



**LES FONDEURS DE FRANCE**  
*Entreprendre au cœur de l'Industrie*

## Les différents procédés de fabrication

En fonction des formes, de la masse, de la précision dimensionnelle, de l'état de surface recherché et des quantités à couler, il sera choisi parmi les procédés de moulage suivants.

### Principales classes de procédés de moulage

Moules métalliques	Moules sable	Moulage de précision
- Coquille - Sous pression - Centrifugation - Coulée continue - Basses pression	- A vert - Polymérisation à chaud (100 à 300 °C) - Auto-durcissant par catalyse - Prise par gazage - Procédés spéciaux : V process, polystyrène, congélation	- Modèle perdu - Moulage céramique

### **A – Les plus courants :**

#### ♦ **Le moulage sable ou coquille :**

Après réalisation d'une empreinte en creux en deux parties de la pièce à obtenir, on coule le métal porté à l'état liquide par simple gravité. Après solidification de l'alliage, la pièce est extraite du moule puis débarrassée des appendices nécessaires à la coulée.

L'empreinte (ou moule) peut être constitué :

- d'un matériau réfractaire, le plus souvent en sable. En fonction du type de liants utilisés (à froid ou thermodurcissants) et des moyens de production, on peut couler des pièces de toutes quantités pouvant aller jusqu'à plus de 100 tonnes ;
- d'un moule métallique qui est utilisé pour des fabrications d'au moins 5 000 pièces avec des masses allant de quelques grammes à 300 kg.

#### ♦ **La sous-pression :**

On force le métal liquide à s'introduire dans un moule métallique sous une forte pression afin d'obtenir des pièces en très grande série de quelques grammes à plus de 50 kg épousant l'empreinte gravée dans le moule.

L'évolution des machines conditionne l'amélioration des pièces. On distingue les machines à « chambre chaude » avec dispositif d'injection immergé, et les machines à « chambre froide », où le métal liquide est versé dans un conteneur métallique puis injecté dans l'empreinte sous des pressions atteignant couramment 1 000 bars.

Les premières sont utilisées pour les alliages de plomb, de zinc et de magnésium, les secondes pour les alliages d'aluminium, de magnésium, de zinc et de cuivre.

Les forces de fermeture atteignent aujourd'hui 45 000 kN pour les plus puissantes, l'hydraulique a supplanté le pneumatique, et les machines tout électrique, font leur apparition. Elles sont pilotées par micro-ordinateur permettant d'ajuster en temps réel l'alimentation du métal, l'extraction des pièces, l'élimination des attaques et événements, etc. Les logiciels de simulation rendent aujourd'hui possible la conception virtuelle des outillages et la mise au point des pièces en simulant les phases de remplissage et de solidification du métal.

La production mondiale se répartie entre l'aluminium, le zinc et le magnésium, pour de nombreux secteurs d'activité : automobile (carters cylindres, boîtes de vitesse, embrayages), poids lourds, cycle et motorcycle, électroménager (semelles de fer à repasser), électricité (carcasses et rotors de moteurs asynchrones), mécanique, électronique, télécommunication (téléphones portables), serrurerie, sanitaire, parfumerie de luxe, vêtement (fermetures à glissière), chauffage domestique, (éléments de radiateurs), jouet (automobiles miniatures) ...

◆ **Les procédés de précision à modèle perdu :**

En cire, urée, polystyrène expansé. Le moule est en « céramique » ou en plâtre. C'est un procédé de production en toutes séries de pièces de dimensions petites à moyennes dont la masse va de quelques grammes à quelques dizaines de kilogrammes. En plâtre, les alliages les plus usuels sont à base d'aluminium et à base de magnésium. Outre l'obtention d'une grande précision dimensionnelle, les points forts de la fonderie de précision à modèle perdu sont la réalisation de pièces de dessin pouvant être sophistiqué, à parois très minces, en alliages difficilement ou non usinables.

La précision dimensionnelle est très bonne à excellente. En moulage céramique on coule des alliages légers et ultra légers (magnésium) ; des aciers, des superalliages à base nickel, cobalt, zirconium ; le titane (également en moules de graphite usinés) ; des alliages cuivreux.

Principaux marchés : aéronautique, aérospatial, médical, militaire, nucléaire, têtes de clubs de golf, turbines, fonderie d'art, etc.

Les avantages de ce procédé sont multiples : la qualité de la « peau » de la pièce est remarquable. Quelles que soient les pièces creuses à réaliser, les opérations de noyautage sont supprimées. Les plans de joint de moule sont également supprimés. Par conséquent, les coûts d'ébarbage sont moindres (plus de portées de noyaux, plus de plan de joint). De plus, la coulée et le refroidissement du métal s'opérant dans de meilleures conditions que dans un moule classique, les pièces peuvent être réalisées avec moins de métal et ont note par conséquent un allègement de celles-ci. Ce procédé autorisant une grande précision dimensionnelle, il est possible d'obtenir des trous bruts de fonderie. Sur le plan du rendement, un tel procédé s'accommode fort bien d'importances cadences de production. De plus les chantiers « LOST FOAM » sont très flexibles. Dans la mesure où il n'y a pas d'outillage à démonter et pas de noyaux à préparer, le changement de pièces est aisé. De fait, il n'y a pas d'usure de l'outillage.

- En cire (ou urée) perdue : On coule une cire spéciale qui, en se solidifiant, prend la forme exacte de la pièce à produire. Ensuite, le modèle ainsi réalisé en cire, après avoir été éventuellement monté en grappe, est trempé à plusieurs reprises dans un bain pâteux (barbotine) de matériaux réfractaires et de liants qui, en séchant, forme la « carapace » autour du modèle en cire. L'ensemble est porté à une température supérieure à 100 °C : la cire fond et laisse alors une cavité dans laquelle sera coulé le métal en fusion. Après refroidissement, le moule est détruit laissant apparaître une pièce métallique identique, dans les moindres détails, au modèle initial.

- En polystyrène expansé emballé dans un sable sans liant (LOST FOAM, ...).

Ce procédé de moulage implique la fabrication d'autant de modèles que de pièces à réaliser. Les modèles sont obtenus par injection, dans un moule métallique, de granules de polystyrène qui se soudent sous l'action de la vapeur.

Les différentes parties du modèle et les appendices de coulée sont collés de manière à former des grappes recouvertes d'un enduit réfractaire, puis placés dans un bac dans lequel on verse du sable sec sans liant qui est ensuite compacté par vibrations. Lors de la coulée, le front de métal progresse en faisant évaporer le polystyrène et prend la place de celui-ci.

#### ◆ **La centrifugation :**

La centrifugation, encore appelée coulée sous-pression centrifuge est une technique de coulée basée sur les propriétés physiques de la force centrifuge. En faisant effectuer au moule en sable ou à la coquille métallique une rotation autour d'un axe vertical ou horizontal, le métal acquiert les propriétés physiques supplémentaires suivantes par rapport à la coulée par gravitation classique :

- grande homogénéité du métal dans l'ensemble de la pièce,
- possibilité d'homogénéiser deux alliages métalliques de manière à ce que la pièce possède les propriétés physiques des deux alliages à la fois,
- solidification plus rapide de la pièce qui est ainsi mieux texturée, notamment lorsqu'un système extérieur de refroidissement par eau est mis en place,
- cristallisation très régulière.

Ce procédé ne peut toutefois être appliqué que pour des pièces de formes simples telles que galets de roulement, roues, tubes, cylindres de laminoirs, calandres, chemises de moteurs, etc. L'utilisation la plus célèbre du procédé concerne la production de tuyaux en fonte à graphite sphéroïdal (SAINT GOBAIN PAM) ou en alliages cuivreux (LE BRONZE INDUSTRIEL).

### **B – Procédés spéciaux :**

#### ◆ **Le thixomoulage :** la fonderie à l'état semi-solide.

La propriété dite thixotrope de se liquéfier par agitation puis de se solidifier au repos est bien connue pour le beurre, la pâte dentifrice ou le yaourt mais c'est seulement en 1971 qu'elle fut mise en évidence pour les métaux. En 1990, un procédé industriel pour la réalisation de pièces coulées en aluminium et en magnésium voit le jour. Les alliages, portés à l'état pâteux, sont injectés sous pression, produisant des pièces avec un bon état de surface, traitables thermiquement, soudables et possédant de hautes caractéristiques mécaniques. Les lourds investissements et les cadences élevées réservent ce procédé à la grande série de l'automobile (rampes d'injection, supports moteurs, pièces minces de structure, éléments de suspension) ou aux outils de communication (boîtiers de téléphones ou d'ordinateurs portables, caméras, caméscopes).

#### ◆ **Le V Process :** le moulage sous vide.

Le sable sec, serré par vibrations en châssis, est recouvert de feuilles de plastique durant la coulée et la solidification. On démoule en arrêtant le vide par la dépression du vide. On obtient une empreinte rigide, le vide est maintenu pendant la coulée et la solidification, le décochage se faisant simplement par suppression du vide. Absence de liants, longévité des modèles, bon état de surface de pièces même de grandes dimensions, bonne précision dimensionnelle et parachèvement restreint, sont les principaux avantages de ce procédé.

◆ **Le squeeze casting** (moulage forgeage) :

Procédé de fonderie qui consiste à appliquer une pression importante sur la pièce pendant sa phase de solidification.

Avantages du squeeze casting : diminution des coûts grâce à la réduction des usinages ; amélioration des caractéristiques mécaniques.

◆ **Le moulage céramique** :

Le matériau de moulage est constitué d'un mélange rigoureux de produits réfractaires auquel on ajoute un liant chimique et un accélérateur de prise. Ce procédé, qui tolère des modèles bois, plastique ou métallique, s'adresse, quelles que soient leurs dimensions ou leurs quantités, aux pièces dont les profils sont difficilement usinables, tels que poinçons, matrices, moules métalliques, pompes... Il est possible, par exemple, pour les conduits hydrauliques d'impulseurs, qui nécessitent un très bon état de surface et une grande précision, de remmouler des noyaux en céramique dans des moules conventionnels en sable à prise à froid.

◆ **La coulée continue** :

La fonderie de fonte fait appel à la coulée continue pour obtenir des barres profilées, principalement en fonte à graphite lamellaire ou sphéroïdal, de différentes sections : rondes, pleines ou creuses ( $\varnothing$  20 à 600 mm), carrées (30 à 500 mm), rectangulaires (100 x 350 mm), profils spéciaux... de longueurs variables de 0,5 m à 4 m.

◆ **Le moulage « CRONING »** :

Le mélange sable-résine-catalyseur est mis au contact d'un outillage métallique chauffé à une température voisine de 300 °C. En quelques dizaines de secondes, il se forme une carapace de sable durcie par polymérisation autour du modèle. L'excédent de sable non polymérisé est éliminé par renversement de l'outillage. Les noyaux pleins ou évidés sont réalisés de façon analogue. Ce procédé permet de faire des pièces d'une grande précision dimensionnelle, d'un bel état de surface mais d'un poids limité à 30 kg environ.

◆ **Le rhéocasting** : moulage semi-solide :

Le métal mi-solide, mi-liquide, de structure « globulaire », est obtenu par solidification et non par réchauffage comme pour le thixomoulage.

◆ **Cobapress** :

Coulée dans une première coquille par gravité basculante suivie d'un forgeage dans un deuxième outillage.

◆ **Le prototypage rapide** :

Fabrication rapide de modèles et prototypes ; procédés permettant de restituer physiquement des objets 3D définis par un modèle numérique, dans un temps beaucoup plus court que par les techniques classiques.