

### Moulage : Classification des procédés



mercredi 19 mai 2021

### U4 ETUDE DE PREINDUSTRIALISATION / COMPETENCES :

- C01. Proposer et argumenter des modifications de la pièce liées aux difficultés techniques et aux surcoûts de production.
- C03. Pour chacun des procédés visés, proposer un processus prévisionnel et des principes d'outillages associés.
- C04. Valider le choix du couple matériau - procédé d'élaboration au regard de la géométrie et des spécifications de la pièce à produire.
- C05. Spécifier les moyens de production nécessaires (machines-outils, outils, outillages...).
- C06. Établir les documents destinés aux partenaires co-traitants et sous-traitants.

. BO ou Référentiel : **BTS IPM 2005**

## SAVOIRS / Niveau 2 : Expression

### S7.1 Élaboration des pièces métalliques semi-ouvrées

- Principe physique associé au procédé.
- Principe des outillages.
- Limites et performances (matériaux, formes et précisions réalisables).
- Incidences sur le matériau et sur les procédés de transformations ultérieurs.
- Notion sur les coûts.

*Pour les procédés suivants :*

- moulage en moules non permanents et permanents ;
- déformation plastique : laminage, forgeage, estampage, matriçage, extrusion... ;
- déformation plastique des tôles : pliage, emboutissage... ;
- découpage, découpage fin, oxycoupage, découpage au jet d'eau haute pression, découpage au laser.

- **Enumérer les différents procédés de fonderie**

**Objectif Opérationnel**

**Document Professeur**

### Moulage : Classification des procédés



mercredi 19 mai 2021

- . **SITUATION** : Classe de Première Année de BTS IPM
- . **PREREQUIS** : - /
- . **DONNEES DU PROBLEME, CONDITIONS DE REALISATION** :
  - **DUREE** : 1 Heure
- . **TRAVAIL DEMANDE** :
  - Situer historiquement l'apparition de la fonderie
  - Décrire brièvement le principe du moulage
  - Citer les secteurs d'activités liés à la fonderie
  - Lister les différents matériaux utilisés en moulage
  - Enumérer les différents procédés de fonderie
  - Citer les étapes de conception d'une pièce

#### PLAN ET DEROULEMENT DE L'ACTIVITE :

- . **METHODE** :
  - **ACTIVITE** (de Groupe, d'Equipe, Individuelle) : - Cours
- . **MOYENS DIDACTIQUES** :
  - **DOCUMENTS** : - Poly Cours
  - **AUDIO-VISUELS** : - Vidéo durée 30 minutes Travail de fonderie
  - **AUTRES** : - Exemple de pièces moulées
  - **BIBLIOGRAPHIE** : - Le moulage en BD
  - **LIENS** : - <http://www.ac-nancy-metz.fr/pres-etab/loritz/index.htm>
  - <http://www.ac-nancy-metz.fr/pres-etab/loritz/formations/fonderie/Dommartin.wmv>
  - [http://www.sorelmetal.com/fr/publi/frset\\_publici.htm](http://www.sorelmetal.com/fr/publi/frset_publici.htm)
  - <http://www.inrs.fr/htm/ed908.pdf>

#### EVALUATION DE L'ACTIVITE :

- . Evaluation Formative
- . Evaluation Sommativ



### 1 HISTORIQUE

#### LE PLUS VIEUX METIER DU MONDE :

Il y a environ 250 000 ans, l'homme fit la découverte du feu. Il s'agissait d'un pas significatif dans le développement de l'humanité. Presque simultanément, l'homme découvrit l'utilité du silex dans la fabrication d'outils. Ainsi armé de feu et de silex, l'homme continua son développement. Cette lente progression lui permit de se structurer davantage. Des tribus se sont alors formées, de même que des villages.

Toujours dans sa progression, l'homme fit la découverte de l'argile et de ses nombreuses applications : pots, cuisson de la nourriture, poteries diverses... La table était mise pour la venue de la métallurgie.

Il est généralement accepté par le monde scientifique que l'or fut le premier métal à attirer l'attention de l'homme. Ce qui était en soi naturel puisque l'homme a toujours été attiré par ce qui brillait. Les cours d'eau représentaient l'endroit propice à la découverte de ce métal. L'homme primitif était habitué de travailler avec du silex. Il fut déçu de ne pas trouver dans l'or toutes les caractéristiques qu'il retrouvait dans le silex. Dans l'esprit de l'homme primitif, l'or devenait inutilisable. Dès lors, on ne se servait de ce métal que pour fabriquer les ornements et les parures. Certaines informations indiquent que l'or n'était pas chauffé ni fondu avant la découverte d'un autre métal, le cuivre.



La légende veut qu'un aborigène entoura son feu de pierres contenant du minerai de cuivre. À son réveil, il remarqua quelque chose qui brillait au travers des cendres. Il s'agissait du métal fondu durant la nuit. Cette découverte fut faite 4500 ans avant Jésus-Christ. Dès lors, la fonderie est née.

Au fil des années, l'homme découvrit qu'il pouvait façonner le métal en le martelant. C'est ainsi que la forge fit son apparition. Ces découvertes successives ont permis à l'homme de donner une forme au métal fondu en le déposant dans des moules ouverts fait en sable et même dans des moules "permanents" fait de pierre. Le reste est de l'histoire ancienne... et c'est ce qui fait que la fonderie peut être considérée comme le plus vieux métier du monde.



### DE L'ANTIQUITE A NOS JOURS :

Dans le célèbre Dictionnaire des Arts et Manufactures publié en 1877 sous la direction de Charles Laboulaye, secrétaire de la Société d'Encouragement pour l'industrie nationale, on pouvait lire à l'article Fonderie : « L'art du fondeur consiste à reproduire, avec des matières plus ou moins fusibles, les formes et les dimensions de tous les objets modelés ou sculptés qui peuvent se présenter. Cet art dont les premières applications remontent à l'Antiquité la plus reculée, a pris ces derniers temps une immense importance et a donné naissance à une de nos plus belles industries... ».

L'article, publié avant les bouleversements de la seconde révolution industrielle, n'a toutefois pas perdu de sa fraîcheur, tant il est vrai qu'en longue durée, l'histoire de la fonderie ne peut se dissocier de celle des hommes et de celle de l'art. La définition qu'en donne aujourd'hui le Petit Larousse en est une autre illustration :

*Fondeur, euse (de fondre). 1) Sculpteur pratiquant la fonte, notamment du bronze. 2) Personne, industriel travaillant dans la fonderie.*

**Un art et une industrie**, telle est l'image la fonderie veut donner.

Un art dont l'origine remonte aux premiers âges de l'Humanité quand, en plusieurs régions du monde, au Moyen-Orient, en Chine et en Europe, des artisans ingénieux maîtrisant l'emploi du feu bouleversent la vie quotidienne des petits et des puissants en fabriquant en quantités croissantes armes et objets de parure, épingles et poinçons, épées et coupelles. Une industrie qui s'épanouit et trouve en France au Moyen Age un pays à sa mesure. Les premiers documents ayant trait à la corporation des fondeurs remontent à 1281. Mais c'est à partir du siècle de Louis XIV que s'établit la réputation d'habileté des fondeurs français.

Une réputation qui n'a pas failli au fil des siècles. Deuxième producteur européen derrière l'Allemagne avec une production de 2,7 millions de tonnes pour un chiffre d'affaires de 5,3 milliards d'euros, septième producteur mondial, regroupant 625 établissements et plus de 43 000 salariés, la fonderie française aborde le XXI siècle avec confiance. Des simples appareils ménagers aux constructions les plus sophistiquées de l'aérospatiale, elle reste au cœur de nos activités.

### 2 PRINCIPE :

La fonderie consiste à couler un métal ou un alliage en fusion dans un moule pour obtenir, après solidification, une pièce dont les formes reproduisent celles du moule. Du fait qu'elles mettent en forme le métal liquide, les industries de la fonderie doivent maîtriser deux technologies essentielles : la fusion des métaux et alliages, et le moulage.

La mise en oeuvre du métal sous forme liquide implique l'existence de moyens de fusion adaptés et la connaissance de la métallurgie associée. L'énergie utilisée est, selon les cas, l'électricité, le gaz, le coke ou le fuel. Les températures nécessaires pour couler les métaux sont très variées :

*Aciers moulés 1700° C / Fontes 1500° C / Alliages Cuivreux 1200 ° C /  
Alliages aluminium 700 ° C / Alliages de zinc 400 ° C*

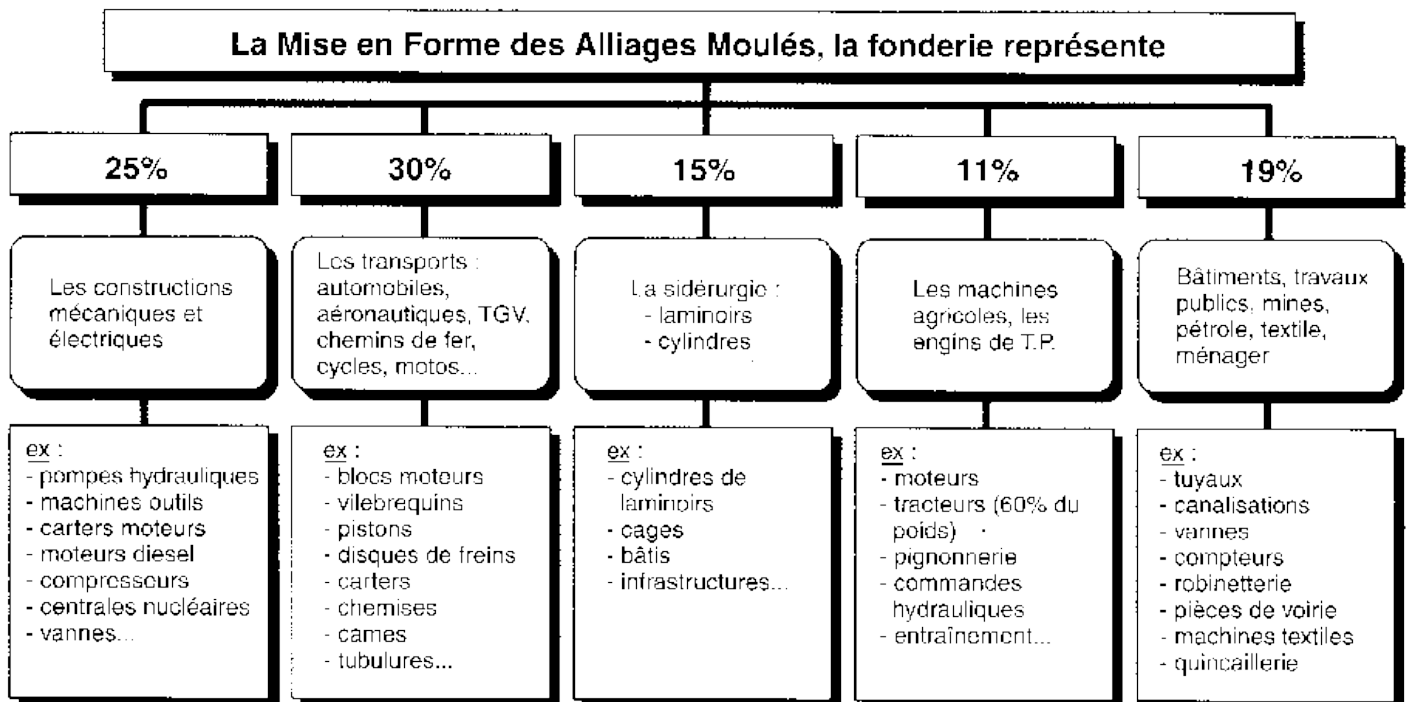


Le remplissage des moules par un métal permet d'obtenir les formes les plus complexes (pleines ou creuses) dès lors que l'on peut concevoir et réaliser les moules correspondant aux pièces. On obtient alors, sans joints mécaniques ni soudures, des pièces de tailles très variées, allant de moins d'un gramme jusqu'à plusieurs centaines de tonnes. Les fonderies se spécialisent selon: les alliages mis en oeuvre; la taille des pièces, qui détermine le volume de métal liquide à préparer, les moyens de manutention et les dimensions des moules, le nombre de pièces par série qui conduit à des procédés de moulage parfois mécanisés et automatisés, et qui influe sur la taille de l'entreprise. Enfin, la précision dimensionnelle et le niveau de qualité souhaité, peuvent conduire à des procédés de moulage spéciaux (en carapace, en cire perdue, etc.) et à des équipements de contrôle adaptés.

**3 LES PRODUITS :**

Formule 1, TGV, Airbus ou Ariane sont équipés avec des pièces de fonderie mais on les retrouve également dans la vie quotidienne avec les fermetures éclair, les composants pour l'électroménager et les téléphones portables, les blocs-cylindres et jantes en aluminium pour l'automobile...

De quelques grammes à plusieurs tonnes, les fonderies participent à la fabrication de grosses pièces telles des hélices de bateau, des carters ou bâtis de machine, des collecteurs d'échappement, des aubes de turboréacteurs, des tuyaux d'adduction d'eau... mais aussi d'objets plus petits pratiques ou décoratifs pour la table





### 4 LES ALLIAGES UTILISÉS :

Rappel : Les fontes sont des alliages fer-carbone avec un taux de carbone élevé (2,5 à 4 %).

**Les fontes à graphite lamellaire** présentent de très bonnes propriétés d'utilisation, mais peu d'élasticité à la traction. Cela tient à la présence du carbone sous forme de lamelles de graphite libre qui cristallise dans la matrice, celles-ci créent des amorces de rupture entraînant une certaine fragilité. Pour certaines applications, on ajoute des éléments (nickel, chrome ... ) qui en font des fontes dites alliées, dont la teneur en carbone est généralement inférieure à 3 %.

**Les fontes à graphite sphéroïdal** révolutionnent la métallurgie des fontes. Apparues en 1948, elles ont des caractéristiques dépassant celles de certains aciers forgés, notamment en ce qui concerne leur résistance à la fatigue. Cela tient au fait que le graphite cristallise sous forme de petites sphères et non de lamelles. On évite ainsi les traitements thermiques que nécessitent les fontes malléables déjà utilisées pour les pièces sollicitées. L'industrie automobile emploie les fontes à graphite sphéroïdal pour réaliser en grande série des pièces de sécurité (vilebrequins, pièces de suspension ... ), et l'adduction d'eau les utilise pour des tuyaux car leur résistance et leur élasticité permettent l'adaptation aux mouvements des terrains.

**L'acier** est un alliage de fer et de carbone, mais dont la teneur en carbone est inférieure à 1.5 %. On distingue trois familles d'aciers de moulage : les aciers au carbone (0,15 à 0,45 %), les aciers faiblement alliés (moins de 5 % d'éléments comme le chrome, le nickel, le molybdène, ... ), et les aciers fortement alliés comme les inoxydables et les réfractaires. Ils sont employés essentiellement pour les matériels destinés aux transports ferroviaires, aux travaux publics, à la sidérurgie, à la production d'énergie (turbines) et au secteur nucléaire.

Les pièces moulées en **cuivre** et en **alliages cuivreux** sont très recherchées pour leur facilité d'usinage, leur qualité de frottement, leur résistance à la corrosion et leur conductibilité, mais aussi pour leur bel aspect et leur agréable sonorité. Ces alliages sont surtout utilisés pour la robinetterie, la construction navale, les industries mécaniques et électriques, pour la sculpture et l'art campanaire. Ils sont en bronze (7 à 20 % d'étain), en laiton (20 à 40 % de zinc) et en cupro-aluminium (9 à 12 % d'aluminium).

Les **alliages d'aluminium** se répartissent en cinq grandes classes :

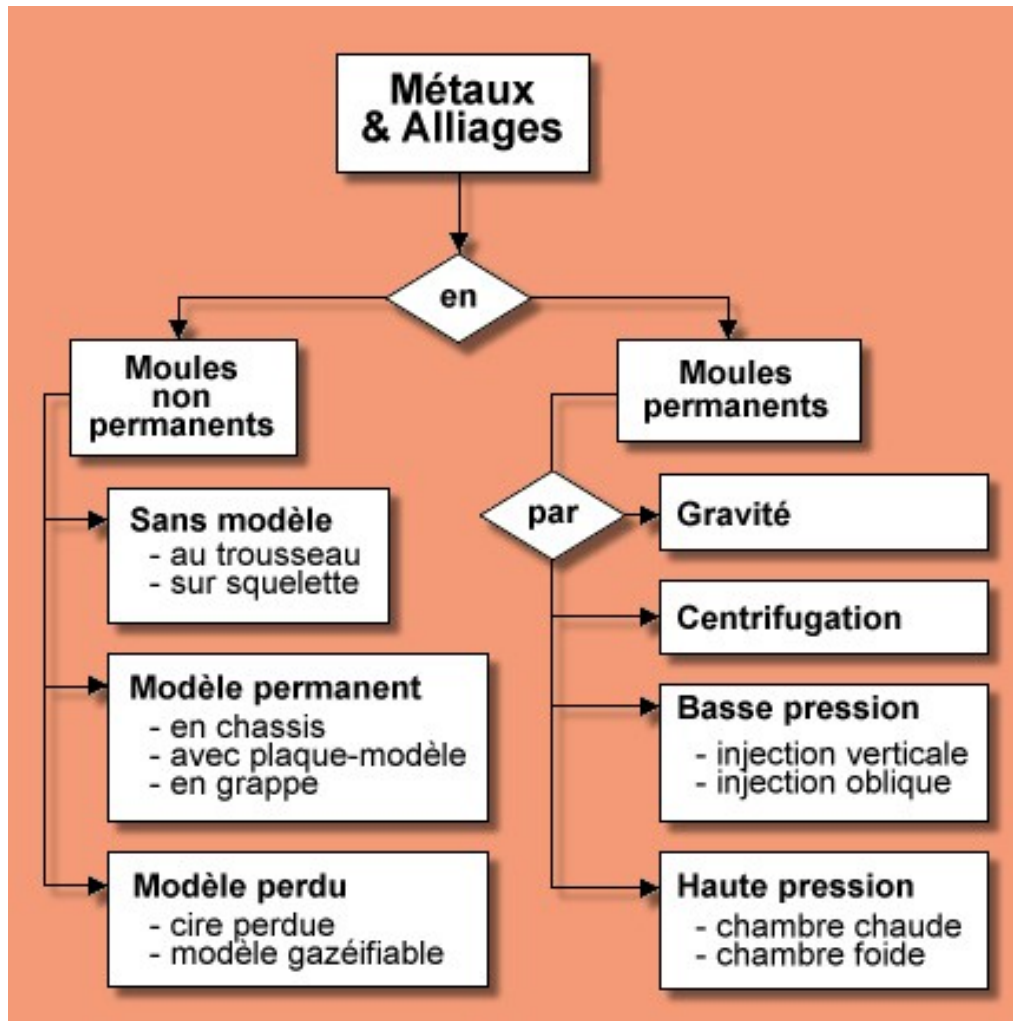
- alliages aluminium-silicium,
- aluminium-silicium-cuivre souvent issus du recyclage,
- aluminium-cuivre,
- aluminium-magnésium et
- aluminium-zinc.

Leur emploi est lié à leur légèreté, leur conductibilité et leur résistance à la corrosion. Ils sont particulièrement utilisés dans l'industrie automobile, la construction électrique, les appareils ménagers, l'armement et les industries aéronautiques et spatiales. Les alliages de magnésium entrent dans les applications spéciales de l'aéronautique et de l'armement. Les alliages de zinc sont constitués principalement de zinc et d'aluminium. Ils sont faciles à mettre en oeuvre et adaptés à la fabrication en grande série de pièces précises (de la fermeture à glissière aux bâtis de machines pour la bureautique, en passant par les jouets, le matériel électrique et les équipements automobiles).



**5 LES PROCÉDES :**

Le moulage, au cœur de toute fonderie, fait intervenir deux types de moules. Les moules destructibles et les moules permanents.



**Les moules destructibles** (non permanents) sont fabriqués en sable ou en céramique. Après la coulée et la solidification du métal, ils doivent être désagrégés pour libérer les pièces. L’atelier de moulage est organisé autour de la fabrication et de la manutention des moules, ce qui implique l’existence d’une sablerie et d’importants transferts de matériaux. Le moulage en sable est utilisé pour tous les alliages, mais particulièrement pour la réalisation de pièces en fontes ou en acier.

**Les moules permanents** sont métalliques, réutilisables plusieurs milliers de fois, ce qui les rend bien adaptés aux fabrications de grande ou très grande série. Le moulage par centrifugation et en coquille gravité est utilisé pour certaines fabrications en alliages ferreux. Les alliages d’aluminium, de magnésium et de zinc sont dans leur très grande majorité coulés en moules métalliques par les procédés sous pression, coquille gravité, coquille basse pression, squeeze casting et thixomoulage.



### Les différents procédés de moulage en fonderie.

Lorsque vient le temps de réaliser une pièce de fonderie, plusieurs procédés peuvent être utilisés. Chaque procédé possède ses avantages et ses inconvénients.

**Sable à vert** : Technique qui utilise des moules en sable lié avec de l'argile et de l'eau. La précision des pièces obtenues par cette technique varie de moyenne à bonne. Les principaux avantages de cette méthode résident dans la rapidité de moulage et le taux de récupération très élevé du sable.

**Permanent coquille** : Technique qui consiste à couler, par gravité, du métal liquide dans un moule métallique. Avantages: très beau fini de surface, très rapide et bonne précision dimensionnelle.

**Permanent sous pression** : Le métal est injecté dans un moule métallique à haute pression. Avantages : permet d'obtenir des pièces complexes et minces avec une très bonne précision dimensionnelle. Procédé de production très rapide.

**Cire perdue** : On confectionne un modèle en cire pour le recouvrir ensuite d'un enduit en céramique. En cuisant la céramique pour la faire durcir, on récupère la cire fondue. Il ne reste plus qu'à couler le métal dans le moule en céramique. La précision obtenue par cette technique est excellente. Parmi d'autres techniques similaires on retrouve : " lost-foam " ou la cire est remplacée par du polystyrène expansé...

**Squeeze casting** : Le métal semi-solide (40% liquide et 60 % solide) est injecté dans une matrice métallique pour ensuite être pressé pour lui donner sa forme finale.

**Thixomoulage** : Procédé innovant de moulage à l'état semi-solide qui consiste à couler sous pression un alliage à une température à laquelle coexistent les phases solides et liquides.

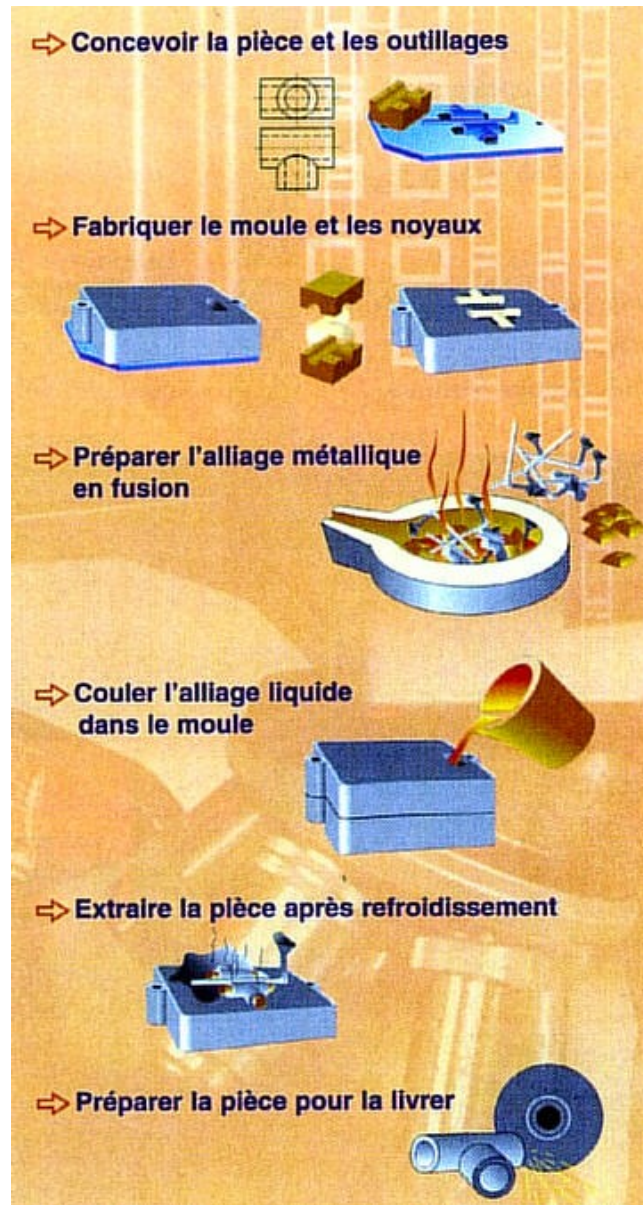
**Les outillages** sont, d'une part, les modèles ou les plaques modèles pour réaliser les empreintes dans le sable et, d'autre part, les moules permanents. Il faut ajouter les « boîtes à noyaux » destinées à réaliser des volumes en sable appelés « noyaux » qui permettent d'obtenir des cavités et des surfaces aux formes complexes. Le noyautage est indispensable dans la plupart des fonderies.

**Les techniques informatiques** sont d'une aide précieuse à la conception des outillages, comme la conception assistée par ordinateur (CAO) et la simulation du remplissage des moules et du refroidissement du métal. Bien implantées en fonderie, ces techniques offrent l'avantage de réduire les délais de fabrication et coûts de mise au point et d'améliorer la qualité des pièces les plus complexes.





**6 LES SIX ÉTAPES DE CONCEPTION D'UNE PIÈCE:**



**Le parachèvement** comprend une suite d'opérations de finition des pièces, dont l'élimination du sable du moule et des noyaux, suivie selon les cas du grenailage, du traitement thermique, de l'usinage, de la peinture ou des traitements de surface.

À toutes les phases de la fabrication, s'insèrent de nombreuses opérations de mesure et de contrôle (analyse chimique du métal, analyse des sables de moulage, mesures de températures, contrôle tridimensionnel, magnétoscopie, ressuage, métallographie ... ). La gestion de la qualité est l'une des clés de la réussite industrielle, particulièrement dans les industries de la fonderie, où il faut maîtriser un nombre élevé de paramètres au cours du processus de production.