

Chapitre4 : Le moulage

(moulage des aciers et des matériaux plastiques)

IV.1. NOTIONS

On sait que la **fonderie** caractérise l'obtention d'une pièce métallique par coulée d'un alliage en fusion (liquide) dans une empreinte appelée **moule** ; on parle alors de **moulage**. Le moulage permet de réaliser des pièces pleines ou creuses, pouvant présenter des formes très compliquées, en remplissant de métal liquide ou de polymère pâteux une empreinte ayant la forme du produit à réaliser.

Il existe deux grandes familles dans les procédés de fonderie liées à la conception et la fabrication du moule ; il s'agit du moulage :

- **en moule non permanent** : le moule est détruit à chaque opération de moulage pour récupérer la pièce.
- **en moule permanent** : le moule (en acier ou fonte) est réutilisé plusieurs centaines de fois.

Suivant le matériau à mouler et le nombre de pièces souhaité, les moules sont réalisés en silicone, en plâtre, en sable ou en acier.

Faut dire aussi que la moulabilité est la propriété qui permet à un métal ou un alliage à l'état liquide de remplir avec précision l'empreinte d'un moule aussi complexe soit-elle.

Divers alliages sont utilisés en fonderie ; on peut citer par ordre d'importance :

- Les fontes : grises (Ft 20...) ; à graphite sphéroidal (FGS 50. 7) etc.
- Les aciers de moulage : élaborés spécialement pour le moulage.
Symbolisés par la lettre E suivie :
 - du nombre qui précise la limite élastique minimale en daN/mm² ;
 - du nombre qui précise la résistance à la rupture minimale en daN/mm²
 - de la lettre M qui indique qu'il s'agit d'un acier de moulage.

Principales nuances :

E 20.40.M ; E 26.52.M ; E 30.57.M ; E 23.40.M(très utilisée).

- Les alliages d'aluminium de fonderie.
- Les alliages de cuivre de fonderie.
- Les alliages de zinc de fonderie.
- Les matières plastiques.

IV.2. PRINCIPE :

Le principe de ces procédés est de couler le matériau à l'état liquide ou pâteux dans un moule, et après solidification d'ouvrir ou de détruire le moule afin de récupérer la pièce. Le processus peut se résumer en ces étapes, à savoir :

1. Elaboration d'un alliage métallique dans un four de fusion.
2. On verse le métal en fusion dans un moule contenant l'empreinte de la pièce à obtenir : c'est la "**Coulée**".(Elle peut se faire par gravité ou sous pression)
3. Après refroidissement, la pièce est démoulée (décochage) et débarrassée de ses attributs de coulée (parachèvement).

Une pièce de fonderie peut, suivant sa fonction et son procédé d'obtention, être utilisée directement ou avec très peu d'usinage

IV.3. AVANTAGES ET INCONVENIENTS

❖ Avantages :

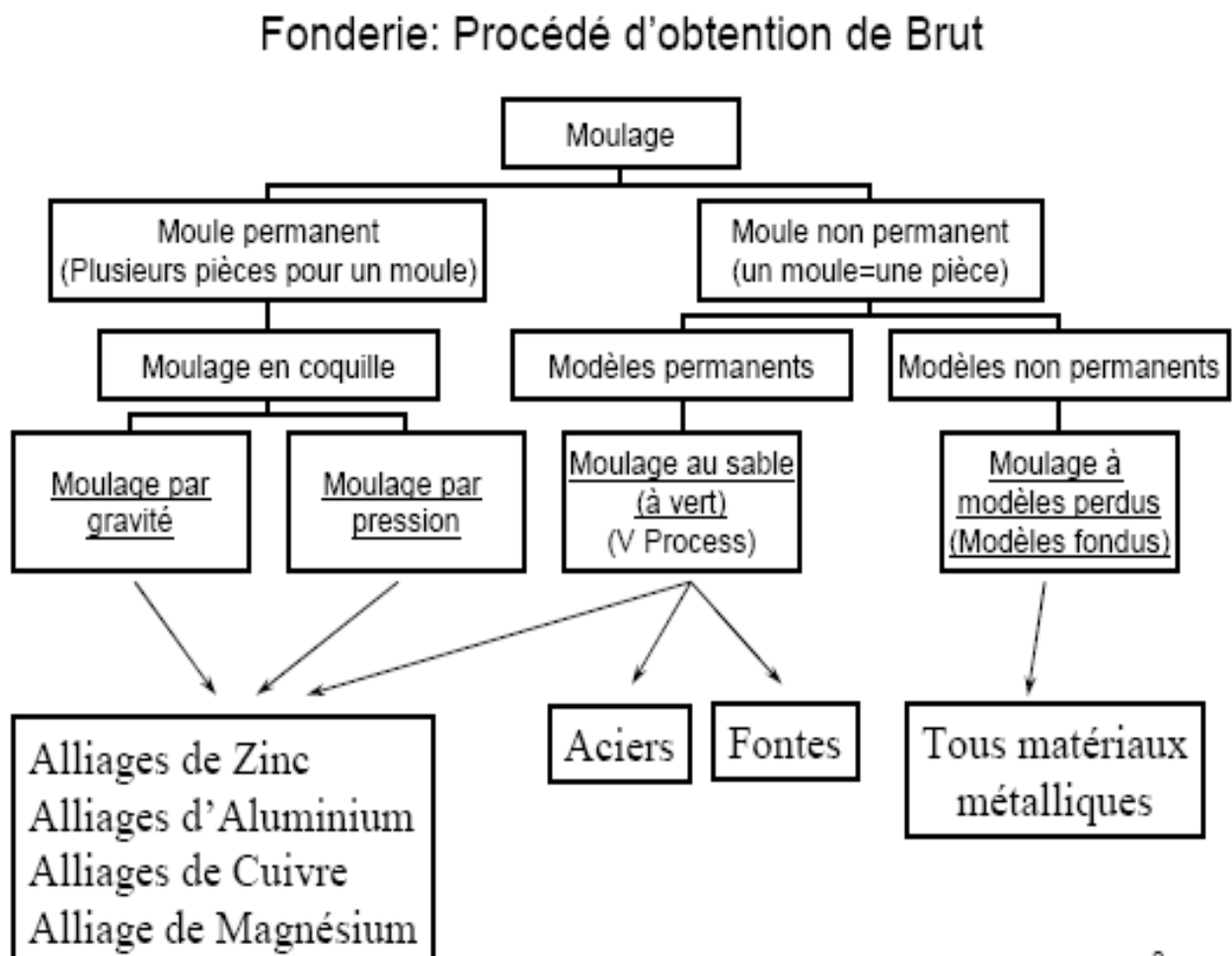
- Obtenir des formes de pièces difficilement réalisables avec d'autres techniques, ou des formes pouvant être très complexes..
- Mettre en oeuvre des alliages très variés.
- Avoir des courts délais et des faibles coûts de fabrication en raison du faible gaspillage de matière première.
- Mécaniser et automatiser une production en série.

❖ Inconvénients :

- Nécessite un outillage important et coûteux (surtout pour les moules métalliques) ;
- La pièce à obtenir doit posséder des épaisseurs approximativement constantes ou variant faiblement, ne pas posséder d'arêtes vives (congés et arrondis vivement conseillés), et avoir des surfaces de dépouilles ;
- L'état de surface (rugosité) obtenu est moyen ;
- La précision obtenue est moyenne (retraits de matière et déformation en refroidissant) ;
- Ces deux derniers inconvénients obligent souvent à ajouter des usinages au niveau des surfaces fonctionnelles de la pièce ;

IV.4. LES DIFFERENTS PROCEDES

L'ensemble des procédés de moulage est représenté par la figure suivante :



Certains procédés utilisant des modèles perdus permettent la réalisation de pièces de grande précision et de grande complexité.

4.4.1. Moulage en sable

Le démoulage s'effectue par destruction du moule. On doit donc fabriquer autant de moules que de pièces à fabriquer. Il existe plusieurs techniques d'obtention du moule en sable (sable humide ; durcissement thermique, chimique ou physique). Le moule en sable est obtenu à partir d'un modèle permanent (généralement en bois, en résine ou en métal) ou unique (en cire ou en polystyrène) dans le cas du moulage à modèle perdu. L'intérêt de cette technique est que le sable est réfractaire (il résiste à la chaleur), et que le moule ne coûte pas cher à fabriquer.

Par contre, l'état de surface ($R_a \gg 3,2 \text{ mm}$) et la précision obtenus sont assez mauvais. Cette technique convient bien pour des petites séries.

Exemple d'obtention d'une pièce par moulage en sable, à joint horizontal

- Le châssis inférieur (2) est rempli de sable, puis compressé par la plaque modèle face externe (1) ;
 - Le châssis supérieur (4), posé sur la plaque modèle face interne (5), est rempli de sable pressé par la plaque (3) ;
 - La plaque (3) est retirée, un noyau (6') est déposé dans la partie inférieure du moule (6), puis le châssis (4) est positionné sur le châssis (2), centré par les goujons.
- Le moule ainsi formé peut recevoir le métal en fusion.
- Après décochage, la pièce (8) est débarrassée des masselottes (7) et peut rejoindre le parachèvement

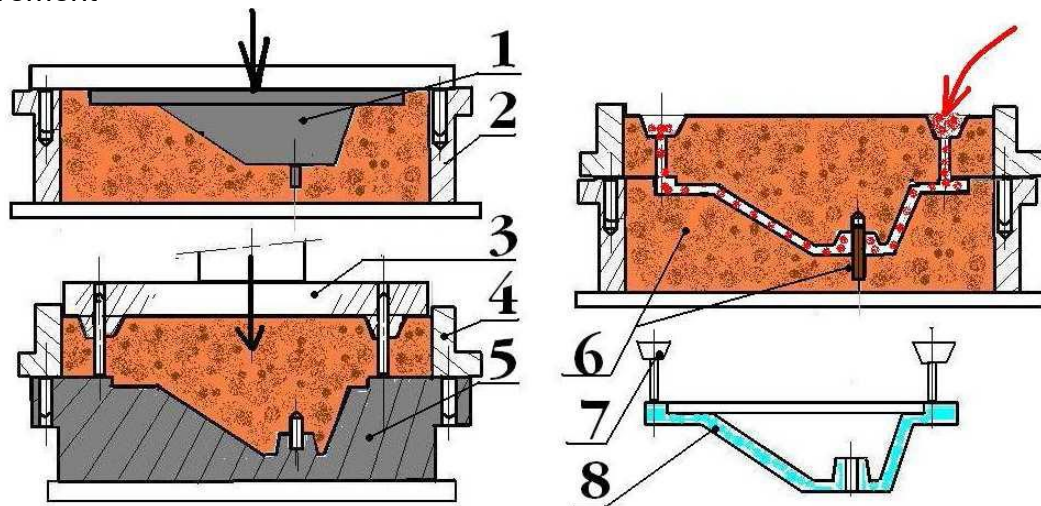


Fig3.1 :Exemple de moulage

4.4.2. Moulage métallique (ou moulage permanent)

Le moule métallique est réutilisable plusieurs fois. Le démoulage est rendu possible par la différence de matière entre le moule et le métal coulé. Le moule subit toujours un poteyage avant introduction du métal en fusion (il est enduit d'un liquide protecteur qui facilitera son démoulage).

Le moulage métallique est classé en trois catégories selon la pression d'introduction du matériau liquide dans le moule :

❖ Moulage par gravité

La pression est nulle, le matériau liquide est introduit par le haut et remplit le moule par gravité. L'état de surface ($R_a \gg 1,6 \text{ mm}$) et la précision obtenus sont moyens. Cette technique, dont l'outillage est moins coûteux que les suivantes, est adaptée pour les petites séries.



Fig3.2 :Moulage par gravité

❖ Moulage à basse pression

La pression est faible (0,2 à 2 bars), le matériau liquide est introduit par le bas.

Le procédé est semi-automatique, et souvent considéré comme une amélioration du moulage par gravité. Le coût de l'outillage est plus élevé, les cadences sont plus importantes, et l'état de surface et la précision sont meilleurs. Cette technique est adaptée pour les petites ou grandes séries.

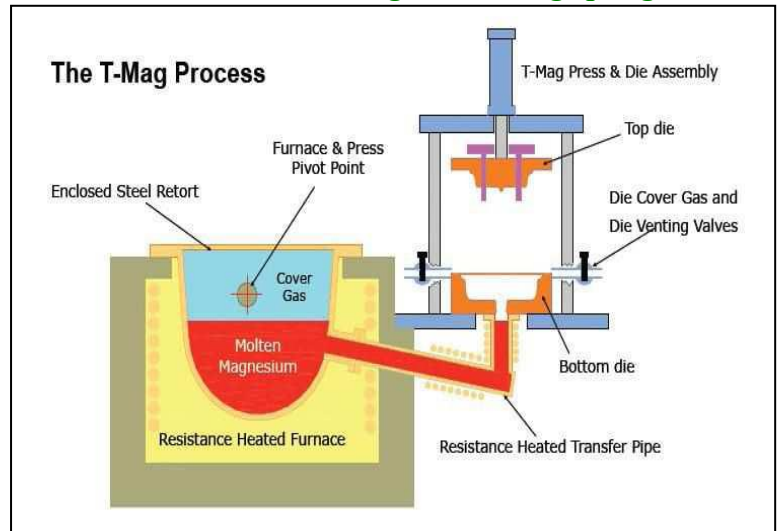


Fig3.3 :Moulage à basse pression

❖ Moulage sous pression (ou moulage par injection)

La pression d'injection du matériau liquide est importante (50 - 200 bars). Ce procédé est souvent automatisé et permet de grandes cadences de production (jusqu'à 500 pièces/heure). Le coût de l'outillage est très élevé. L'état de surface et la précision des pièces obtenues sont bons. Cette technique est adaptée pour les très grandes séries.

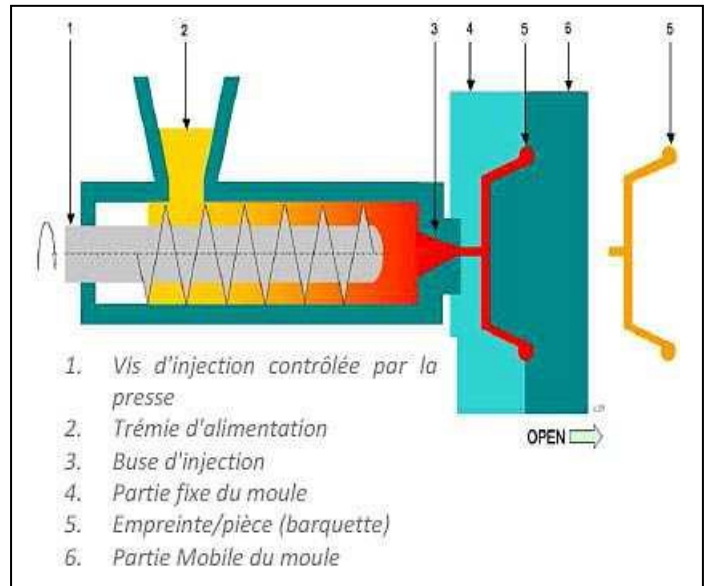


Fig3.4 :Moulage sous pression

❖ Moulage par centrifugation

Le moule est entraîné en rotation rapide. Le matériau liquide versé à l'intérieur se colle à la paroi par la force centrifuge et se solidifie.

❖ Moulage par insert (ou surmoulage)

Cette technique consiste à mouler un matériau (souvent en plastique) par-dessus une pièce, appelée insert (souvent en métal), insérée dans le moule. Il faut pour cela que le matériau à surmouler possède une température de fusion plus faible que le matériau de l'insert.

4.4.3. Fonderie à cire perdue

Le principe de ce procédé est de réaliser un moule non permanent autour d'un modèle qui seront détruits avant ou pendant la coulée. Ce procédé peut être utilisé en fabrication unitaire, dans ce cas les modèles sont réalisés en prototypage rapide, ou être utilisé en série dans ce cas les modèles peuvent être réalisés par injection.

4.4.4. Injection plastique

L'injection plastique utilise un moule permanent généralement métallique, dans lequel on injecte sous pression un polymère à l'état pâteux.

Après solidification, le moule s'ouvre et la pièce est éjectée.

Ce procédé permet de grande cadence de production et est donc utilisé dans le cadre de fabrication série.

La modélisation et la réalisation du moule sont basées sur le modèle numérique pièce. En effet, les modelleurs possèdent des outils spécifiques de moulage.

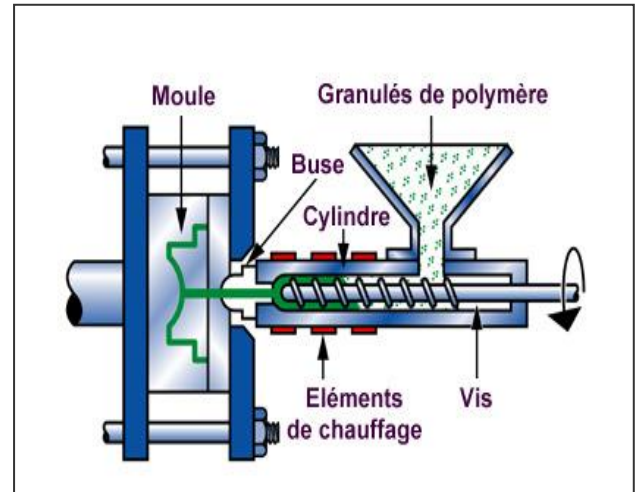


Fig3.5 : Injection plastique

4.4.5. Moulage par injection de métal (MIM)

Le procédé MIM est un dérivé de l'injection plastique. On injecte un mélange poudre métallique - polymère dans un moule chauffé à l'aide d'une presse à injecter classique. La pièce obtenue, dite pièce verte, est alors placée dans un four pour une opération de frittage. La pièce subit un retrait de l'ordre de 30%.

Ce procédé permet d'obtenir des pièces métalliques de formes complexes ayant de fortes caractéristiques mécaniques.

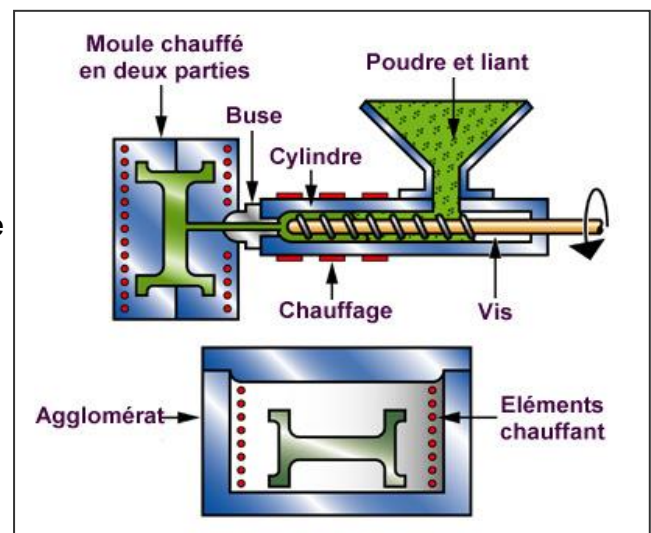
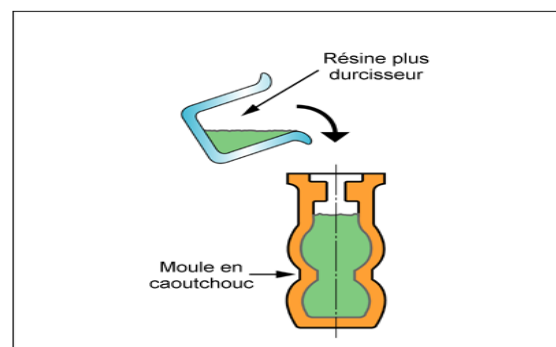


Fig3.6 : (MIM)

4.4.6. Coulée sous vide

Ce procédé utilise des moules en silicone permettant la coulée de résine polyuréthane. La coulée sous vide est souvent associée aux technologies de prototypage rapide. En effet, cela permet l'obtention rapide du moule ou des modèles.



IV.4. CLASSIFICATION DES PROCEDES

Classification des procédés								
Procédés		Nbr de pièce mini	Tolérances ± Mm			Surépaisseurs d'usinage mm	° Dépouilles	Épaisseurs minimales mm
Moule non permanent	Sable	1	Pour 100mm 2	0,5	5	3-5	5-7	5
	Carapace	500	0,8	0,25	2	1,5	5-7	3
	Cire perdue	50 à 500	0,4	0,06	1	1	-	1,5
	Polystyrène	1	2-3			5	-	8
Moule permanent	Gravité	250	0,17	0,1	1	1	0-2	3
	Pression	2000 à 5000	0,14	0,03	1	1	0-2	1,5

Classification des procédés										
Qualité	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Tolérance ± mm	0,1	0,17	0,27	0,43	0,7	1,1	1,8	2,7	4,4	7

Classification des procédés de moulage			
Moulage au sable		Moulage en coquille	Moulage à la cire perdue
•Précision			
Manuel	Plaque modèle	Gravité	Sous pression
		Augmentation de la précision →	
de ±2 à ±0.5 mm		de ±0.5 à ±0.1 mm	
de ±0.1 à ±0.05 mm			
•Dépouille ≈5°		0° à 2°	
•Contre-dépouille ≈Impossible		Possible outillage coûteux rare	
•Série		Courant	
Unitaire à grande série		Moyenne et grande série	
		Petite à grande série	

EC 11