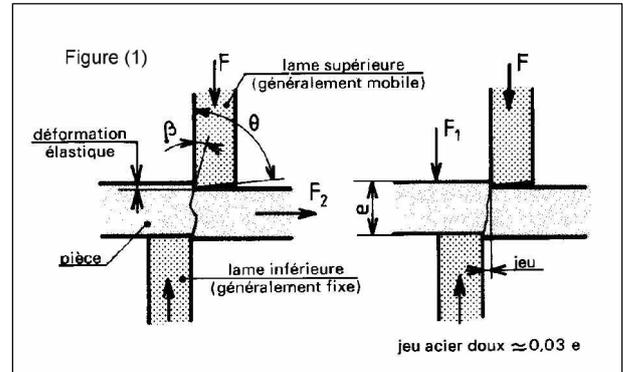
Procédés de mise en forme d'une pièce les plus couramment utilisés :

<p>Mise en forme par déformation permanente</p>	<p>Le matériau est déformé entre deux outils comportant une gravure de la géométrie de la pièce :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- - forgeage, estampage,</li> <li>- - cisailage,</li> <li>- - poinçonnage, découpage,</li> <li>- - pliage, emboutissage.</li> </ul> <p>Le matériau est contraint par compression d'épouser les formes de la filière :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- - filage,</li> <li>- - extrusion.</li> </ul>
<p>Mise en forme par enlèvement de matière</p>	<p>Des outils permettent d'enlever de la matière à une pièce.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- usinage par outils coupants : tournage, fraisage, perçage...</li> <li>- rectification par enlèvement de matière à l'aide des grains abrasifs d'une meule,</li> <li>- électroérosion par désintégration de la matière à l'aide d'une électrode.</li> </ul>
<p>Mise en forme à partir de l'état fondu</p>	<p>Le matériau, sous forme liquide, est astreint à remplir une empreinte correspondant à la géométrie de la pièce :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- moulage,</li> </ul> <p>Le matériau sous forme pâteuse est injecté sous pression dans un moule :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- injection,</li> <li>- injection-soufflage.</li> </ul>
<p>Mise en forme à partir de poudres</p>	<p>Le remplissage d'une empreinte correspondant à la géométrie de la pièce est effectué à partir de poudres, chauffées et compactées, pour obtenir un matériau dense :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- frittage.</li> </ul>

## 2- CISAILLAGE

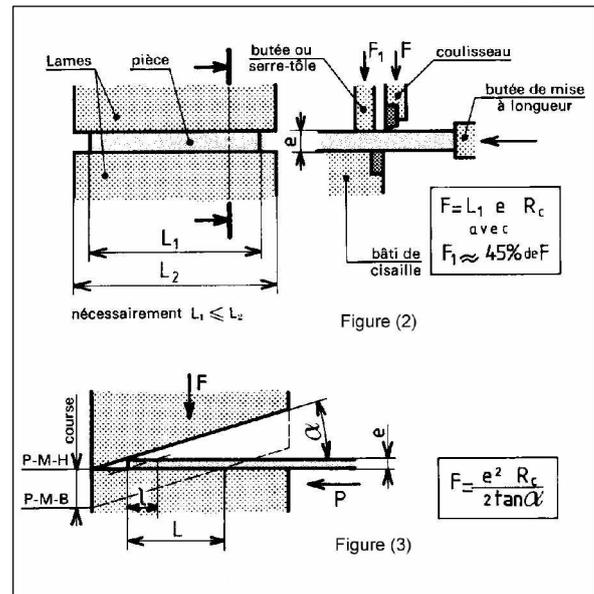
Il s'agit de la séparation totale ou partielle d'un élément métallique à l'aide de deux lames dont l'une au moins est mobile.

Sous l'action de la contrainte imposée par la partie active de la lame, il se produit une déformation élastique – figure (1) - puis un glissement avec décohésion du métal. La lame poursuivant sa course, provoque la rupture complète par celle du métal intercalaire.



### 2-1 Méthodes classiques de cisailage

- Cisailage avec lames parallèles, figure (2)
- Cisailage simultané sur toute la longueur. Pour
- Coupures généralement rectilignes. Effort important.
- Cisailage avec lame oblique, figure (3) : Intérêt d'avoir un angle  $\alpha$  important puisque  $F$  décroît. Si  $\alpha \mu 15^\circ$ , le métal peut se dérober. Nécessité d'établir un compromis. La partie découpée est fortement fléchie, donc déformée.



Deux types de cisailles :

- à lames longues (cisailles guillotines) avec  $2,30^\circ \mu \alpha \mu 6^\circ$  pour coupes rectilignes
- à lames étroites avec  $\alpha \mu 15^\circ$  pour coupes de formes curvilignes ou sinueuses avec avance constante sur la longueur de coupe.

### 2-2 Effort de cisailage

Produit de la section cisailée  $S_c$  (en  $\text{mm}^2$ ) par la résistance au cisaillement  $R_c$  (en MPa) du matériau :  
 $F \mu S_c R_c$  (en N) avec  $R_c \mu 0,8 R_m$

En fabrication, pour tenir compte de l'usure du tranchant des lames et des frottements, il est préférable de remplacer  $R_c$  par  $R_m$  (résistance à la rupture du matériau)

### 3- POINÇONNAGE ET DECOUPAGE

#### 3-1 Principe du poinçonnage

voir figure (4)

Un poinçon et une matrice remplacent les lames de la cisaille. Même mécanisme de rupture.

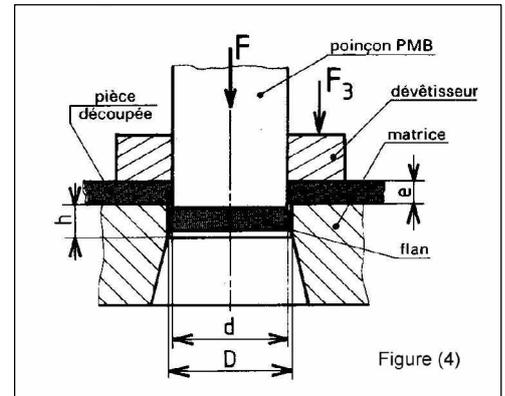


Figure (4)

#### 3-2 Désignation des opérations

voir figure (5)

- a- *Poinçonnage* : le déchet est appelé débouchure, trous de petit diamètre.
- b- *Découpage* : le produit obtenu est un flan.
- c- *Crevage* : découpage partiel.
- d- *Encochage* : découpage débouchant sur un contour.
- e- *Grignotage* : poinçonnage partiel par déplacement progressif de la pièce ou du poinçon.
- f- *Arasage* : découpage en reprise (précision de cotes et d'état de surface)
- g- *Détourage* : finition d'un contour déjà ébauché, modifié au cours d'une déformation.

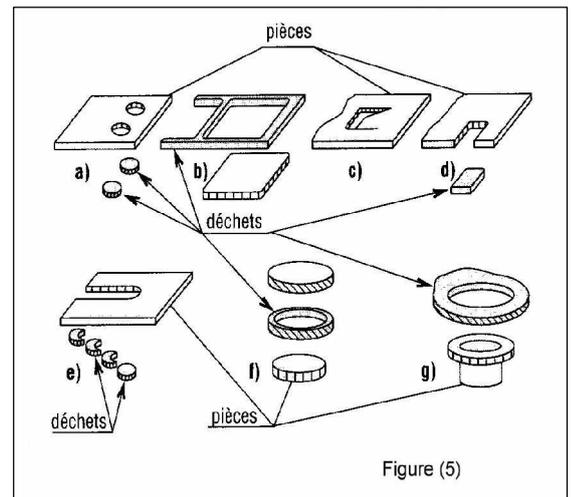


Figure (5)

#### 3-2 Poinçons et matrices

Les poinçons sont fixes si les matrices sont mobiles. Ils doivent résister à la compression et au flambage. Pour les poinçons cylindriques, on prend :

$$d \geq 1,6 e \text{ (e = épaisseur de la tôle) pour les aciers doux}$$

En acier fortement allié, de dureté HRC  $\geq 60$ , ils doivent pouvoir être affûtés après usure.

Une matrice en acier peut produire environ 50 000 pièces sans être affûtée. L'affûtage diminue h de 0,2 à 0,5 mm. Approximativement, on peut ainsi définir le minimum de pièces réalisées par l'outil.

- Jeu entre matrice et poinçon :  $J = D - d$
- $J = 0,05 e$  pour aciers doux, laiton, cuivre
- $J = 0,06 e$  pour aciers mi-durs
- $J = 0,07 e$  pour aciers durs
- $J = 0,1 e$  pour aluminium

Le jeu est pris sur la matrice si l'on désire obtenir un ajour précis, sur le poinçon si le flan doit être précis.

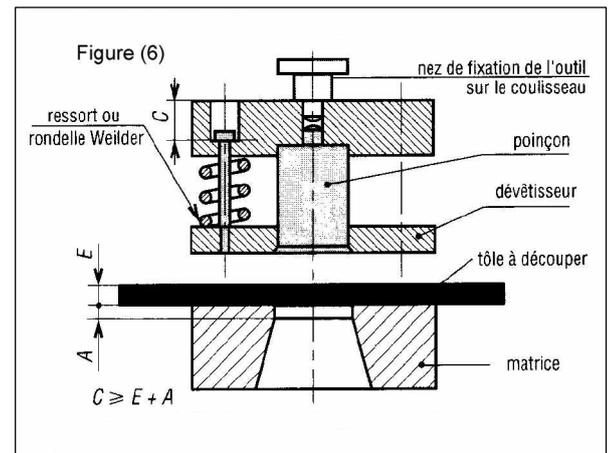
## 3-3 Principe du découpage

voir figure (6)

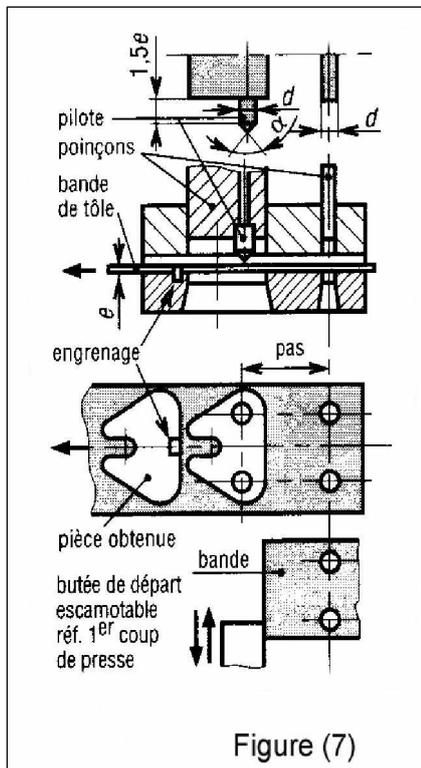
Le métal nécessaire à la fabrication alimente un outil associant poinçons et matrices, une partie de l'outil étant bridée sur la table fixe de la presse, l'autre étant animée du mouvement alternatif du coulisseau.

Le métal qui alimente l'outil se présente sous forme :

- De bande de largeur constante, jusqu'à 2m de longueur ou sous forme de bobine (plusieurs centaines de mètres de longueur et largeurs [ 500 mm)
- De flan pour les pièces de grandes dimensions

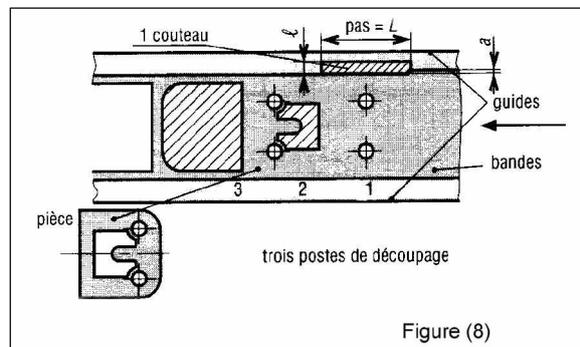


Quelques types d'outils :



- Outils à contre-plaque à engrenage : la contre-plaque sert de guide au poinçon et décroche la bande de ce dernier. Une butée (engreneur) assure le contrôle de l'avance à chaque coup de presse (pas) – figure (7)

- Pour tôles d'épaisseur  $e \geq 1$  mm, pièces inscrites dans un carré de côté  $\leq 250$  mm et machine à un seul poste de découpage.



- Outils à contre-plaque à couteau : l'engrenage est supprimé, remplacé par un poinçon qui découpe latéralement une largeur de bande – figure (8) Entre deux coups de presse successifs, la bande est poussée ou tirée et vient buter contre le guide.

L'emploi de cet outil est limité aux tôles d'épaisseur  $e \leq 2$  mm, avec :

$$2 < a \leq 3 \text{ mm} \quad L \leq 80$$

$$l = 6 \text{ si } L \leq 10$$

$$l = 8 \text{ si } 10 < L \leq 20$$

$$l = 10 \text{ si } L > 20$$

Les presses utilisées sont mécaniques, plutôt à colonnes. Les vitesses d'attaque des poinçons ne dépassent pas 0,06 m/s (aciers durs) ou 0,1 m/s (aciers doux)

3-4 Mise en bande des pièces  
voir figure (9)

L'organisation des découpes doit être faite pour qu'il ne subsiste qu'un minimum de déchets.

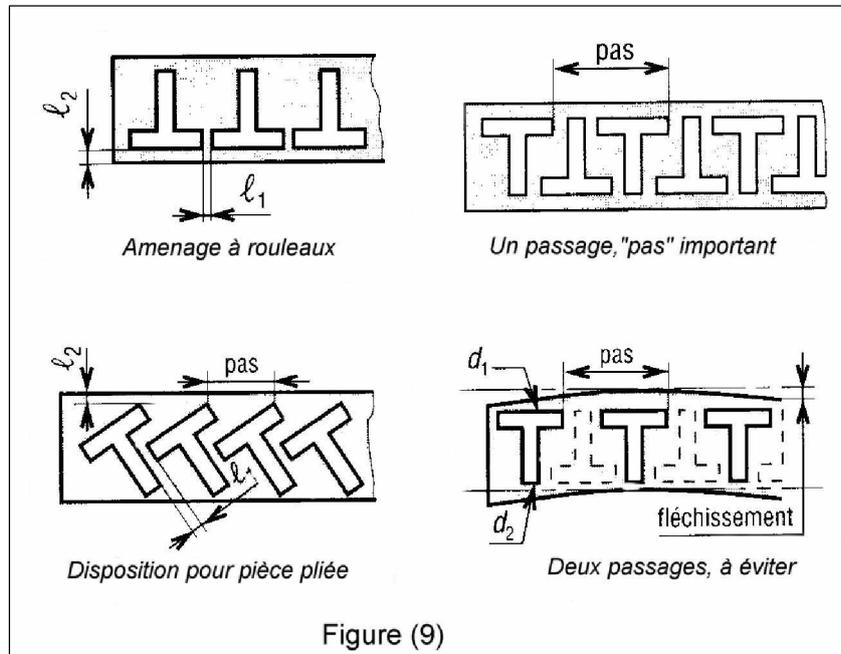


Figure (9)

Coefficient d'utilisation pour découpage courant :

$$\eta_u \geq 65\%$$

$$\eta_u = (S_p/S_b) \times 100$$

avec  $S_p$  = surface pièces     $S_b$  = surface bande

Cette condition implique une organisation rationnelle des pièces sur la bande, un espace  $l_1$  entre les découpes et  $l_2$  entre les découpes et le bord de la bande, aussi réduits que possible.

En général,  $l_1 = l_2 = e$  (épaisseur de la tôle) avec  $l_1$  et  $l_2 \geq 2$  mm (bonne tenue du déchet)

- choisir le pas le plus faible possible,
- choisir la mise en bande qui simplifie la matrice.

3-5 Effort de poinçonnage ou de découpage

Produit de la section cisailée (en  $\text{mm}^2$ ) par la résistance au cisaillement  $R_c$  (en MPa) du matériau :  
 $F \geq L e R_c$  (en N)    avec     $R_c \approx 0,8 R_m$

$L$  = périmètre découpé  
 $e$  = épaisseur de la tôle

En fabrication, pour tenir compte de l'usure du tranchant des lames et des frottements, il est préférable de remplacer  $R_c$  par  $R_m$  (résistance à la rupture du matériau)

4- PLIAGE

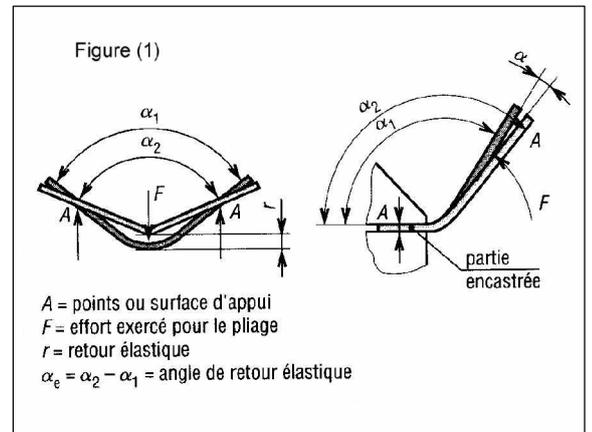
4-1 Principe du pliage

Pliage en l'air : figure (1)

Sous l'action d'une force appliquée sur un flan (ou sur une ébauche) reposant sur deux ou plusieurs appuis ou encastré à une extrémité, le produit est fléchi.

Lorsque cesse l'effort, si le fléchissement a été suffisant, le flan ne reprend pas sa forme initiale mais une forme intermédiaire, qui est d'autant plus éloignée de celle obtenue par un fléchissement maximum, que l'élasticité du métal est grande.

Ce retour élastique est appelé « ressaut »

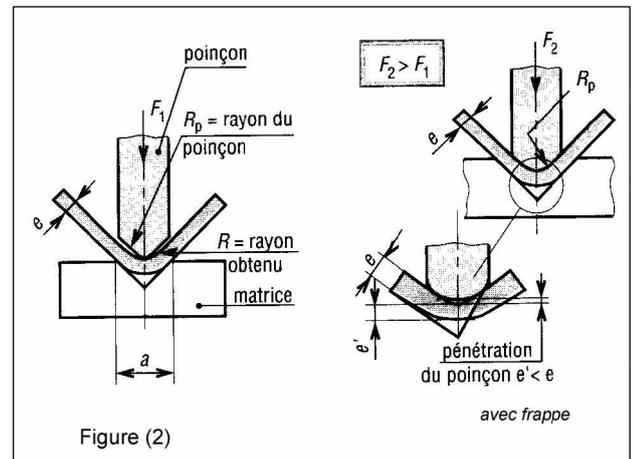


Pliage en vé : figure (2)

Suivant la position du poinçon en fin de course, différents angles intermédiaires peuvent être obtenus avec le même outillage, l'angle terminal étant celui du vé, augmenté du retour élastique.

Si en fin de pliage, à fond de vé, le poinçon continue sa course, il provoque un forgeage local par un léger encastrement de son extrémité dans l'épaisseur de la tôle.

Le métal déplacé équilibre, par déformation plastique, les contraintes des zones comprimées avec celles qui sont tendues ; le retour élastique est quasiment supprimé. C'est l'opération de « pliage avec frappe »



4-2 Effort de pliage

Pour le pliage en l'air, on adopte la relation suivante :  $F_1 = k L e^2 R_m / a$

- L = longueur du pli (en mm)
- e = épaisseur à plier (en mm)
- a = ouverture du vé (en mm)
- $R_m$  = résistance à la rupture du métal à plier (en daN/mm<sup>2</sup>)
- k = 1,4 pour a = 6e
- k = 1,33 pour a = 8e
- k = 1,24 pour a = 12e
- k = 1,20 pour a = 16e

Pour le pliage en vé, compte tenu du frottement pièce-outil, de l'évolution des masses métalliques extérieures au pli, ces formules expérimentales fournissent des valeurs acceptables.

## 5- TRAITEMENTS ET REVETEMENTS DE SURFACE

Les traitements de surface des pièces constitutives d'un mécanisme interviennent soit pour lutter contre l'usure, l'abrasion, la corrosion ou pour des raisons esthétiques.

On utilise principalement :

- Les traitements par transformation superficielle du métal (anodisation, nitruration, phosphatation, etc.),
- les revêtements au moyen d'un matériau convenablement choisi (nickelage, zingage, chromage, etc.),
- Les revêtements au moyen d'un enduit (peintures, vernis, graisses, etc.)

désignation	support	épaisseur	propriétés
Anodisation	aluminium et ses alliages	5-10 $\mu\text{m}$	Bonne résistance à l'usure et à la corrosion Bel aspect (incolore ou teinté)
Cadmiage	métaux ferreux cuivre et ses alliages	2-30 $\mu\text{m}$	Bonne résistance à la corrosion. Cette protection peut être augmentée par passivation à l'acide chromique (aspect jaune irisé)
Cémentation	aciers	0,1 à 6 mm	Grande résilience, grande dureté de la surface.
Chromage	métaux ferreux cuivre	5-50 $\mu\text{m}$	Bonne résistance à la corrosion. Bel aspect (satiné ou brillant) Dépôt de 10 $\mu\text{m}$ de nickel plus 5 $\mu\text{m}$ de chrome.
Étamage	alliages de cuivre aluminium	5-30 $\mu\text{m}$	Bonne résistance à la corrosion. Pour pièces devant être soudées à l'étain.
Nickelage	alliages d'aluminium Zinc alliages de zinc	2-30 $\mu\text{m}$	Bonne résistance à l'usure et à la corrosion.
Nitruration	aciers	0,1 à 0,8 mm	Très bonne résistance à l'usure. Bonne résistance à la corrosion.
Peintures	tous supports	-	La protection contre la corrosion nécessite une sous-couche imperméable (minium)
Phosphatation	métaux ferreux	-	Surtout utilisée comme base d'accrochage pour peintures et vernis.
Sulfinitation	métaux ferreux	-	Améliore la résistance à l'usure et les qualités frottantes.
Trempe superficielle	aciers trempant	fonction de l'acier utilisé	Grande résilience, grande dureté de la surface.
Zingage	métaux ferreux	-	Bonne résistance à la corrosion. Aspect brillant ou jaune irisé (par passivation)

## 6- 6- MOULAGE EN MOULE PERMANENT

### 6-1 Généralités

Les moules permanents peuvent supporter plusieurs coulées successives avant la mise hors service. Les opérations fondamentales que sont le moulage (obtention des formes), le remplis-sage en alliage liquide, l'alimentation de la pièce pendant la solidification, le démoulage, l'éjection, sont presque entièrement mécanisées.

La répétition de ces opérations amène à parler de « cycle de moulage » et de cadence de production qui sont spécifiques à chaque moule.

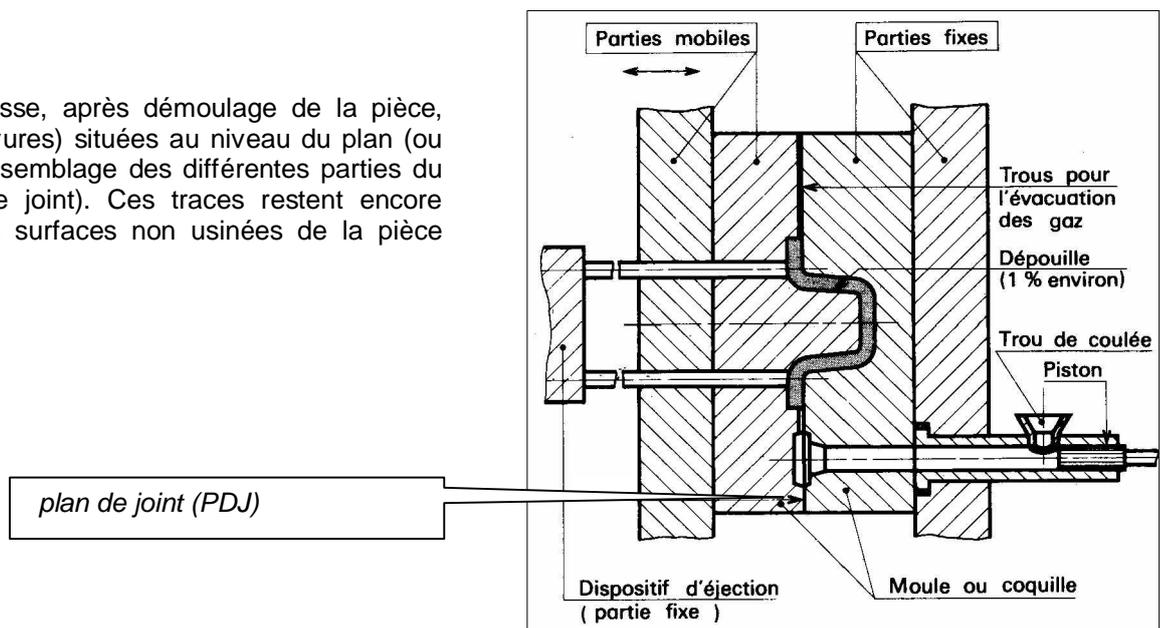
Le moule en acier (coquille), doit pouvoir supporter des contraintes thermiques et mécaniques élevées. Les coûts importants de fabrication et d'entretien conditionnent la rentabilité de la fonderie et nécessitent l'emploi de matériaux de grande qualité tels que les aciers alliés.

Nuances d'acier	Alliages		
	d'aluminium de manganèse	de cuivre	de zinc
30NiCr15			♦
42CrMo4	♦	♦	♦
35CrMoVa05	♦		♦
X35CrMoVa 03-03-02		♦	

On injecte des alliages dont la température de fusion (de 400 jusqu'à 650-900°C) est largement inférieure celle de l'acier.

procédé de moulage	fontes	aciers	alliages légers	alliages cuivreux
en coquille par gravité	très utilisé	inutilisé	très utilisé	très utilisé
en coquille sous pression	inutilisé	inutilisé	très utilisé	très utilisé

Ce procédé laisse, après démoulage de la pièce, des traces (bavures) situées au niveau du plan (ou des plans) d'assemblage des différentes parties du moule (plan de joint). Ces traces restent encore visibles sur les surfaces non usinées de la pièce moulée



6-2 Moulage en coquille par gravité

voir figure ci-contre

Ce procédé peut être utilisé avantageusement à partir d'une série de 2 000 pièces.

Le moule est entièrement métallique, toutefois l'emploi de noyaux en sable n'est pas totalement exclu, bien qu'il faille tendre vers un dessin de pièce n'obligeant pas le fondeur à prévoir de tels noyaux.

Etant donné l'échange thermique rapide entre le moule et l'alliage, le système de coulée doit être aussi simple et direct que possible. La coulée « en chute » où la descente arrive directement dans la masselotte est la plus utilisée et la plus favorable pour obtenir une solidification correctement dirigée et un refroidissement minimum de l'alliage.

Pour faciliter le démoulage de la pièce à température élevée, moule ouvert, plusieurs moyens sont mis en œuvre :

- la dépouille (ou pente) de 1 à 3%
- le poteyage qui consiste à recouvrir l'intérieur du moule d'un enduit démoulant
- l'utilisation d'éjecteurs mécaniques

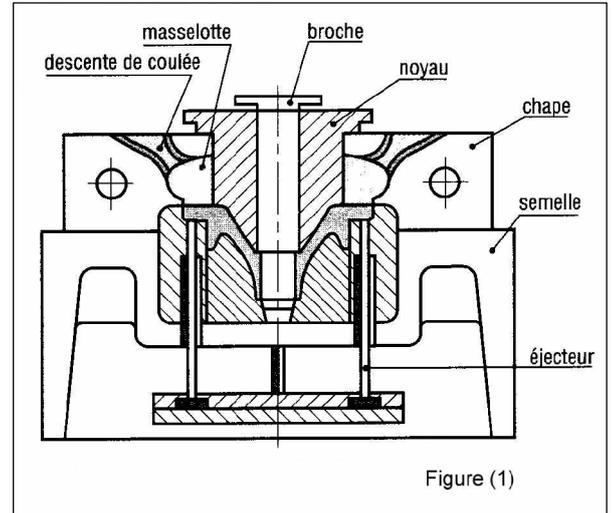


Figure (1)

6-3 Coulée sous pression

Ce procédé est rentable à partir de 10 000 à 20 000 pièces fabriquées.

On injecte par l'intermédiaire d'un piston, en un temps très court (0,1s en moyenne) un alliage en fusion à l'intérieur d'un moule métallique. Une surpression pouvant atteindre 100 MPa est alors appliquée au métal pour compenser le retrait de solidification.

Pour pièces aux formes complexes et aux épaisseurs fines ( $e \leq 2\text{mm}$ ), ce procédé assure un bon fini de surface très reconnaissable.

Les moules sont composés de deux parties principales fixées sur des machines spéciales qui fonctionnent suivant un cycle réglable. Les noyaux sont toujours métalliques.

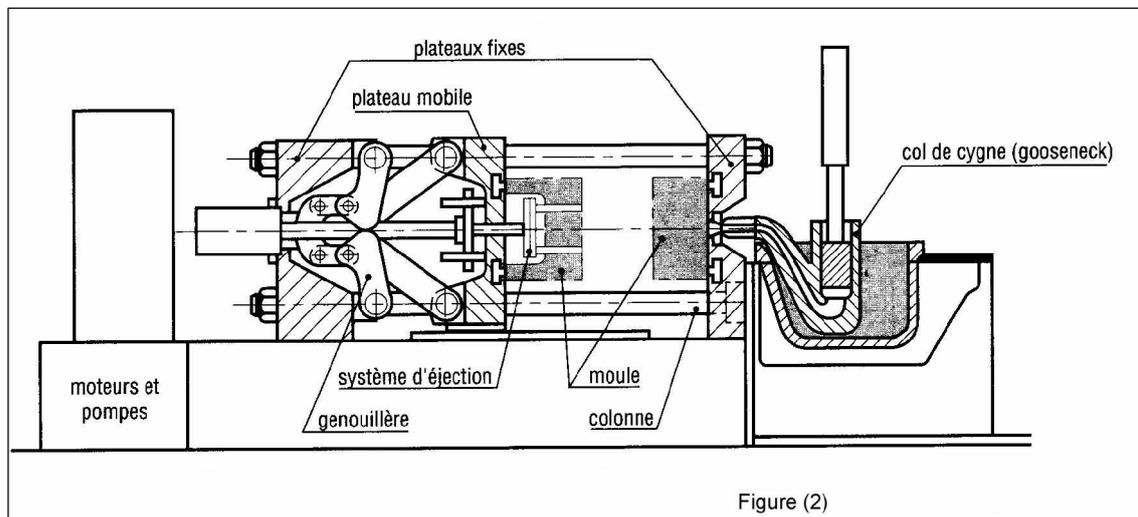


Figure (2)

6-3 Tableaux comparatifs sur les principaux procédés de moulage

*Tableau I. — Choix du procédé de moulage en fonction de la nature du métal ou de l'alliage coulé.*

Procédés de moulage	Métaux ou alliages						
	Fontes	Aciers	Fontes malléables	Alliages de cuivre	Alliages d'aluminium	Alliages de magnésium	Alliages divers (Zn-Sn-Pb)
Au sable :							
— à vert . . . . .	X	X	X	X	X	X	X
— à vert grillé . . . . .	X	X	X	.....	X	X	
— étuvé . . . . .	X	X	.....	X	Rare		
— au ciment . . . . .	X	X	.....	X	Rare	Rare	
— à la chamotte . . . . .	X	X	.....	X			
En moule métallique coulé :							
— par gravité . . . . .	X	.....	X	X	X	X	X
— sous pression . . . . .	.....	.....	.....	X	X	X	X
— par centrifugation . . . . .	X	X	.....	X	Rare		
Moulage au plâtre . . . . .	.....	.....	.....	X	X	X	
Moulage en carapace . . . . .	X	X	.....	X	X	X	
Procédé Shaw . . . . .	X	X	.....	X	X	X	
Cire perdue . . . . .	Rare	X	.....	X	X	Rare	
Modèle gazéifiable . . . . .	X	X	.....	X	X	X	

*Tableau II. — Nombre minimal de pièces selon le procédé de moulage choisi et la nature du métal ou de l'alliage coulé.*

Procédés de moulage	Métaux ou alliages						
	Fontes	Aciers	Fontes malléables	Alliages de cuivre	Alliages d'aluminium	Alliages de magnésium	Alliages divers (Zn-Sn-Pb)
Au sable :							
— à vert . . . . .	1	1	1	1	1	1	1
— à vert grillé . . . . .	100	50	50	.....	1	1	
— étuvé . . . . .	1	1	.....	1	1		
— au ciment . . . . .	1	1	.....	1	1	1	
— à la chamotte . . . . .	1	1	.....	1			
En moule métallique coulé :							
— par gravité . . . . .	250 à 1000	.....	250 à 1000	100 à 300	1000 à 5000	4000	4000
— sous pression . . . . .	.....	.....	.....	1000	1000 à 25000	6000	6000
— par centrifugation . . . . .	200 à 1000	100	.....	200	Rare		
Moulage au plâtre . . . . .	.....	.....	.....	1	1	1	
Moulage en carapace . . . . .	500 à 1000	500 à 1000	.....	500	500	500	
Procédé Shaw . . . . .	10	10	.....	10	10	10	
Cire perdue . . . . .	10	10	.....	10	10	10	
Modèle gazéifiable . . . . .	1	1	.....	1	1	1	

*Tableau III. - Masse maximale des pièces selon le procédé de moulage choisi et la nature du métal ou de l'alliage coulé.*

Procédés de moulage	Métaux ou alliages						
	Fontes	Aciers	Fontes malléables	Alliages de cuivre	Alliages d'aluminium	Alliages de magnésium	Alliages divers (Zn-Sn-Pb)
Au sable :							
— à vert . . . . .	800 kg à 1 t	40 kg	50 kg	1 t	2 t	10 kg	30 kg
— à vert grillé . . . . .	2 t	1 à 2 t	100 kg	.....	2 t	40 kg	
— étuvé . . . . .	Pas de limite	Pas de limite	.....	40 t	?		
— au ciment . . . . .	30 t	10 t	.....	5 t	?	?	
— à la chamotte . . . . .	20 t	30 t	.....	5 t			
En moule métallique coulé :							
— par gravité . . . . .	100 kg	.....	15 kg	10 kg	20 kg	20 kg	10 kg
— sous pression . . . . .	.....	.....	.....	12 kg	40 kg	15 kg	40 kg
— par centrifugation . . . . .	50 t	270 t	.....	8 t	?		
Moulage au plâtre . . . . .	.....	.....	.....	5 à 20 kg	20 kg	2 à 15 kg	
Moulage en carapace . . . . .	450 kg	100 kg	.....	50 kg	10 kg	10 kg	
Procédé Shaw . . . . .	400 kg à 5 t	5 à 10 t	.....	5 kg	10 kg	5 kg	
Cire perdue . . . . .	?	150 kg	.....	40 kg	3 kg	?	
Modèle gazéifiable . . . . .	25 t	25 t	.....	?	?	?	

*Tableau IV. — Epaisseur minimale (mm) des pièces selon le procédé de moulage choisi et la nature du métal ou de l'alliage coulé.*

Procédés de moulage	Métaux ou alliages						
	Fontes	Aciers	Fontes malléables	Alliages de cuivre	Alliages d'aluminium	Alliages de magnésium	Alliages divers (Zn-Sn-Pb)
Au sable :							
— à vert . . . . .	2,5	4,75	1,5 à 2,4	2,4 à 3	3,2 à 4,8	4	1
— à vert grillé . . . . .	2,7	4,5	2	.....	3,2	4	
— étuvé . . . . .	20	25	.....	10 mm	4		
— au ciment . . . . .	5	7	.....	.....	4	4	
— à la chamotte . . . . .	4	6	.....	2,5 à 3			
En moule métallique coulé :							
— par gravité . . . . .	3	.....	3	2,5 à 3	2,5 à 3,5	3,2 à 4,7	1,5 à 2
— sous pression . . . . .	.....	.....	.....	0,8 à 1,5	1 à 1,2	0,8	0,3 à 0,5
— par centrifugation . . . . .	2	3	.....	10	?		
Moulage au plâtre . . . . .	.....	.....	.....	0,8 à 1,5	1,5 à 2,5	1,5	
Moulage en carapace . . . . .	2 à 3	3	.....	2,5	4	3	
Procédé Shaw . . . . .	2,5	4	.....	3	4	3	
Cire perdue . . . . .	2 à 3	0,2 à 10	.....	0,6 à 1,2	0,8 à 1,25	?	
Modèle gazéifiable . . . . .	2,5 à 3	5	.....	?	?	?	

*Tableau V. — Dépouille mini en % à adopter sur les faces extérieures des pièces en fonction du procédé de moulage*

	Fontes	Aciers	Alliages de cuivre	Alliages d'aluminium	Alliages de zinc
Au sable	5%	3%	3%	3%	3%
en moule métallique					
.....par gravité	X	X	3%	2,5%	2,5%
.....sous pression	X	X	1,5%	1,5%	1%