

CHAPITRE 02 :

Procédés d'obtention des pièces sans enlèvement de matière

2.1. Introduction :

La fabrication et les utilisations des matériaux sont liées à leurs propriétés mécaniques et thermiques, telles que la rigidité, la ductilité, la dureté.

Le choix du matériau pour un usage donné est souvent dicté par la facilité avec laquelle il prendra la forme désirée et par son coût. Les procédés de fabrication comprennent divers méthodes (formage, moulage, métallurgie des poudres et l'usinage).

2.2. Le moulage

Le moulage consiste à verser dans une empreinte un métal liquide qui s'écoule par gravité ou sous pression et qui prend en se solidifiant la forme de l'empreinte.

2.2.1. Remarques sur le moulage :

- La température de fusion du métal coulé doit être inférieure à la température de fusion du matériau constituant le moule.
- Un moule métallique prend le nom de « coquille ».
- Le moulage permet d'obtenir économiquement des pièces compliquées.
- La fonte se moule mieux que l'acier. La fonte en fusion est plus fluide que l'acier en fusion.

2.2.2. Les étapes du moulage :

1. Fondre le métal
2. Le verser dans le moule
3. Le laisser refroidir

On distingue deux techniques de moulage :

- 1) Avec moules permanents
- 2) Avec moules à usage unique

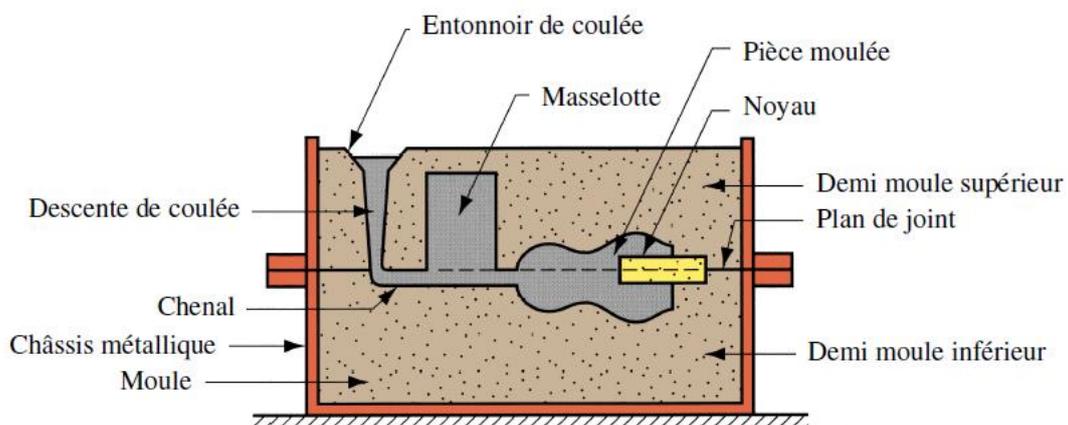


Fig.01. Schéma de fonctionnement

2.3. Le Cintrage (Roulage) :

Le cintrage (roulage) consiste à cintrer une tôle plane. On déforme une feuille de métal pour arriver à une pièce de révolution conique ou cylindrique. Ceci est réalisé par des outils qui sont des cylindres comportant le même profil que la pièce à déformer en nombre et en disposition variés autour de la pièce.

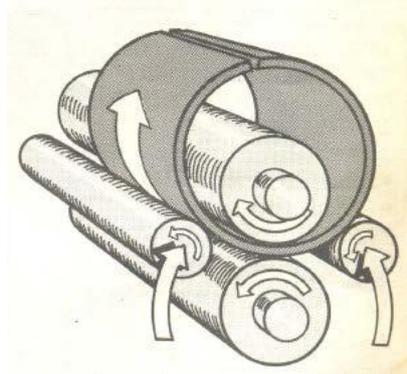


Fig.02. Schéma de principe du cintrage

2.4. Repoussage au tour

Il consiste à plaquer une feuille de métal (Le Flan) contre une forme (le Mandrin) à l'aide d'un outil. Le flan et le mandrin sont entraînés en rotation par le tour.

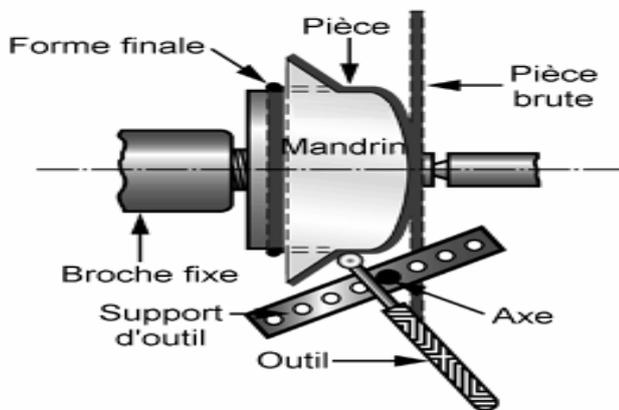


Fig.03. Schéma de principe du repoussage au tour

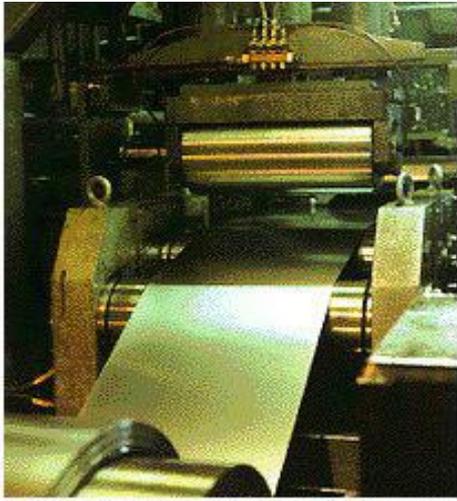


Fig.04. Exemples de pièces repoussées

2.5. Le Laminage

Le laminage est un procédé de fabrication par déformation plastique. Il concerne différents matériaux comme du métal ou tout autre matériau sous forme pâteuse comme le papier. Cette déformation est obtenue par compression continue au passage entre deux cylindres contrarotatifs appelés laminoir¹.

Un laminoir est une installation industrielle ayant pour but la réduction d'épaisseur d'un matériau (généralement du métal). Il permet également la production de barres profilées (produits longs).



Laminage à froid de tôle fine
(document SANDVIK)

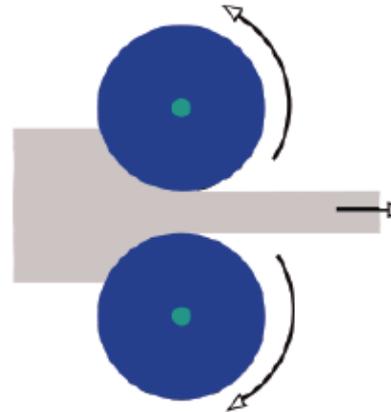


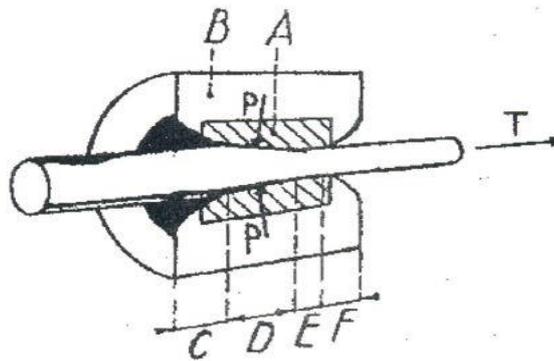
Fig.05. Schémas de fonctionnement (Laminage)

2.6. Le tréfilage:

Le fil machine obtenu par les opérations de laminage est un produit intermédiaire, surtout dans la fabrication des câbles électriques, dont le fil doit avoir un diamètre plus petit. L'opération qui permet la réduction du diamètre du fil est dite tréfilage, la machine de tréfilage est appelée tréfileuse.

Le principe de tréfilage est d'utiliser la plasticité du métal pour réduire le diamètre du fil, par passage à travers un orifice calibré, appelé filière sous l'effet combiné d'application d'un effort de traction **T** et d'un effort radial de compression **P**.

La filière constitue l'élément fondamental de l'opération de tréfilage. La forme qu'il convient de lui donner a fait l'objet de nombreux travaux théorique et expérimentaux. Elle est constituée d'un noyau dur **A**, généralement en carbure de tungstène ou en diamant, fretté dans une monture **B** en acier.



A noyau
B monture
C cône d'entrée

D cône de travail
E portée cylindrique
F cône de sortie



Fig.06. Tréfileuse

2.7. Le découpage

2.7.1. Le poinçonnage et l'emboutissage

L'emboutissage est un procédé de mise en forme très utilisé dans l'industrie, permettant d'obtenir des pièces de surface non développable à partir de feuilles de tôle mince, montées sur presse. La tôle appelée « flan », est la matière brute qui n'a pas encore été emboutie. L'opération peut être réalisée avec ou sans serre flan pour maintenir le flan contre la matrice pendant que le poinçon déforme la feuille.

Le poinçonnage n'est pas un procédé de découpe thermique. Il s'agit d'un procédé par cisailage des tôles. La tôle est coincée entre un poinçon et une matrice. La descente du poinçon dans la matrice découpe le matériau comme le ferait une paire de ciseaux. En principe il n'y a pas de limite au poinçonnage, seule la puissance de la machine limite l'épaisseur des matériaux à découper en fonction des caractéristiques mécaniques du matériau.

Ce procédé permet d'obtenir de grandes précisions de découpe.

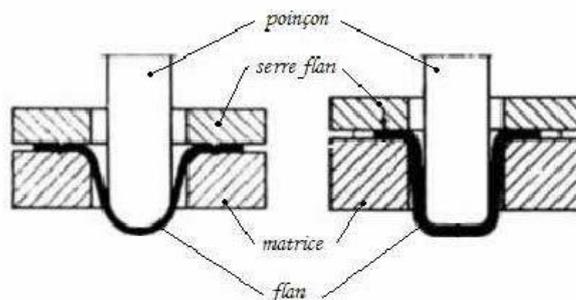


Fig.07. Schéma de principe du poinçonnage

2.7.2. L'Oxycoupage

C'est un procédé de découpage par fusion du matériau par combustion localisée et continu d'un jet d'oxygène pur. Pour amorcer l'opération, il faut au préalable chauffer un point de la pièce appelé point d'amorçage au moyen d'une flamme de chauffe. Puis un jet d'oxygène est envoyé à grande vitesse pour commencer la combustion. Le jet d'oxygène expulse le matériel en fusion provoquant une saignée de coupe. Le mélange d'oxydes et de métal en fusion est appelé scories d'oxycoupage.

Le jet de coupe est concentré dans une buse calibrée montée sur un chalumeau coupeur. Pour obtenir la chauffe de la pièce, on utilise deux gaz : un comburant et un carburant. Le carburant est de l'acétylène ou du

propane, le comburant est l'oxygène. L'oxygène est donc utilisé en deux temps : un fil pour chauffer, on dit qu'il s'agit de l'oxygène de chauffe, puis il est utilisé pour la découpe, on dit qu'il s'agit de l'oxygène de coupe.

L'oxycoupage est utilisé pour découper l'acier au carbone dans de fortes épaisseurs. On peut facilement découper des pièces de plus de 200 mm.

Principe :

Il est basé sur la combustion du fer, on sait que le fer porté au rouge blanc 1370° brûle dans l'oxygène. On peut donc dire que :

* Par l'action d'un jet d'oxygène pur sur un métal préalablement porté à haute température, il est possible d'en réaliser le découpage alors appelé " oxycoupage "

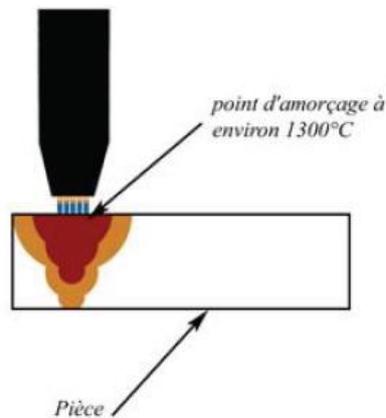


Fig.8. Schéma de fonctionnement (Oxycoupage)

2.7.3 La découpe jet d'eau

Le principe de cette technologie qui puise son origine dans les années 1960, initié par un certain Docteur Norman Franz, consiste à projeter un filet d'eau à une vitesse très élevée, comprise entre 600 et 900 mètre par seconde à travers une buse de faible diamètre, entre 0,05 et 0,5 mm.

Le diamètre du jet d'eau qui sera mis en contact avec le matériau à découper correspond au diamètre de la buse. Pour pouvoir découper le matériau, la pression du jet doit pouvoir atteindre jusqu'à 4000 bars. Le matériau est découpé par arrachement de matière. Pour des matériaux plus difficiles ou plus durs, on ajoute au jet d'eau un abrasif.

Utilisation de cette technique

- Découpe de métaux
- Découpe de minéraux, verres, céramiques
- Découpe de produits alimentaires
- Découpe de plastiques, caoutchoucs, composites
- Découpe de textiles, papiers, cartons, cuirs
- Décalaminage, nettoyage de turbines
- Décapages de coques de navires
- Décontamination nucléaire
- Démolition, piquage et perçage en bâtiment

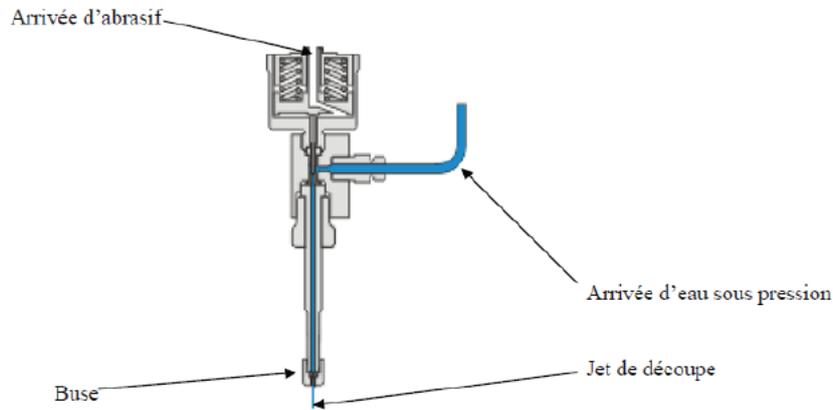


Fig.9. Schéma de fonctionnement découpe d'eau

2.7.4 La découpe Laser

Le laser tout comme l'oxycoupage est un procédé thermique de découpe. La source laser émet un faisceau lumineux qui est focalisé (concentré) dans un système optique (focale) selon le principe adopté dans un appareil photo. La puissance ainsi obtenue peut atteindre jusqu'à 10 000 kilowatts par centimètre carré.

La forte puissance thermique conduit à une fusion rapide puis à l'évaporation partielle ou totale du matériau. Un flux de gaz enveloppe le faisceau lumineux, expulse le matériau en fusion de la fente de coupe (saignée). La découpe au laser peut se diviser en deux sous procédés :

- La découpe par sublimation : le matériau s'évapore sous l'effet de la chaleur. Ce procédé s'emploie aussi bien pour les métaux que d'autres matériaux tels que le bois, la céramique ou les matières plastiques.
- La découpe par fusion : le matériau entre en fusion sous l'effet de la chaleur et il est expulsé à l'aide d'un jet de gaz. Ce procédé s'emploie pour les aciers inox ou les métaux non ferreux. Ce procédé permet des vitesses de coupes plus élevées qu'avec une découpe par sublimation.

La découpe laser présente de nombreux avantages, la vitesse de découpe élevée, la forte puissance limite à une zone affectée thermiquement, une faible déformation, une précision importante de l'ordre du 1/10 ème de mm.

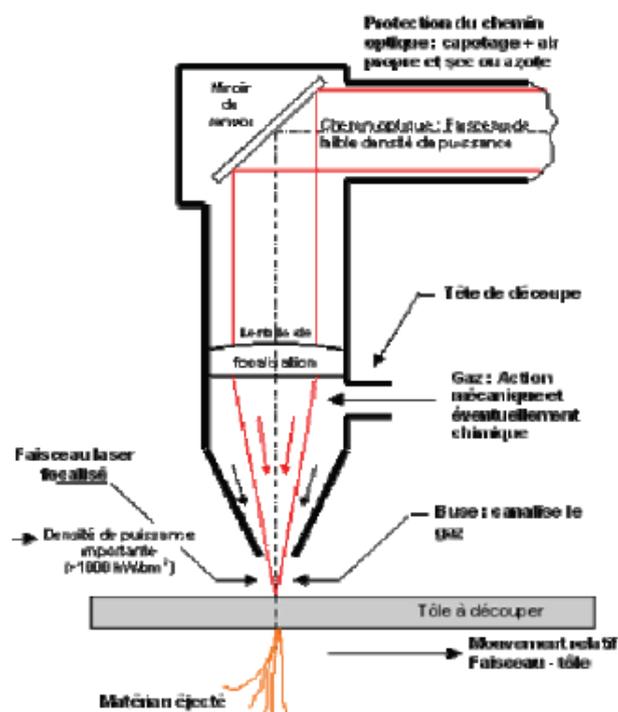


Fig.10. Schéma de principe

2.8. Le pliage

Le pliage est un procédé de mise en forme sans enlèvement de matière, permettant de fléchir des tôles par un poinçon dans une matrice. C'est un cintrage de très faible rayon obtenu par un effort de flexion localisé.



Fig.11. Presse plieuse

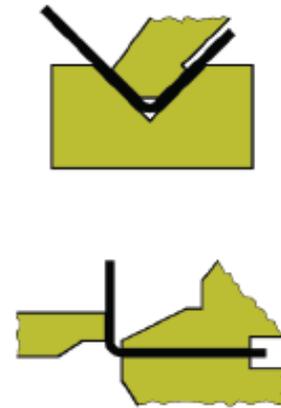


Fig.12. Schémas des actions mécaniques

2.9. Filage

Le filage (en anglais : extrusion) est un procédé de transformation à chaud des métaux et alliages. Son principe consiste à introduire un bloc de métal, porté à température de forgeabilité optimale, dans une enceinte fermée, et à le faire ressortir par un orifice de section plus petite que l'ouverture par laquelle il est entré, en exerçant sur lui une pression élevée.

Pour exécuter l'opération de filage, on utilise une enceinte de forme cylindrique en acier résistant aux contraintes élevées de déformation (pression et température), appelée conteneur. Ce conteneur est fermé à une extrémité par une filière dont l'orifice est usiné selon une section droite similaire à l'extérieur du produit que l'on désire fabriquer. La billette de forme cylindrique, chauffée à la température optimale de déformation, est introduite dans le conteneur puis poussée contre la filière par un piston appelé fouloir ou poinçon sur lequel on applique l'effort de la presse.

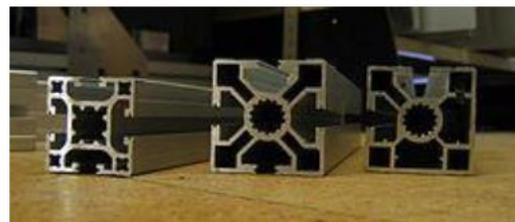
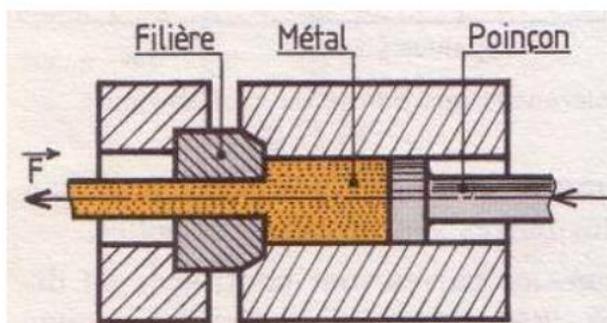


Figure : Schéma de filage d'un tube

Domaines d'application

- **Tubes en aciers inoxydables et en superalliages** (nickel, titane et zirconium).

- **Profils (pleins et creux) en alliages de titane, aciers alliés, inoxydables et superalliages**

Les diamètres extérieurs couramment réalisés par filage à chaud s'étendent de 25 à 300mm, les épaisseurs étant au moins égales à 3,5% du diamètre (limite inférieure en épaisseur : 3 mm). Les longueurs filées peuvent atteindre (ou, dans certains cas, dépasser) 30 m.

- **Profils (pleins et creux) en alliages de titane, aciers alliés, inoxydables et superalliages**

La figure présente quelques exemples de profils en acier obtenus par filage.

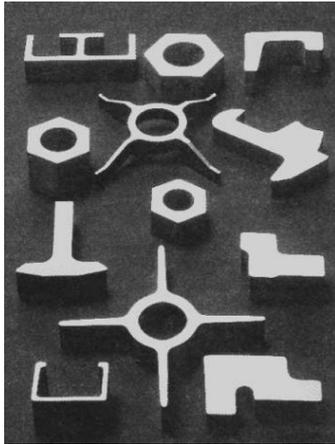
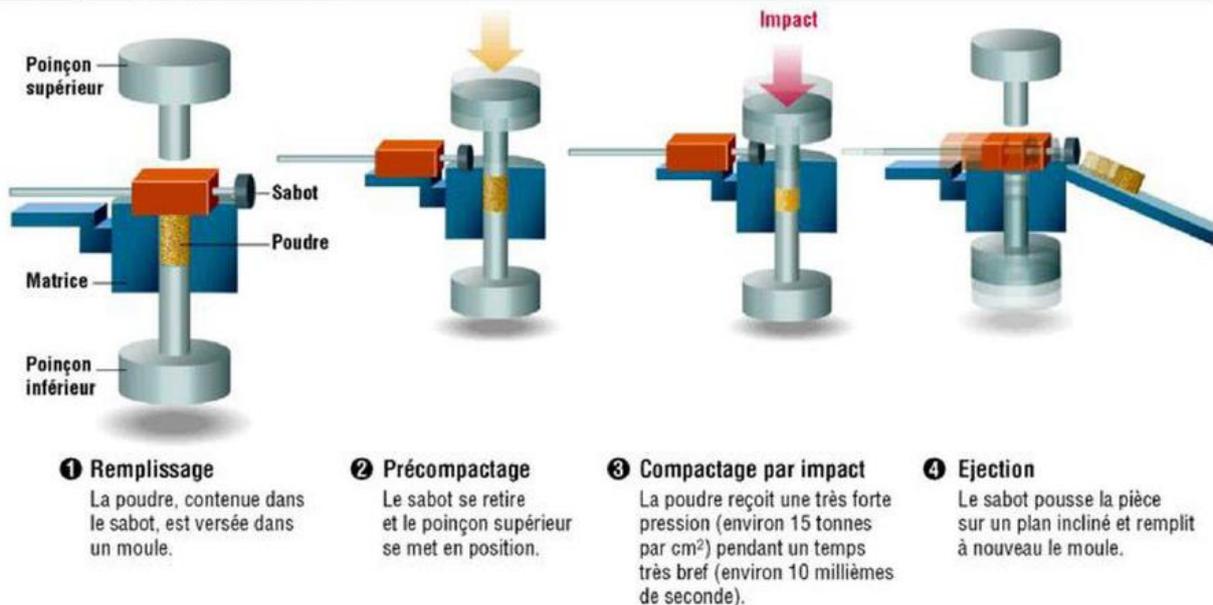


Figure 14 : Profils en acier brut de filage

2.10.Métallurgie des poudres

Ce procédé consiste en une compaction de métal en poudre suivie d'un traitement thermique visant une densification de la pièce. Ce procédé donne une pièce pratiquement sans pores dont les propriétés sont presque identiques à celles du matériau d'origine. L'acquisition de ces propriétés résulte essentiellement de processus de diffusion se déroulant pendant le traitement thermique. Ce procédé convient particulièrement aux métaux faiblement ductiles, puisque les particules de poudre ne requièrent qu'une faible déformation plastique. Il est aussi utilisé avec les métaux à haute température de fusion, qui sont difficiles à faire fondre et à mouler. Il permet de plus d'obtenir à bas prix des pièces de faible tolérance dimensionnelle (par exemple : les coussinets et les engrenages).

Le compactage à grande vitesse



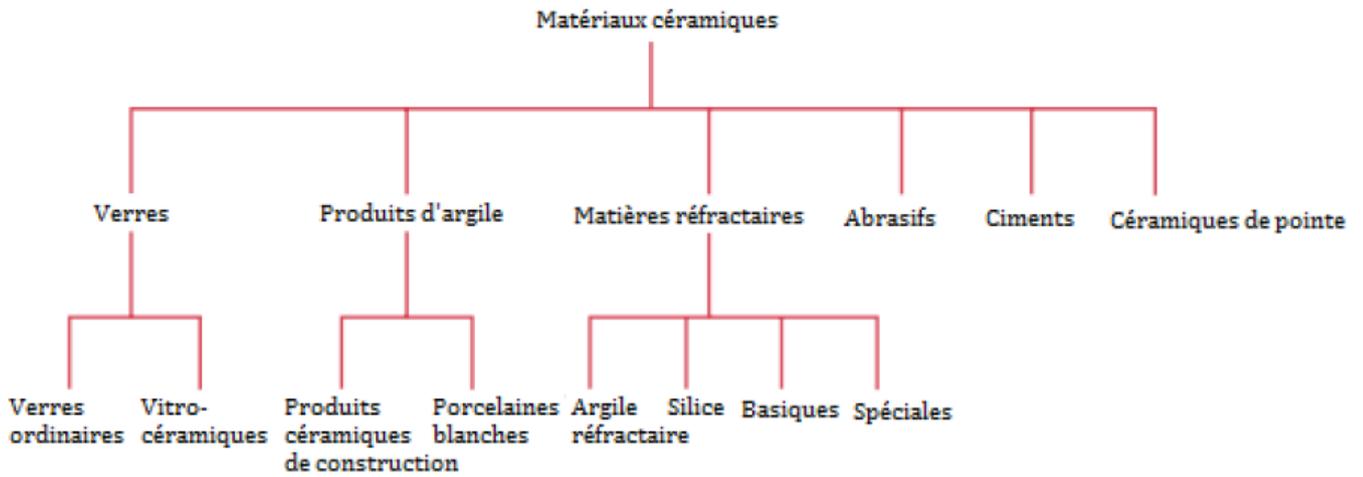
Procédé de compaction de métal en poudre



Pièces obtenues par la métallurgie de poudre

2.11. Procédés de Mise en Forme des Céramiques

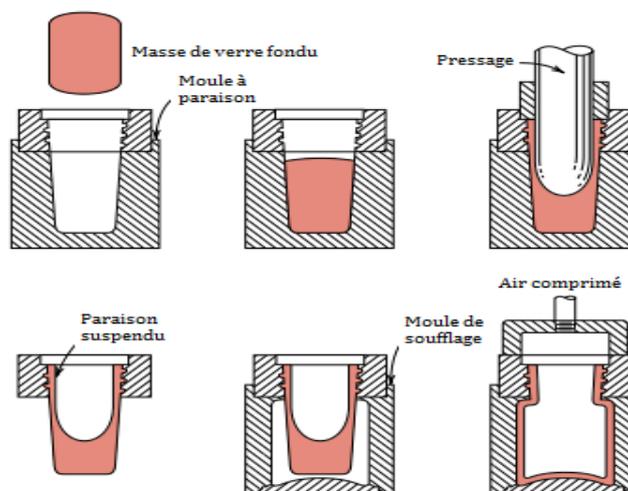
Certaines pièces céramiques sont constituées de poudres ou d'agrégats de particules ayant fait l'objet d'un séchage et d'une cuisson. Acquérant leur forme à haute température, les verres sont faits à partir d'une masse fluide qui devient très visqueuse au cours de son refroidissement. Les ciments prennent leur forme dans un moule où est disposées une pâte liquide, laquelle durcit et conserve sa consistance sous l'effet de réaction chimique.



2.12. Verres

2.12.1. Techniques d'élaboration

a. Le pressage sert à la fabrication d'objets épais tels que des assiettes et des plats. Il consiste à appliquer une pression sur le verre placé dans un moule en fonte recouvert de graphite et généralement chauffé afin que la surface soit bien unie.



b. Le fibrage : Pour la fabrication de fibres de verre continues (verre textile), le verre doit être placé en fusion dans une fière en platine chauffée, on lui donne la forme de fibres en l'étirant à travers les nombreux petits orifices de la filière.

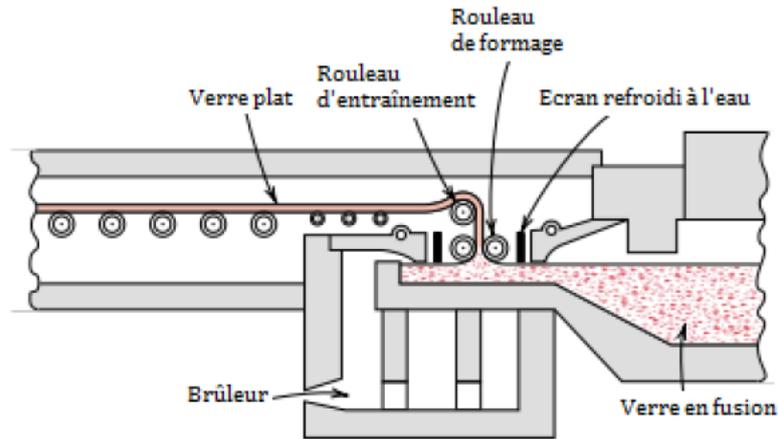
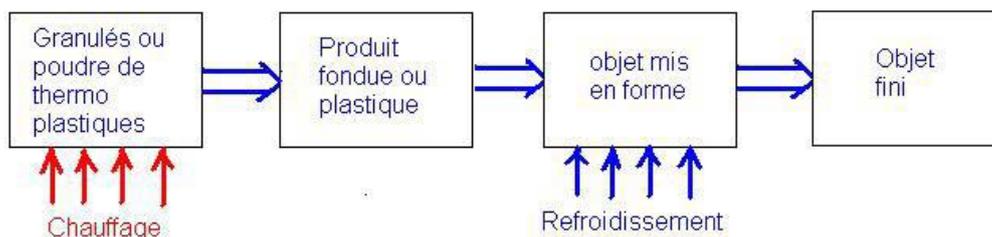
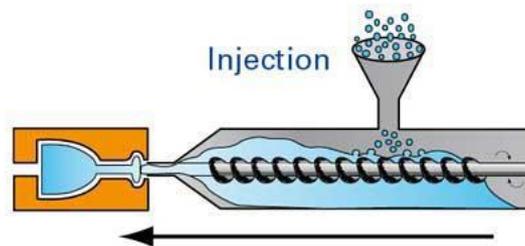


Schéma d'un des procédés utilisés pour l'étirage continu du verre plat

2.13. Procédés de Mise en Forme des Polymères

2.13.1. Fabrication de pièces en plastique par injection et moulage

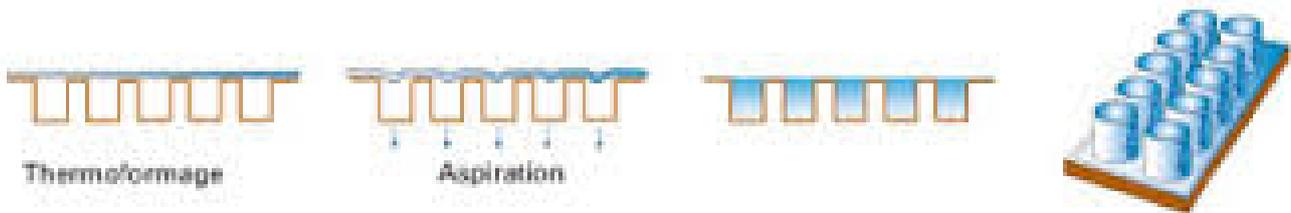
L'injection plastique est un procédé de mise en oeuvre des thermoplastiques. Il consiste à ramollir la matière plastique pour l'amener en phase plastique, à l'injecter dans un moule pour le mettre en forme et à la refroidir. L'injection plastique permet de produire un grand nombre de pièces à des coûts très bas et de façon automatisée.



2.13.2. Le thermoformage

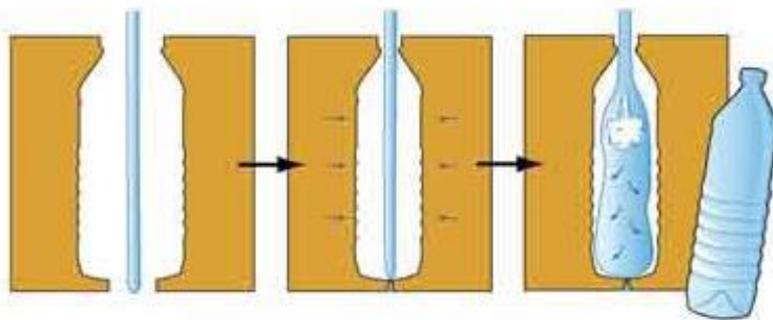
a. Par aspiration

le plastique arrive sous forme de plaques, on le chauffe pour le ramollir et on le pose sur un moule aux formes simples. Par aspiration, la matière se déforme pour épouser la forme du moule. Cette technique est donc utilisée pour produire des objets creux, comme les pots de yaourt et les boîtes à oeufs.



b.Par soufflage

A l'inverse, les bouteilles en plastiques sont fabriquées par gonflage : un tube chauffé est emprisonné dans un moule, puis gonflé à l'air comprimé jusqu'à sa forme finale. Les deux méthodes sont bon marché, et peuvent atteindre une précision assez bonne.



c.Par compression

La technique du moulage par compression s'applique à la fois aux thermoplastiques et aux polymères thermodurcissables. Le polymère est chauffé entre un poinçon et une matrice. La méthode est bien adaptée à la mise en forme des polymères thermodurcissables (les boîtiers de petits appareils, par exemple), et à celle des composites à matrice thermodurcissables (les pare-chocs d'autos, par exemple).

