

Cycle 3: Etude de la conception et de la réalisation des ensembles mécaniques

Chapitre 3 – Procédés d’obtention des pièces brutes



Trains de laminoirs



Découpe au jet d'eau



Forge libre



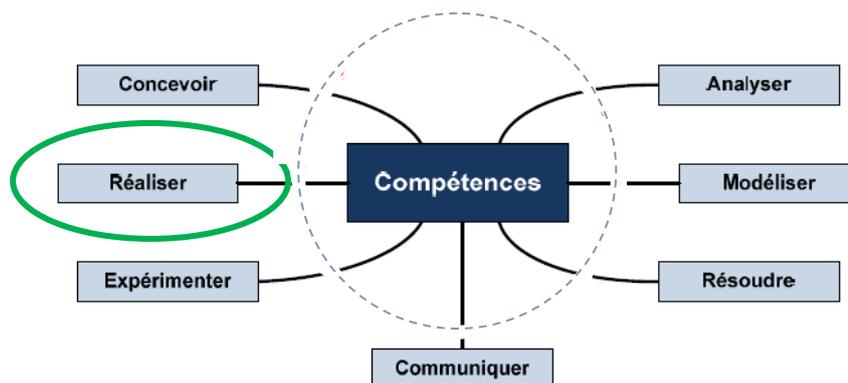
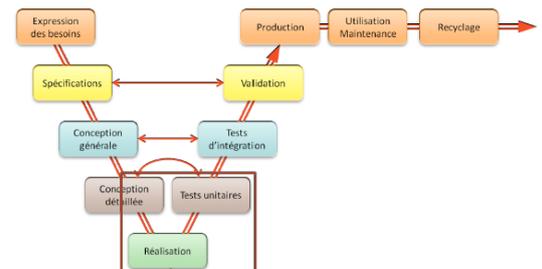
Grignottage

Problématique

- En phase d’avant conception d’un produit, quels sont les critères qui vont permettre de choisir les procédés à utiliser ? Quels sont leurs impacts sur les formes du produit ?

Compétences :

- Analyser :
 - A3-C12 : Matériaux
- Concevoir :
 - Conc1-C4.1 : Typologie (ou classification) des procédés et leurs caractéristiques
 - Conc1-C4.3 : Interactions fonction – matériau – procédé
 - Conc1-C4.4 : Méthode de choix des matériaux et des procédés
 - Conc1-C4.6 : Influence du procédé sur la géométrie des pièces
- Réaliser :
 - Réa-C1.1 : Procédés d’obtention des pièces brutes.
 - Réa-C2 : Mise en place d’un processus de fabrication



Sommaire

1. <u>Introduction</u>	3
2. <u>Mise en forme des matériaux à l'état solide ou pâteux</u>	4
2.1. Les technique	4
2.2. Le laminage	4
2.3. Forge libre	5
2.4. Estampage et matriçage	5
2.5. Extrusion et filage	6
2.6. Les engins de frappe	7
3. <u>Mise en forme des métaux en feuille</u>	8
3.1. Pliage	8
3.2. Découpage et poinçonnage	8
3.3. Emboutissage	9
3.4. Thermoformage	9
4. <u>Mise en forme des matériaux à l'état liquide – moulage en sable en moule non permanent</u>	10
5. <u>Mise en forme des matériaux à l'état liquide – moulage par injection plastique</u>	11
6. <u>Les procédés issus de la métallurgie des poudres : frittage</u>	13
7. <u>Découpe des métaux</u>	13
7.1. Découpe au jet d'eau	13
7.2. Découpe au laser	14
7.3. Oxycoupage	14
7.4. Découpe à l'électroérosion à fil	14
8. <u>Les procédés d'obtention des pièces par assemblage non démontable</u>	15
8.1. Soudage	15
8.2. Rivetage	15
8.3. Frettage	15
8.4. Collage	16
10. <u>Vers le choix d'un ensemble PMP (Produit/Matériau/Procédé)</u>	16



PMP : Procédés d'obtention des pièces brutes

1. Introduction

Une pièce mécanique est obtenue à partir de quatre grandes familles de procédés.

1- Les procédés de formage

Il s'agit de transformer un matériau, rigide, pour l'obliger à conserver une forme prédéfinie. Quand l'épaisseur ou la résistance du matériau le permet cela peut se faire à froid mais par élévation de température il est possible de limiter les efforts et contraintes mises en jeux.

2- Les procédés de moulage

Il s'agit de rendre le matériau utilisé liquide afin de lui donner une forme identique au moule dans lequel il refroidira. Le procédé implique dès le départ une réflexion sur la façon dont la pièce [ou le modèle] sera extraite du moule.

3- Les procédés d'assemblage

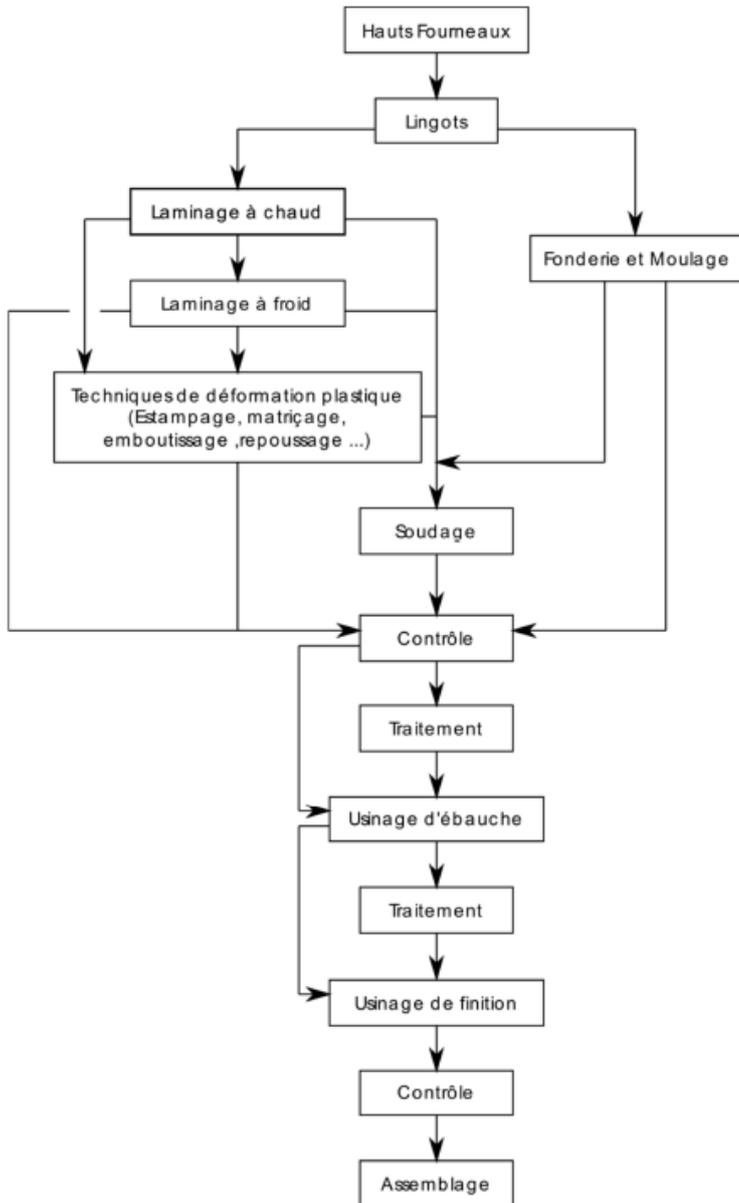
À partir d'éléments plus ou moins compliqués on fabrique une structure plus complexe. Ceci englobe les procédés de soudage par fusion, les collages.

4- Les procédés d'usinage

Il s'agit d'enlever de la matière. Par extension les découpes font partie de cette famille. L'outil va du carbure métallique ou jet d'eau en passant par le laser. L'usinage à l'outil coupant fera l'objet d'un cours ultérieur.

Remarque :

Une pièce mécanique est rarement réalisée à l'aide d'une seule technique : l'usinage par enlèvement de copeau permet souvent de terminer une pièce ébauchée par découpe, fonderie ou en formage. Pour la production de masse, l'usinage étant une opération complexe et onéreuse on essaie par tous les moyens de s'en dispenser.





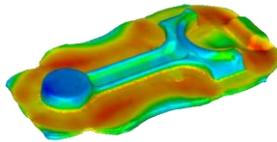
PMP : Procédés d'obtention des pièces brutes

2. Mise en forme des matériaux à l'état solide ou pâteux

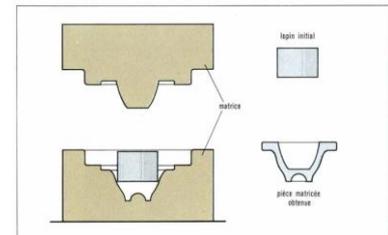
2.1. Les techniques

Les différentes **techniques de forge** se ramènent toutes à la compression d'un matériau entre des outillages au moyen d'un engin qui fournit l'énergie nécessaire à l'opération, ceci afin de lui donner une géométrie définie à l'avance. On distingue dans les techniques de forge quatre principaux procédés :

- **la forge libre**
- **l'estampage**
- **le matriçage**
- **l'extrusion**



Matriçage d'un demi-bollier à l'aide d'une matrice à gravure unique.



La distinction entre ces procédés se fait au niveau :

- du **matériau** mis en oeuvre : ferreux ou non ferreux
- des **pièces à réaliser** : poids, morphologie, complexité, précision
- de l'importance des **séries**
- des **outillages** et de leur complexité
- des engins employés : de **choc ou de pression**



Ces procédés consistent à **déformer plastiquement** (au-delà de R_e) le matériau jusqu'à obtention de la forme désirée.

Les déformations plastiques ont un gros avantage : elles **orientent le fibrage** et **augmente les caractéristiques mécaniques (R_e , R_m)**, mais rend plus difficile les reprises en usinage.

Les procédés de déformation plastique sont **plus rapides et plus productifs que le moulage**.

2.2. Le laminage

Le **laminage** est un procédé de fabrication par déformation plastique. Cette déformation est obtenue par **compression** continue au passage entre **deux cylindres tournant** dans des **sens opposés** appelés **laminoirs**.

Une tôle est une plaque rectangulaire. Sa longueur est de l'ordre d'une centaine de mètres, sa largeur du mètre et son épaisseur du millimètre.

Elle est conditionnée enroulée sur elle-même autour d'un fourreau.

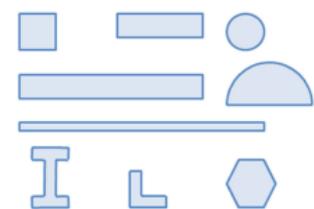
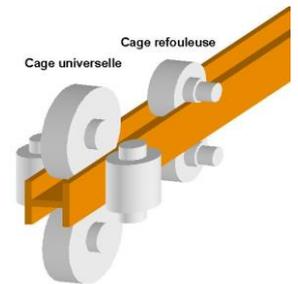
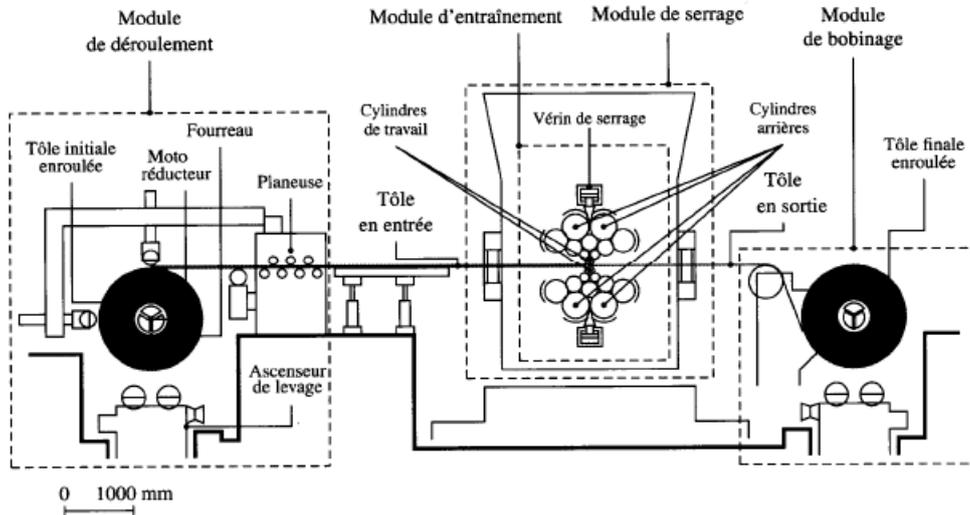


Figure 3 : profilés obtenus par laminage

PMP : Procédés d'obtention des pièces brutes

Un laminoir est une installation industrielle ayant pour but la **réduction d'épaisseur** d'un matériau (généralement du métal).



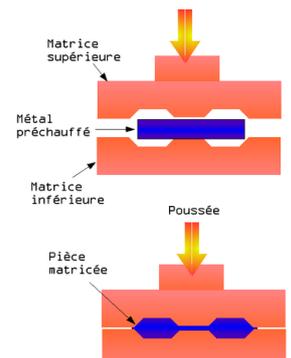
2.3. La forge libre

C'est une technique qui s'applique à **tous les matériaux** (acier, aluminium, cuivre). Elle doit son nom au fait que la matière de la pièce en cours de déformation peut se déplacer quasiment dans toutes les directions. Les pièces réalisées en forge libre sont **toujours simples**, voire simplistes. La **précision obtenue est de quelques millimètres** (5 mm). La forge libre s'emploie pour les **petites séries de moins de 50 pièces**. Elle est bien adaptée pour la réalisation de pièces prototypes et de dépannage. Les outillages sont simples et leur position est due pour une grande part à la dextérité du forgeron ce qui explique que la qualité dépend uniquement de la compétence de ce dernier.



2.4. L'estampage et le matriçage : forgeage

L'**estampage** est une opération de **forgeage en trois coups** (ébauche, finition et ébavurage). Cette opération consiste à former, après **chauffage**, des pièces brutes par **pression entre deux outillages nommés matrices**, que l'on vient fixer sur des presses (hydrauliques, mécaniques...).



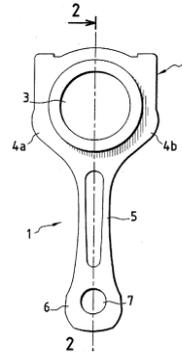
*Estampage = obtention de **alliages ferreux** (acier, fonte...)*

*Matriçage = obtention des **alliages non ferreux** (cuivre, aluminium...)*

PMP : Procédés d'obtention des pièces brutes

Conception des pièces forgées :

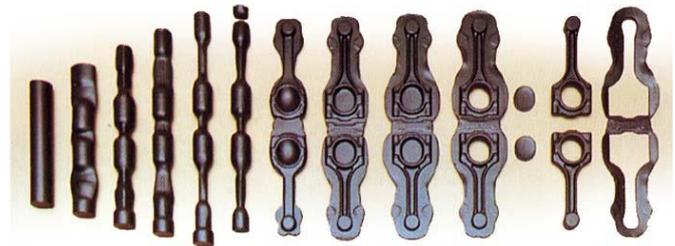
- toutes les formes sont forgeables
- qualité pièce dépend **qualité matrice et empreinte**
- apparition de **bavures**
- prévoir **congés**



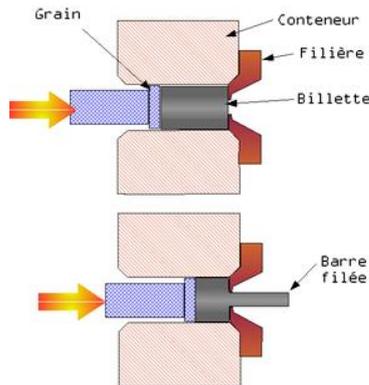
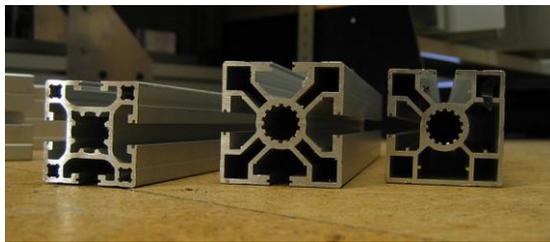
Dessin bielle brute forgée

Caractéristiques :

- réalisation de pièces de formes complexes de qq grammes à plusieurs centaines kg
- rentable pour série > 100 pièces

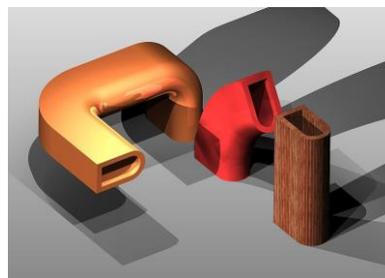


2.5. Extrusion et filage

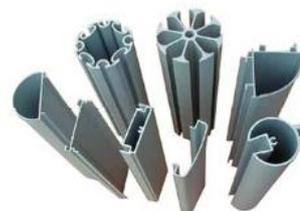


Le **filage** ou aussi appelé **extrusion** est une méthode de mise en forme des métaux par **forgeage**. Elle consiste à **pousser un matériau ductile** (éventuellement rendu ductile par chauffage) à travers une **filière**.

Cette méthode permet d'obtenir des **produits longs** qui peuvent être de formes simples (barres, tubes...) ou plus compliquées (**profilés** pour l'aéronautique ou le bâtiment). La poussée permettant la déformation est généralement fournie par des presses hydrauliques.



Elle intéresse les matériaux ferreux et non ferreux. Pour les aciers il faut que le pourcentage de carbone soit inférieur à 0,45 % sinon les efforts de déformation sont trop importants. Cette technique permet d'obtenir des pièces presque finies quasiment sans reprises en usinage. Les outillages sont complexes et pour des questions de rentabilité les cadences suivantes doivent être tenues : (pièce de 100 g -----> 50 000 pièces par mois) (pièce de 15 Kg -----> 10 000 pièces par mois)



2.6. Les engins de frappe

1- Les engins de choc



Les moutons :

Ce sont des machines qui utilisent la chute libre d'une masse guidée par des glissières.

La masse est remontée par un système mécanique (planche, courroie, chaîne,..). Ils sont employés en estampage, en forge libre et plus rarement en matriçage.

Peu performant mais peu cher !

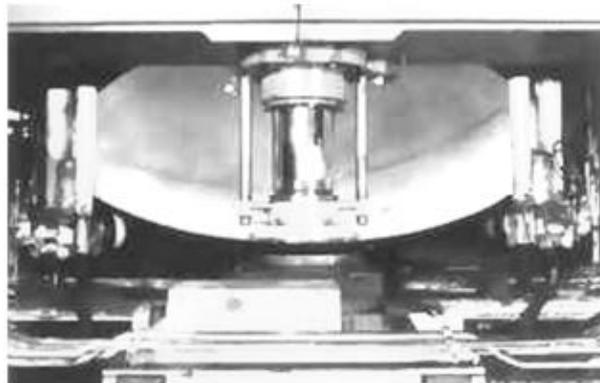


Les marteaux pilons. Ils utilisent une masse qui est propulsée par un fluide sous pression (air, vapeur). Il existe également des marteaux pilons à contre-frappe pour éviter la détérioration des fondations. Le domaine d'emploi des marteaux pilons est le même que celui des moutons.

2- Les engins de pression

Ce sont les presses, presses mécaniques ou presses hydrauliques.

- les presses mécaniques : elles sont à genouillère, à vilebrequin, ou à excentrique. Les vitesses de frappe sont trop élevées pour les matériaux non-ferreux. Les presses mécaniques ne sont pas utilisées en forge libre. On les trouve le plus souvent pour les grandes séries telles que celles de l'industrie automobile.
- les presses hydrauliques : elles ont l'avantage d'avoir une vitesse parfaitement contrôlable ce qui les destine à la forge libre des matériaux non-ferreux et aux opérations de matriçage. La plus grosse a en France une capacité de 67 000 000 daN.



3. Mise en forme des métaux en feuilles

La chaudronnerie est une branche industrielle qui couvre l'ensemble des activités de mise en œuvre des **métaux en feuilles, des tubes et des profilés**.

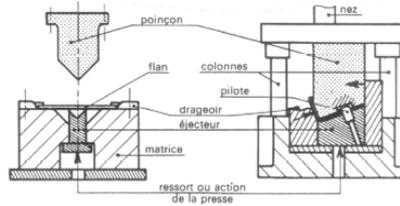
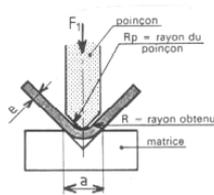
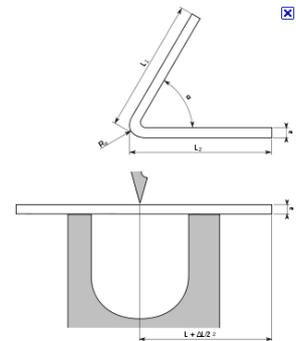
Les principaux procédés d'obtention des pièces finies sont :

- **Le pliage**
- **Le découpage**
- **Le poinçonnage**

3.1. Le pliage

Le **pliage** est une technique qui consiste à déformer la matière selon un pli (rectiligne).

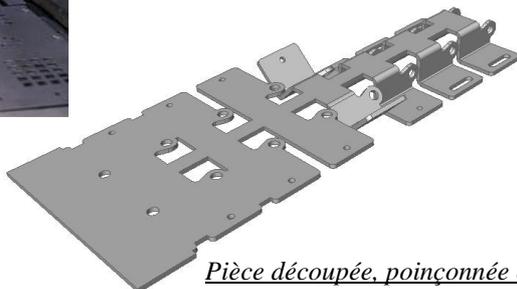
La machine utilisée (**presse plieuse**) est dotée d'une **matrice en vé** et d'un **poignon**.



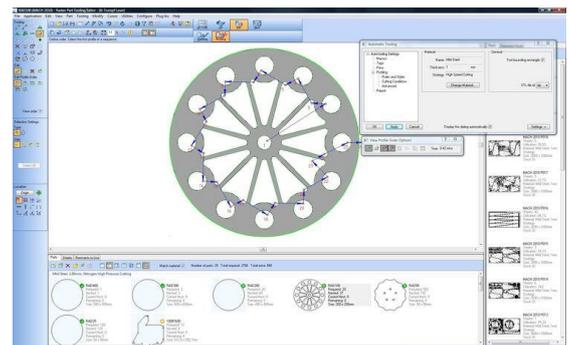
3.2. Le découpage, poinçonnage

Le découpage est un procédé de fabrication de pièces. C'est une sorte de cisailage sur un contour fermé. Une différence est faite sur les termes :

- découpage, afin d'obtenir un pourtour défini selon une forme et des cotes précises ;
- **poinçonnage**, afin **d'ajouter une pièce** (exemple : une perforation).



Pièce découpée, poinçonnée et pliée

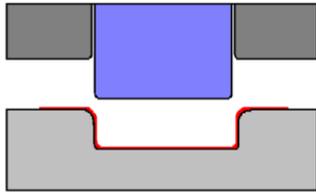


Etude CAO pièce poinçonnée

Machines utilisées : presse à découper, poinçonneuse
Epaisseur des tôles : jusqu'à plusieurs centimètres selon matériau

PMP : Procédés d'obtention des pièces brutes

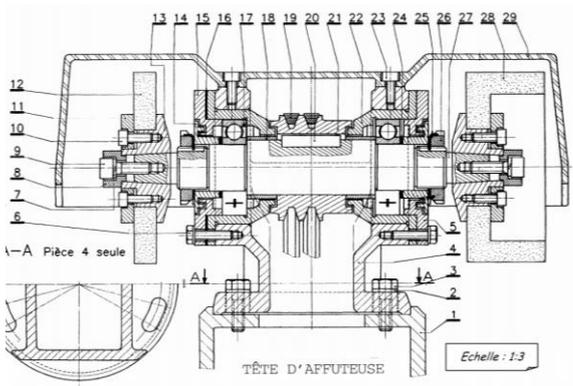
3.4. L'emboutissage



L'**emboutissage** est une technique de fabrication permettant d'obtenir, à partir **d'une feuille de tôle plane et mince**, un objet dont la forme n'est pas développable. L'ébauche en tôle est appelée « **flan** », c'est la matière brute qui n'a pas encore été emboutie. La température de déformation se situe entre le tiers et la moitié de la température de fusion du matériau.

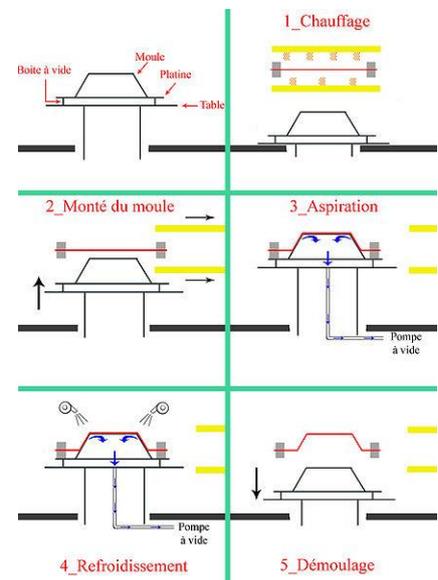
L'emboutissage est un procédé de fabrication **très utilisé dans l'industrie automobile, dans l'électroménager**, etc.

Caractéristiques : tôles et pièces de faibles épaisseurs



3.5. Thermoformage

Le **thermoformage** est une technique qui consiste à prendre un matériau sous forme de plaque (verre, plastique...), à le **chauffer pour le ramollir**, et à profiter de cette ductilité pour le **mettre en forme avec un moule**. Le matériau redurcit lorsqu'il refroidit, gardant cette forme.



PMP : Procédés d'obtention des pièces brutes

4. Mise en forme des matériaux à l'état liquide – moulage au sable en moule non permanent

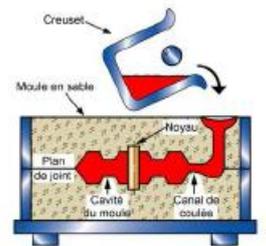
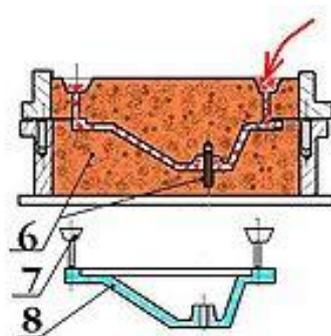
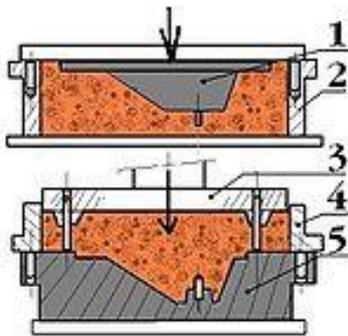
Remarque :

Dans ce procédé on détruit le moule donc aucun problème pour récupérer la pièce MAIS il faut sortir le modèle de l'empreinte en sable : il y a donc un problème de démoulage.

C'est la famille des procédés qui consiste à rendre liquide un matériau pour qu'il épouse la forme d'un moule. C'est le domaine de la **FONDERIE** (moulage).

Une pièce moulée est obtenue en introduisant un **alliage liquide** dans une **empreinte** réalisée dans un **moule**, et qui est la réplique en creux de la pièce à obtenir.

Après solidification, la pièce est **extraite** du moule et débarrassée des résidus.



Les phases du moulage sont : préparation de l'empreinte inférieure avec un modèle, puis la supérieure (avec noyaux), assemblage des 2 chassis et coulée.

La pénétration de l'alliage liquide dans le moule peut se faire par : **gravité, injection** sous pression, sous vide....

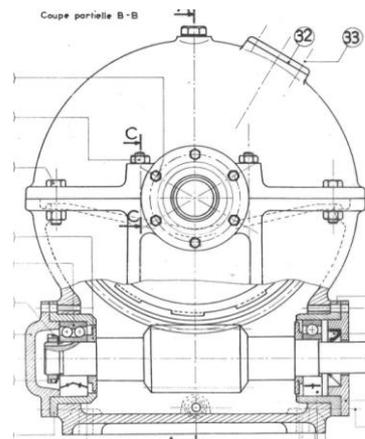
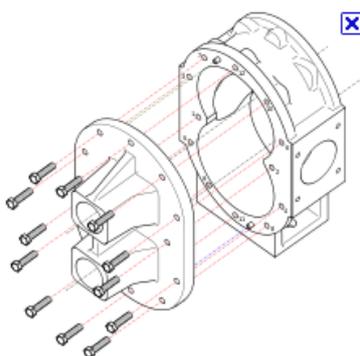
Avantages des pièces moulées :

On peut mouler des pièces de quelques grammes à plusieurs tonnes (hélice d'un paquebot de $\phi 26m$ et 25T moulée en cupro-aluminium). Presque tous les matériaux sont moulables (les plus courants : **fontes, alliages légers**). Les pièces obtenues ont presque leurs formes définitives, seules les surépaisseurs d'usinages seront enlevées sur des machines outils).

On réalise donc souvent les **BATIS et CARTERS** en fonderie.

Conception des pièces de fonderie : épaisseurs constantes, dépouilles, plan de joint, congés, nervures ...

On verra ces détails au chapitre suivant les règles de tracés de pièces moulées.



5. Mise en forme des matériaux à l'état liquide – moulage par injection plastique

Le moulage par injection, aussi appelé **injection plastique**, est un procédé de **matières thermoplastiques**.

La plupart des pièces thermoplastiques sont fabriquées avec des **presses d'injection** plastique : la matière plastique est **ramollie puis injectée dans un moule, et ensuite refroidie**.

Les paramètres principaux à régler sont :

- le dosage
- température du fourreau
- température de la matière
- température du moule injection
- vitesse d'injection
- vitesse d'éjection
- pressions durant l'injection



Exemples de pièces

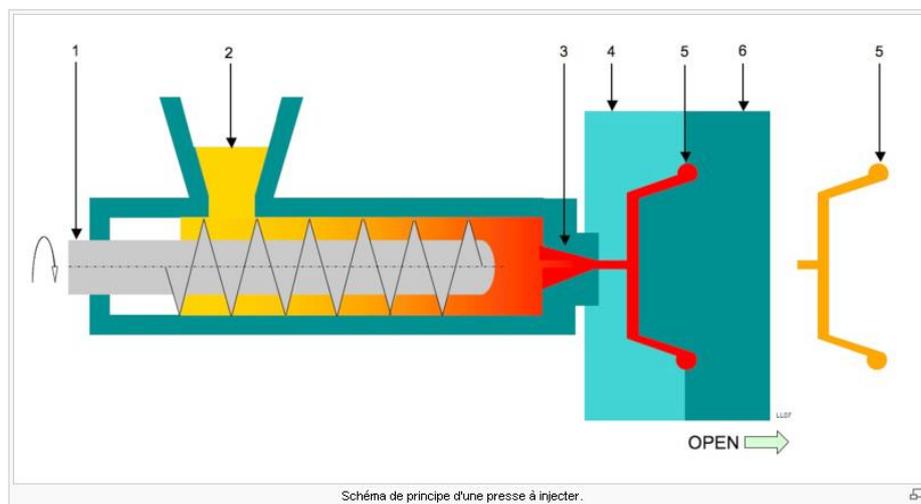
Presse à injecter

Caractéristiques :

- réalisation de pièces de formes complexes de qq grammes à 50 kg
- outillage très précis donc coûteux
- rentable pour la grande série > 10000 pièces
- grande cadence de fabrication

La principe de l'injection :

Une vis tourne pour faire fondre et homogénéiser les granulés de plastique qui viennent de la trémie. La vis avance et vient comprimer la matière dans le moule (empreinte). La pièce est refroidit puis éjectée par un système spécifique.



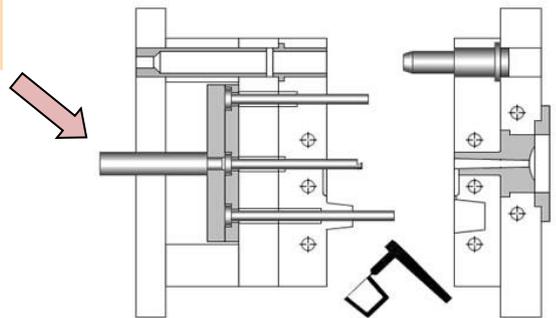
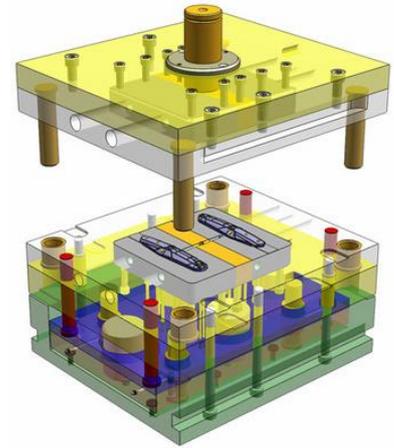
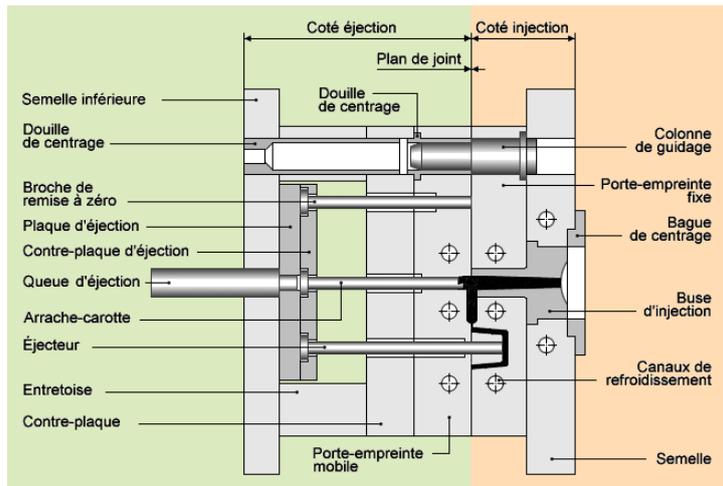
Légende :

1. Vis de plastification contrôlée par la presse
2. Trémie d'alimentation
3. Buse d'injection
4. Partie fixe du moule
5. Empreinte/pièce
6. Partie mobile du moule

PMP : Procédés d’obtention des pièces brutes

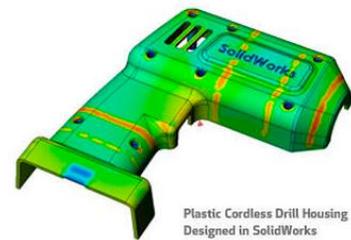
Le moule : la conception du moule influence de manière décisive la qualité et l’économie de la pièce injectée. L’aspect de la pièce, sa résistance mécanique, sa tenacité... dépendront de la qualité du moule.

Exemple:



Conception des pièces injectées :

- **Retrait** : la pièce obtenue est plus petite que l’empreinte du moule
- **Dépouilles** : permet le démoulage de la pièce par les éjecteurs
- **Variations d’épaisseurs à éviter**
- **Nervures** évitent les parois trop épaisses
- Mise en place de **congés**



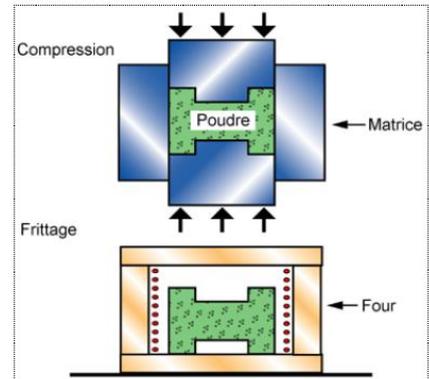
Plastic Cordless Drill Housing
Designed in SolidWorks

6. Les procédés issus de la métallurgie des poudres : frittage

Les méthodes de mise en œuvre de poudres sont particulièrement intéressantes pour le **formage de matériaux difficiles, des céramiques et des métaux réfractaires qui sont trop fragiles pour se déformer** et ont des **températures de fusion élevées**.

Dans le frittage de poudre, on presse la poudre en vrac dans un moule de forme en acier, graphite ou céramique dans lequel elle est frittée à $t^\circ = 2/3$ de la température de fusion.

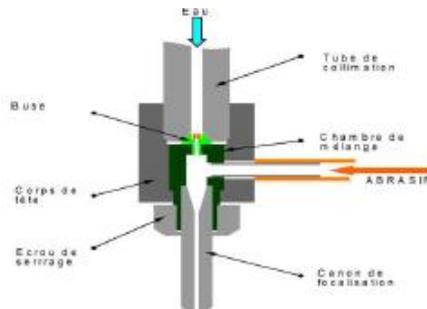
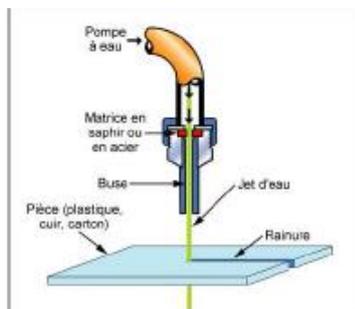
Exemple : plaquette de frein en Ferodo (résine, fer, amiante)



7. Découpe des métaux

7.1. La découpe au jet d'eau

À l'aide d'une buse on projette un fin jet d'eau à très haute pression. La sortie de la buse se fait alors autour de la vitesse de 900m/s. L'eau peut être chargée avec des abrasifs.



Ce procédé permet la découpe de matériaux épais (>100 mm) et de **composites**. Il n'y a **pas de chaleur et d'échauffement, pas de gaz et de vapeurs toxiques, pas ou peu de déformations** et pas de limites dans la forme des découpes. Par contre on ne peut découper des corps creux dans de bonnes conditions, la précision est moyenne, délaminage possible, humidité ambiante, usure des buses.

Le pilotage de la buse peut être manuel ou à commande numérique.

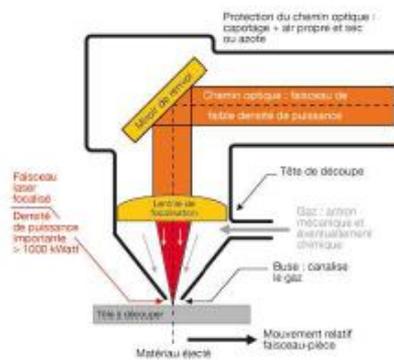
PMP : Procédés d'obtention des pièces brutes

7.2. La découpe laser

On utilise dans ce cas l'énergie thermique d'un faisceau laser. Ce procédé permet une grande vitesse d'avance et un travail précis, la largeur de saignée est réduite, il n'y a pas d'usure et peu de limites dans les formes découpées, il y a peu de déformations.

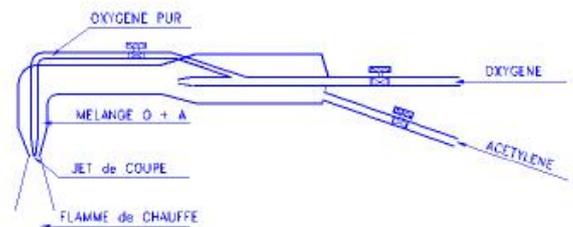
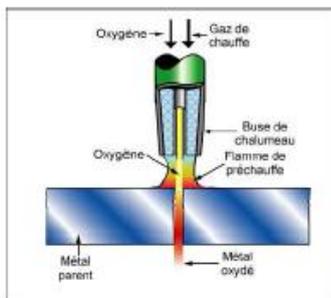
Certains métaux réfléchissants ne peuvent être découpés (Cu, Au, ...). On ne peut couper les corps creux et multicouches. Il y a émission de gaz toxiques et la matière peut être thermiquement affectée.

Le procédé reste cher par son installation. Le pilotage peut être manuel ou à commande numérique.



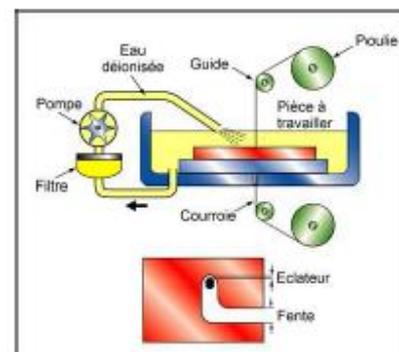
7.3. L'oxycoupage

Utilisation de l'action d'un jet d'oxygène sur de l'acier chauffé. Permet des découpes simples sur des tôles en acier pouvant aller jusqu'à de très fortes épaisseurs.



7.4. L'électroérosion au fil

On utilise la micro fusion de la matière due à l'arc électrique se produisant entre le fil et la matière. On peut réaliser des découpes très épaisses (>400 mm), avec des dépouilles (30°), avec une grande précision (5 µm). La découpe de nids d'abeille est possible. Par contre le procédé est lent, les courses limitées et le matériau doit être conducteur.



PMP : Procédés d'obtention des pièces brutes

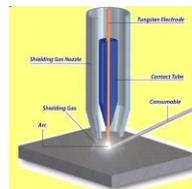
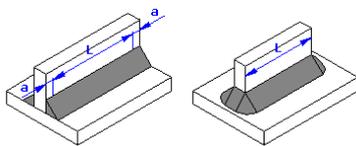
8. Les procédés d'obtention des pièces par assemblage non démontable

On entend par assemblage **indémontable**, une liaison que l'on ne peut pas démonter **sans détériorer des surfaces fonctionnelles au montage ou démontage**. La liaison indémontable est couramment répandue en aéronautique, navale, construction automobile, bref partout où l'on a besoin de réaliser **des assemblages durables**.

Voici pour information les principales liaisons complètes indémontables :

8.1. Le soudage

Souder, c'est réunir deux ou plusieurs parties constitutives d'un assemblage en assurant la continuité de la matière entre les parties à assembler. On vient assembler les éléments à l'aide d'un **métal d'apport** en fusion.

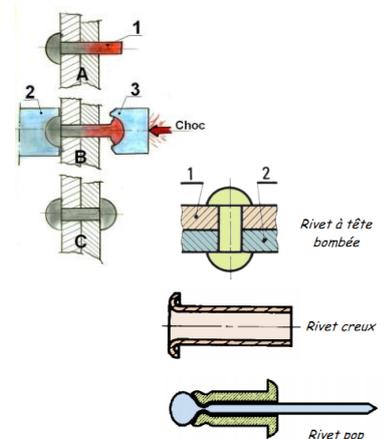


Il existe beaucoup de procédés de soudage : *brasage, soudage oxyacétylénique (chalumeau), TIG (Tungstène Inert gaz), MAG (Metal Active Gaz), électrode enrobée, laser...*

8.2. Le rivetage

Le rivetage est un assemblage de pièces à l'aide de **rivets**. C'est un assemblage **définitif**. Il permet un assemblage **très résistant et de faible encombrement**. On le trouve pour l'assemblage de chaudières, la construction en charpente métallique (bâtiments, ponts, ouvrages d'art,..), montage de grilles, portiques, rails. Les structures d'avion sont encore aujourd'hui quasiment toutes rivetées.

Ex : La tour Eiffel a été assemblée par 2 millions de rivets.

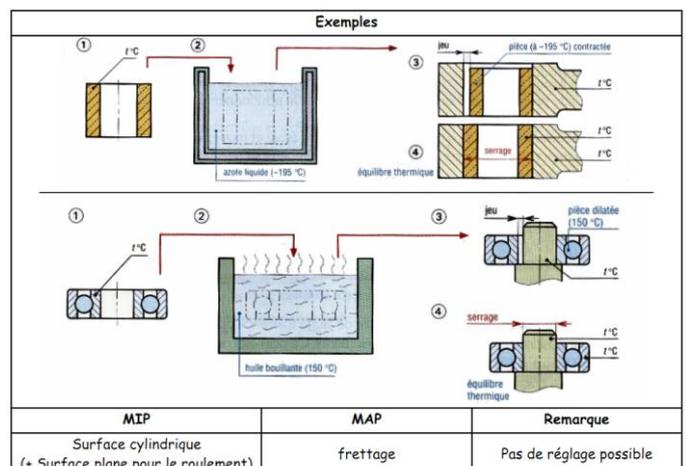


8.3. Le frettage

Le frettage est l'assemblage de deux pièces grâce à un **ajustement serré** (p6 mini) sans complément de clavette ou goupille. La pièce extérieure est appelée « frette », la pièce intérieure est dite « frettée ».

L'assemblage est réalisé avec des tolérances d'usinage serrées. La solution la plus simple, quand elle est possible sans détérioration du matériau, est de **chauffer la frette pour la dilater avant de l'enfiler sur l'élément qu'il faut fretter**. On peut à l'inverse refroidir l'élément intérieur à l'azote liquide ou à la glace carbonique pour le contracter et l'engager dans la frette, mais ces solutions sont plus onéreuses.

La **pression du contact** allié au **coefficient de frottement** entre les 2 pièces crée des efforts tangentiels **pouvant transmettre des couples importants**.



PMP : Procédés d'obtention des pièces brutes

8.4. Le collage

Le collage offre de **nombreux avantages** par rapport aux techniques d'assemblages précédentes et est désormais utilisé dans tous les secteurs de l'industrie. Le collage est parfaitement adapté à l'assemblage de **matériaux différents, minces ou fragiles**. Il faut pour réussir un bon assemblage collé, respecter de **bons états de surface** (préparation chimique), bien tenir compte des **coefficients de dilatation** des matériaux, et **choisir la colle adaptée**.



Exemple	MIP	MAP	Remarque
<p>Collé par bloc presse 601 Collé par scelroulement 641</p>	<p>Surface cylindrique (+ surface plane pour la roue dentée)</p>	<p>colle</p>	<p>Pas de réglage possible</p>

11. Vers le choix d'un ensemble PMP (Produit/Matériau/Procédé)

Voir cours précédent sur les matériaux....

