

PROCÉDÉS D'ÉLABORATION DES PIÈCES MÉCANIQUES

Année universitaire : 2016-2017

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

Objectif du cours :

Comprendre les principaux procédés et méthodes de la mise en forme :

Fonderie



Usinage



Soudage



Forgeage

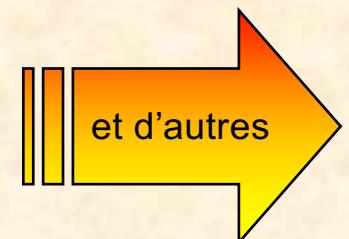


Opération de forgeage
sur presse de 4500 tonnes
(document AUBERT & DUVAL)

Laminage



Cintrage



et d'autres

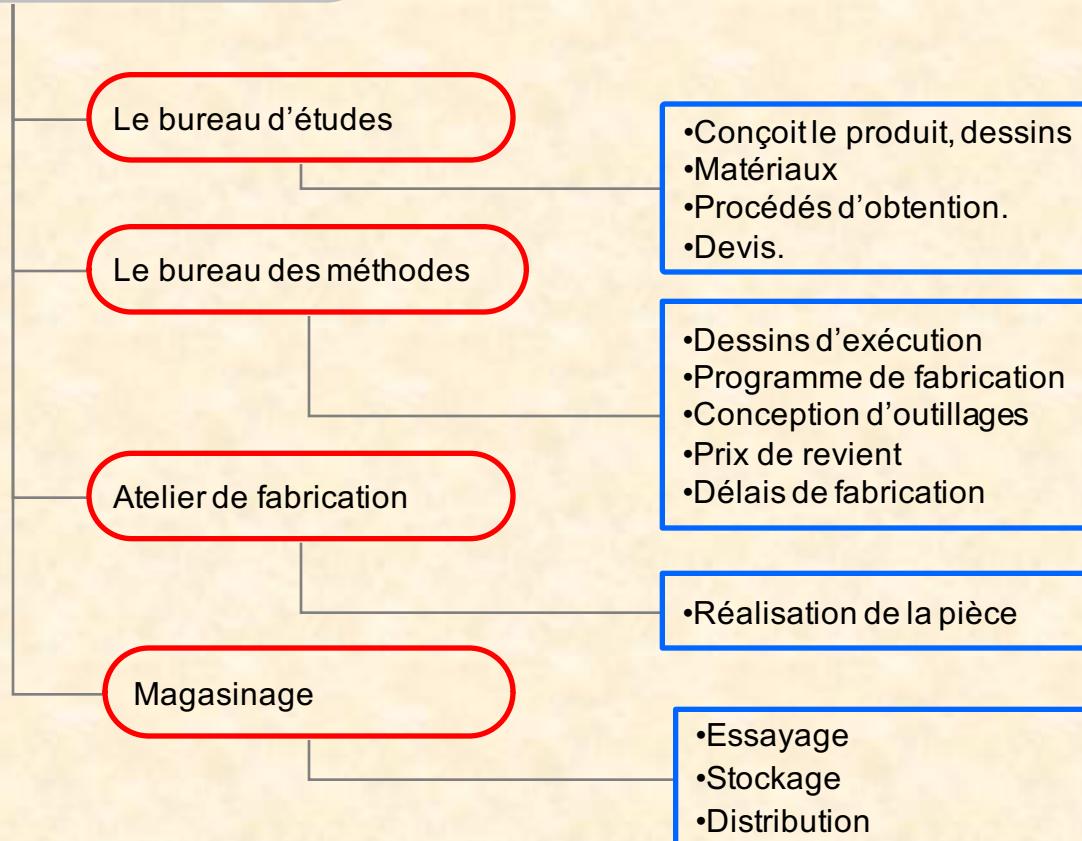
Objectif industriel :

« On ne peut *concevoir* un élément de machine qu'en ayant simultanément, en tête le *matériaux*, dans lequel il va être constituer et son *mode d'élaboration* ». Professeur E. Filippi, FPMs



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

Elaboration d'une pièce mécanique



Contenu du cours

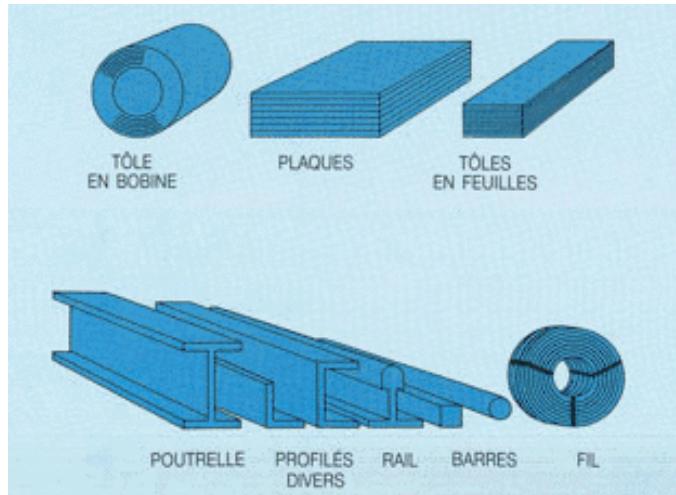
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Sidérurgie :

- Les techniques d'obtention de la fonte de fer et de l'acier à partir de minerai,
- L'industrie qui les met en œuvre.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Elaboration de la fonte :

Fonte :

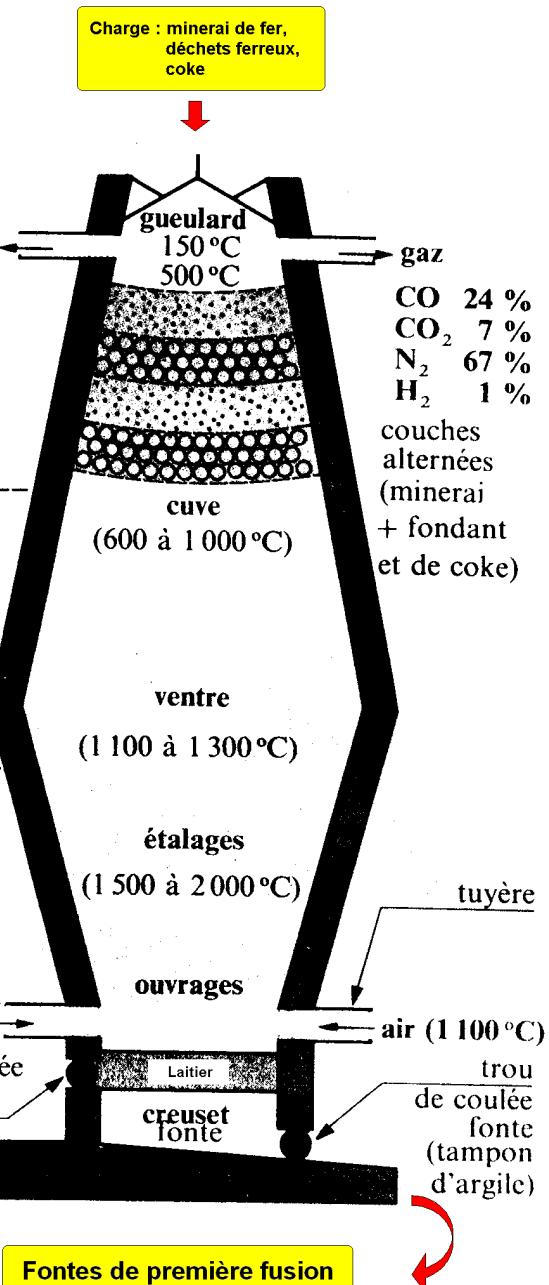
- Alliage de fer riche en carbone de 1,7 à 6,67 %
- Température de fusion allant de 1135 °C à 1350 °C en fonction du pourcentage de carbone qu'elle contient.
- L'élaboration de la fonte se fait dans un grand four appelé haut fourneau.

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Elaboration de la fonte :

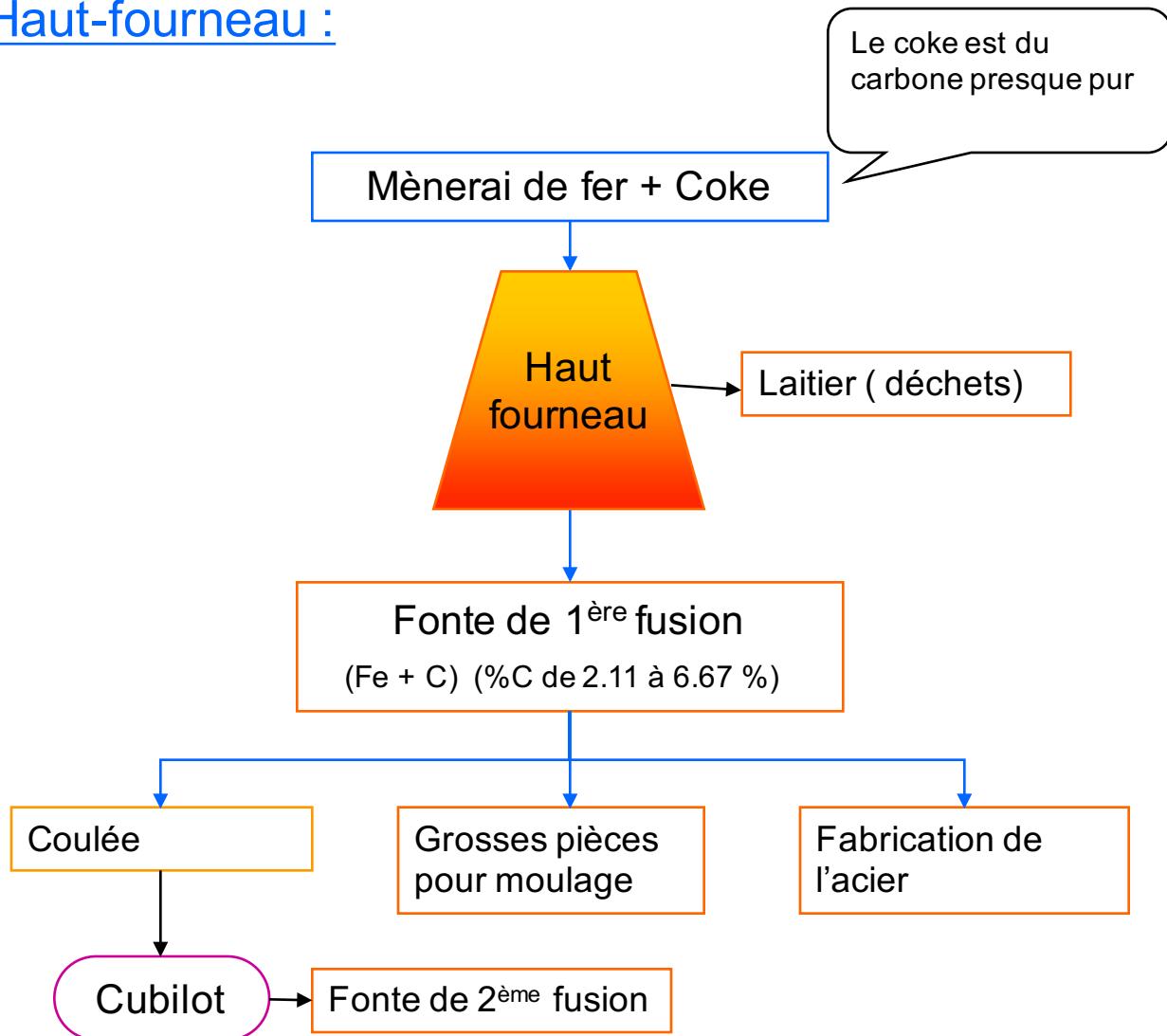
Haut-fourneau :



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Elaboration de la fonte :

Haut-fourneau :



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Elaboration de l'acier :

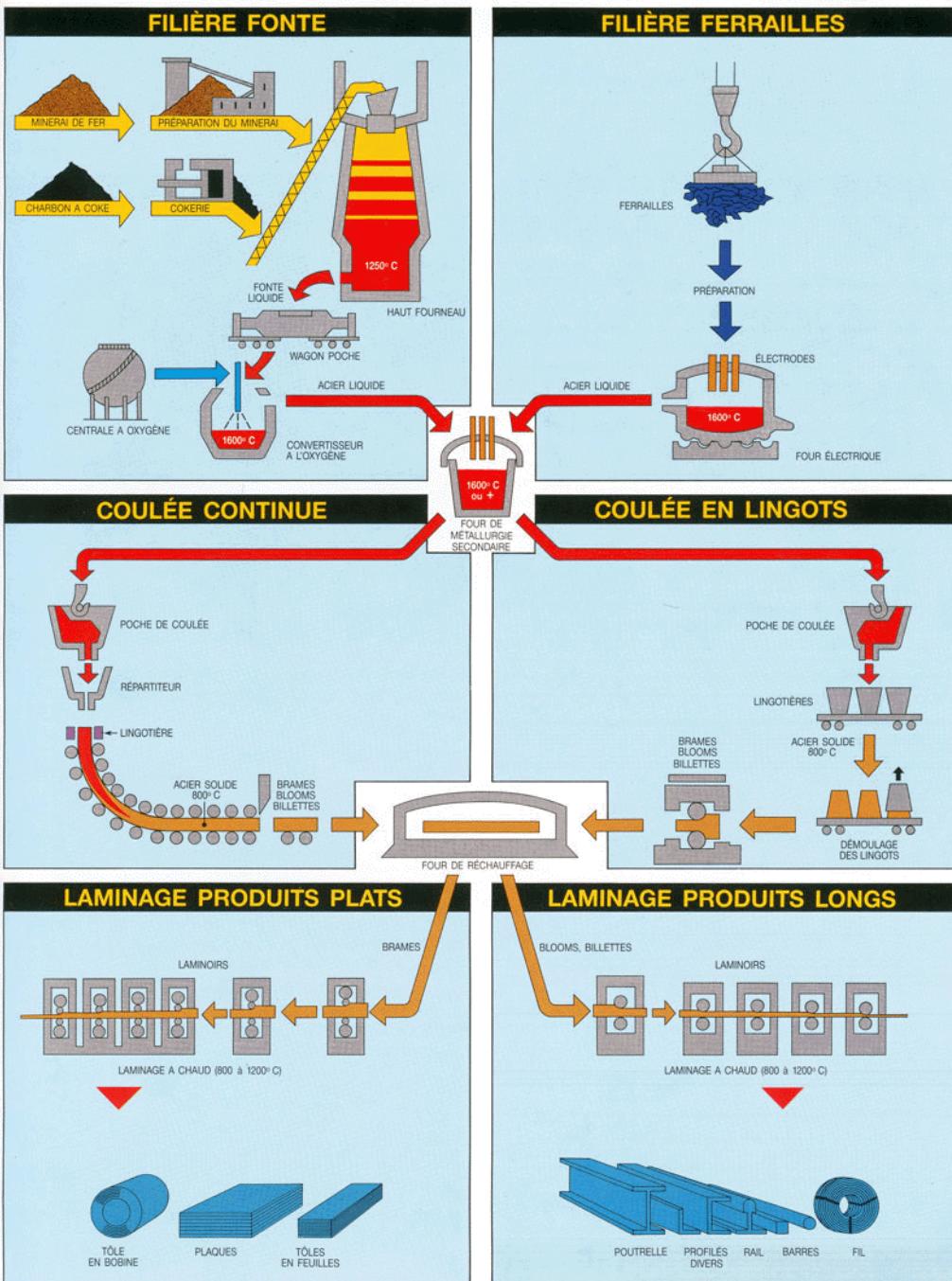
Acier :

- L'acier, c'est du fer additionné de carbone (entre 0,03% et 2%)
- Moins il y a de carbone, plus l'acier est plastique et malléable; plus il y en a, plus l'acier est dur et résistant ;
- Les éléments ajoutés qui permettent d'obtenir des nuances variées

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Elaboration de l'acier :



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Elaboration de l'acier :

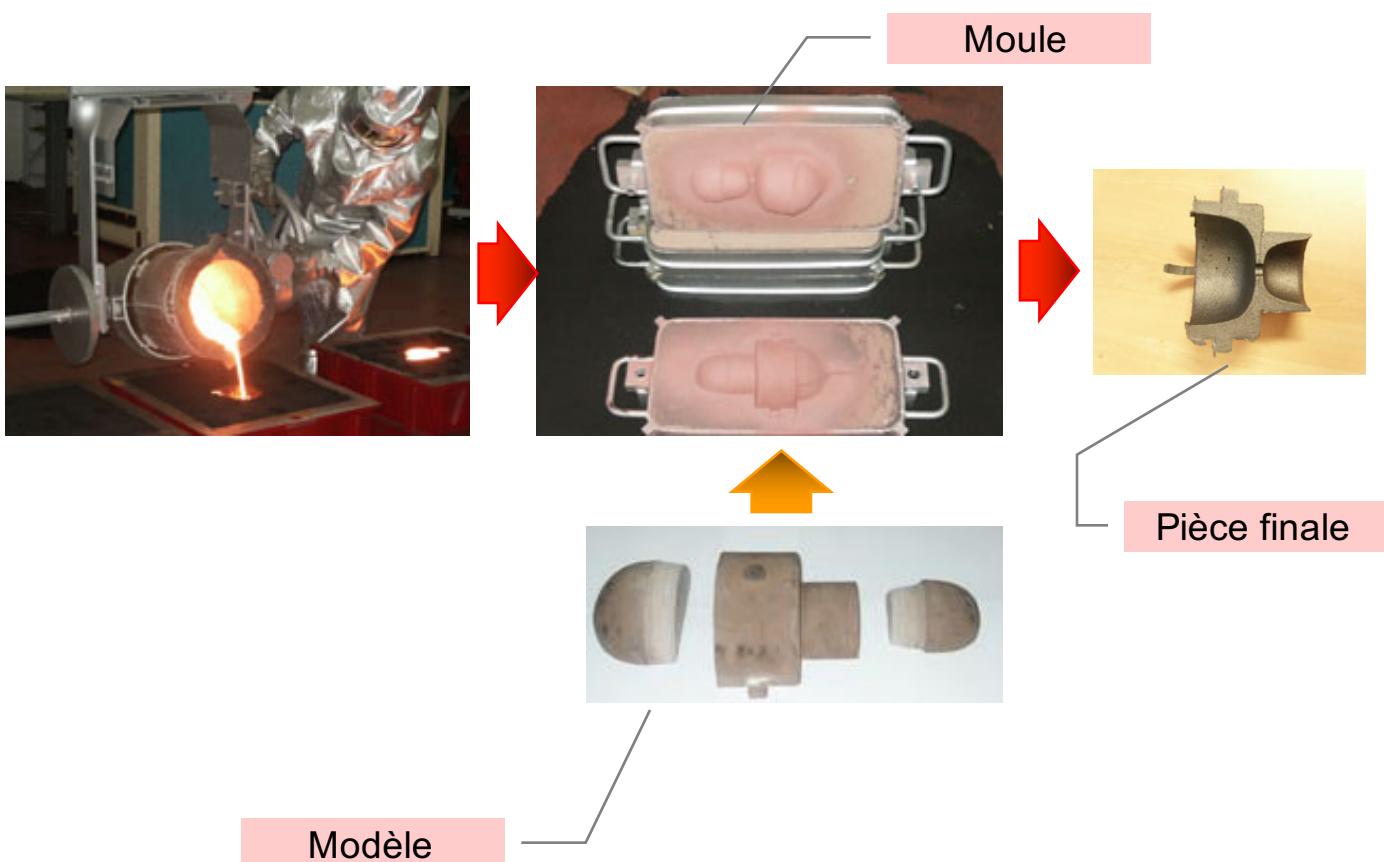
RECAPITULANT

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

La fonderie : Définition

La fonderie est un procédé de fabrication qui permet de réaliser des pièces par coulée du métal en fusion dans un moule.



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Avantages :

- Fabrication de pièces de formes compliquées qu'il serait difficile ou impossible de réaliser par tout autre procédé,
- Production à des prix de revient plus intéressants de pièces plus simples,
- Couler des alliages difficilement usinables.

Quelques chiffres:

- sur une automobile : 15 % ;
- sur un tracteur agricole : 50 % ;
- sur machines-outils, pour un tour parallèle par exemple : 75 %.



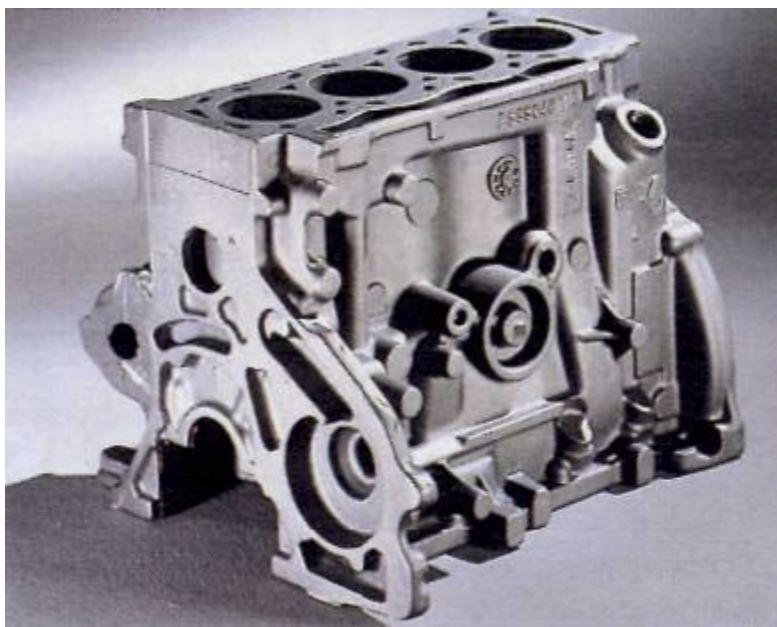
Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Exemple de pièces obtenues par fonderie :



Collecteur d'échappement en fonte GS brute de coulée (doc. SBFM)



Carter de cylindre en fonte grise
(doc. Fonderie du Poitou)

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Exemple de pièces obtenues par fonderie :



**Pince à couper et à dénuder en Zamac.
Fonderie sous pression (doc. PRAM)**

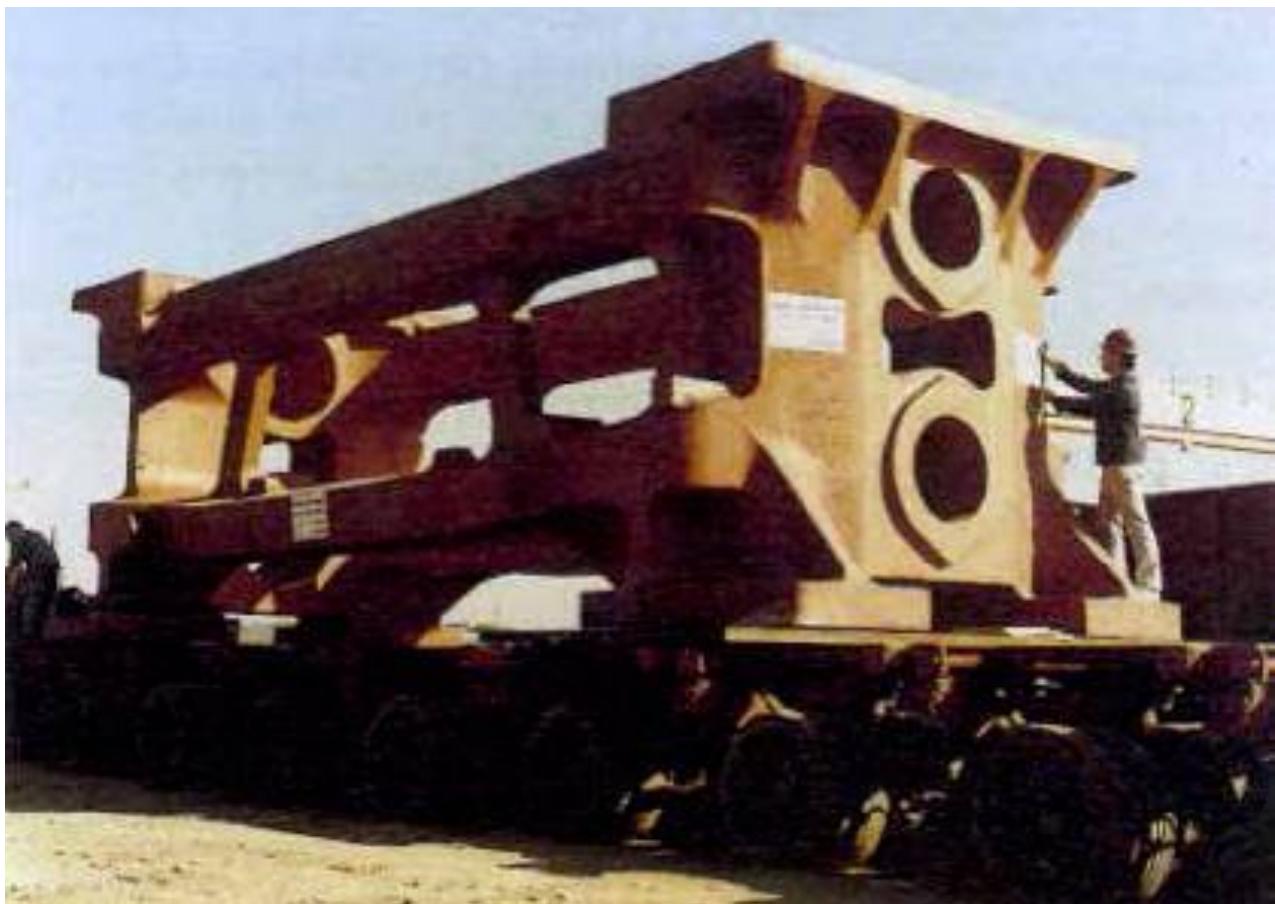


**Porte-fusée en fonte GS
brute de coulée (doc.
SBFM)**

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Exemple de pièces obtenues par fonderie :



Cage verticale de laminoir de 220 t en acier coulé (doc. Creusot-Loire Industrie)

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

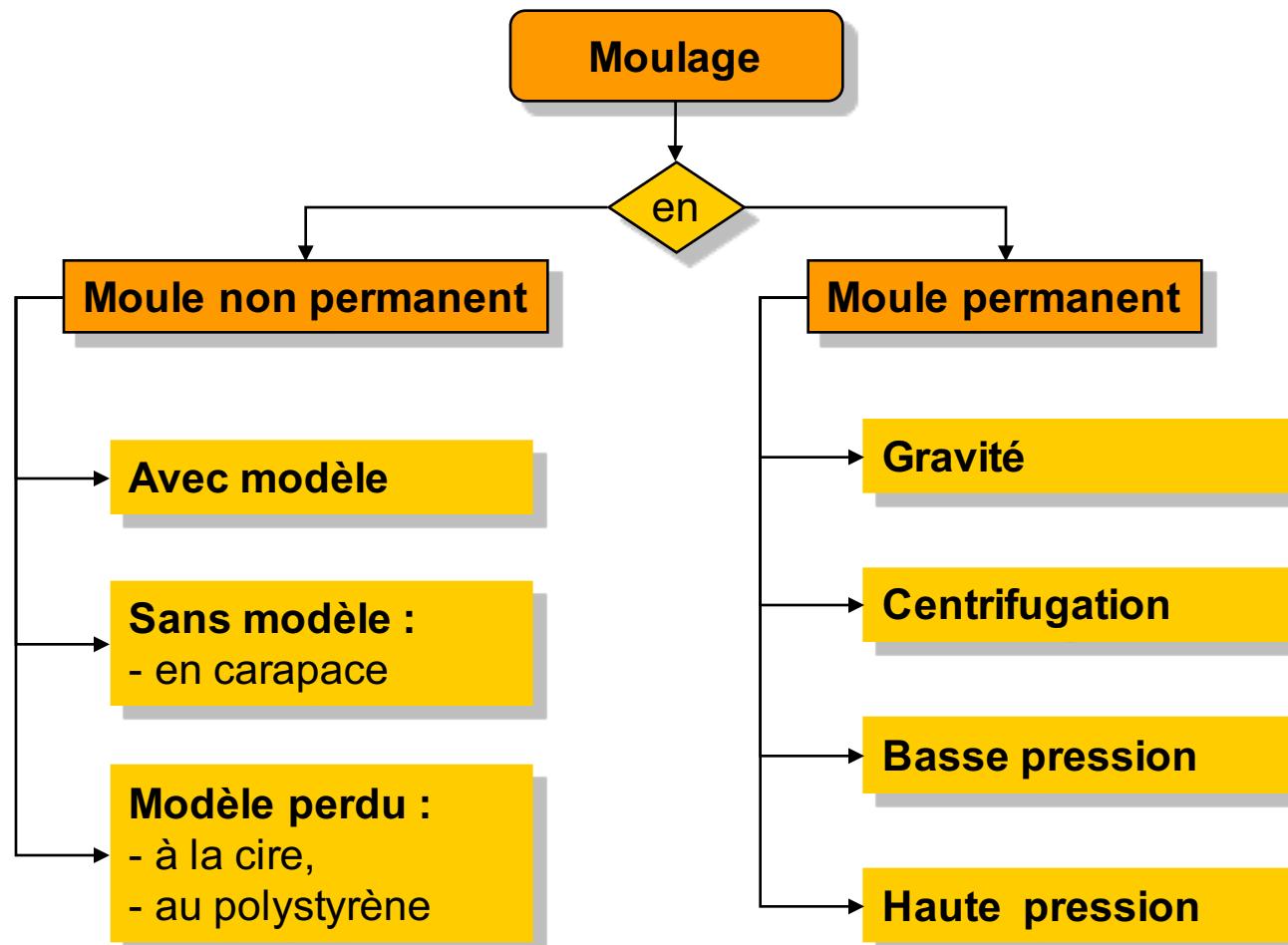
Lors de l'opération de fonderie, le fondeur n'a aucune influence sur les facteurs liés au matériau (nature, composition), par contre il doit intervenir sur les facteurs liés :

- **à la coulée** : température du métal en fusion, vitesse de remplissage du moule ;
- **au moule** : température du moule, conductibilité thermique, nature du moule et qualité de ses parois, mode d'alimentation du métal en fusion, mode de refroidissement du moule ;
- **à la pièce obtenue** : formes, épaisseurs, poids.

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Procédés de moulage :



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable:

Moule :

en sable lié avec de l'argile et de l'eau

Modèle :

- Avec ou sans modèle
- Modèle bois, en plâtre ou métallique
- Dimensions = dimensions de la pièce + retrait + dépouille

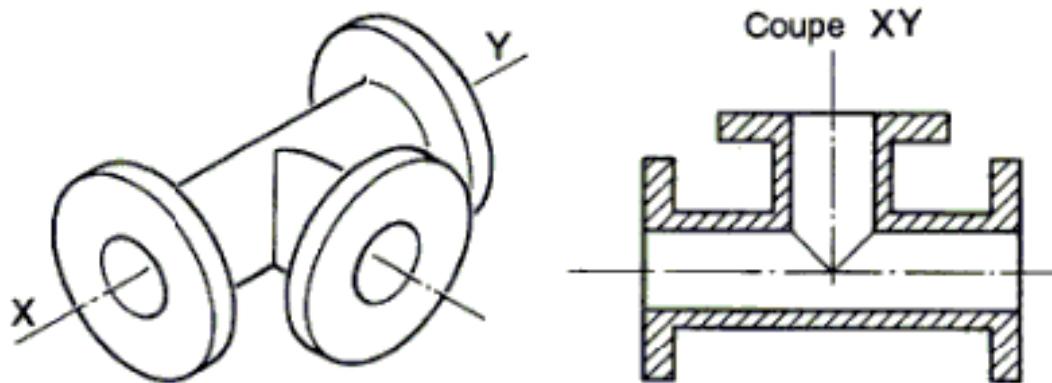
Utilisation

- Le plus couramment employé
- Moulage de grosses pièces unitaires
- Moulage de petites et moyennes pièces en série
- Il est utilisé pour le moulage des pièces en fonte, acier et métaux non ferreux.

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable – Principe :

Exemple : **Moulage manuelle sur modèle**



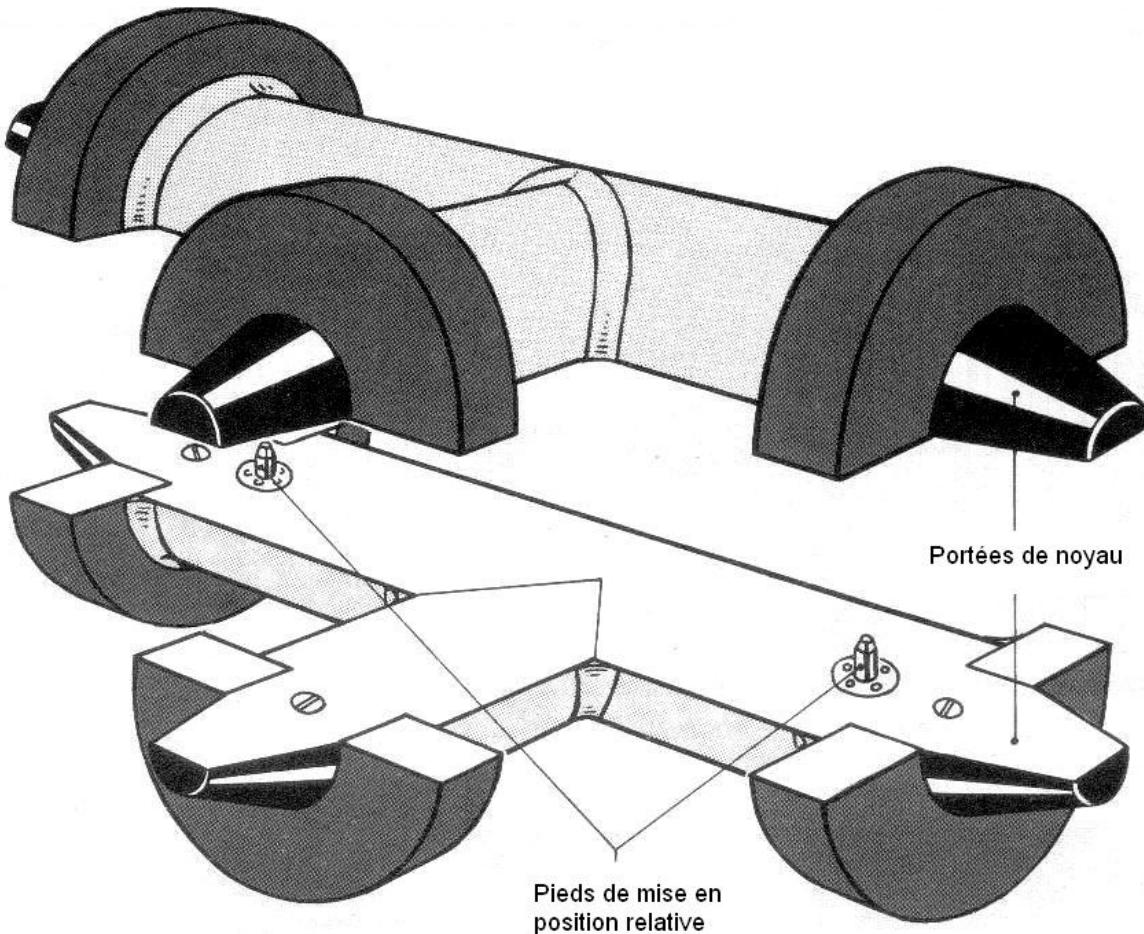
Tuyauterie

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable – Principe :

Modèle en bois

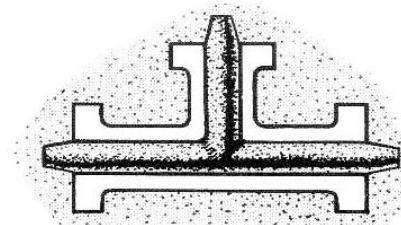
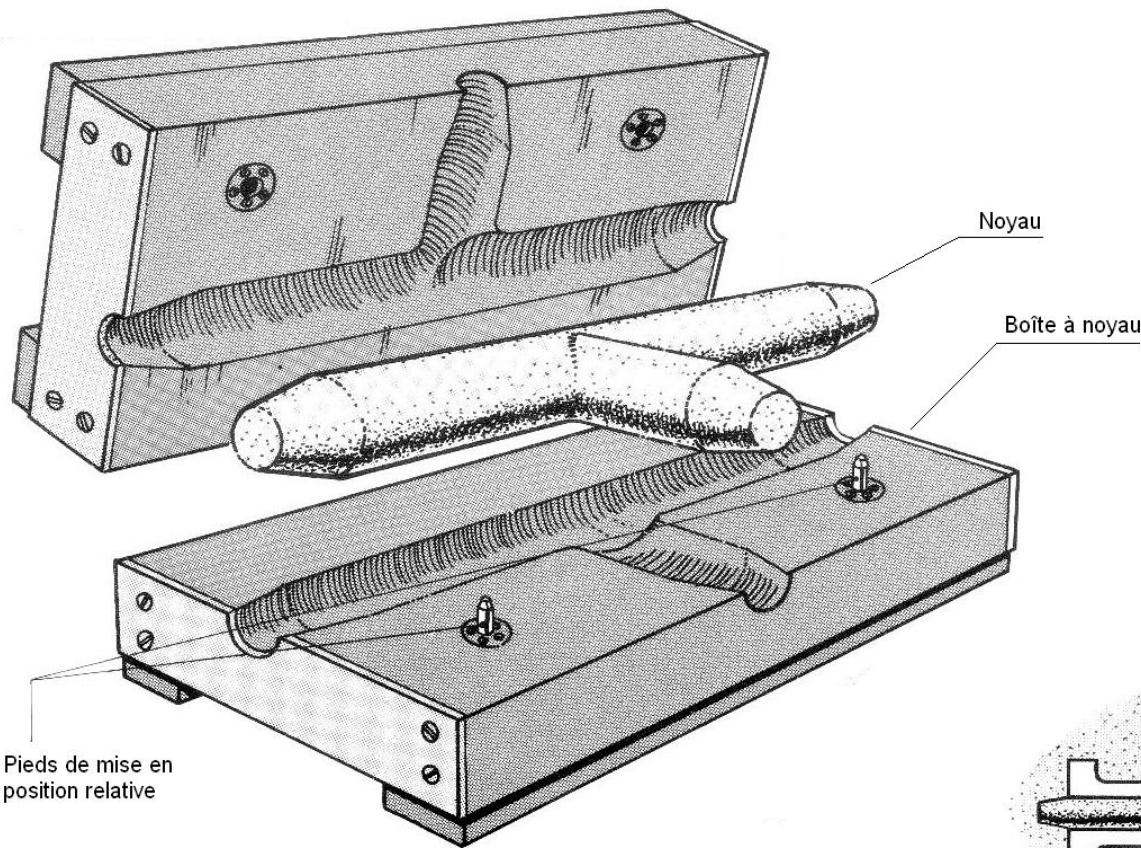


Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable – Principe :

Noyau

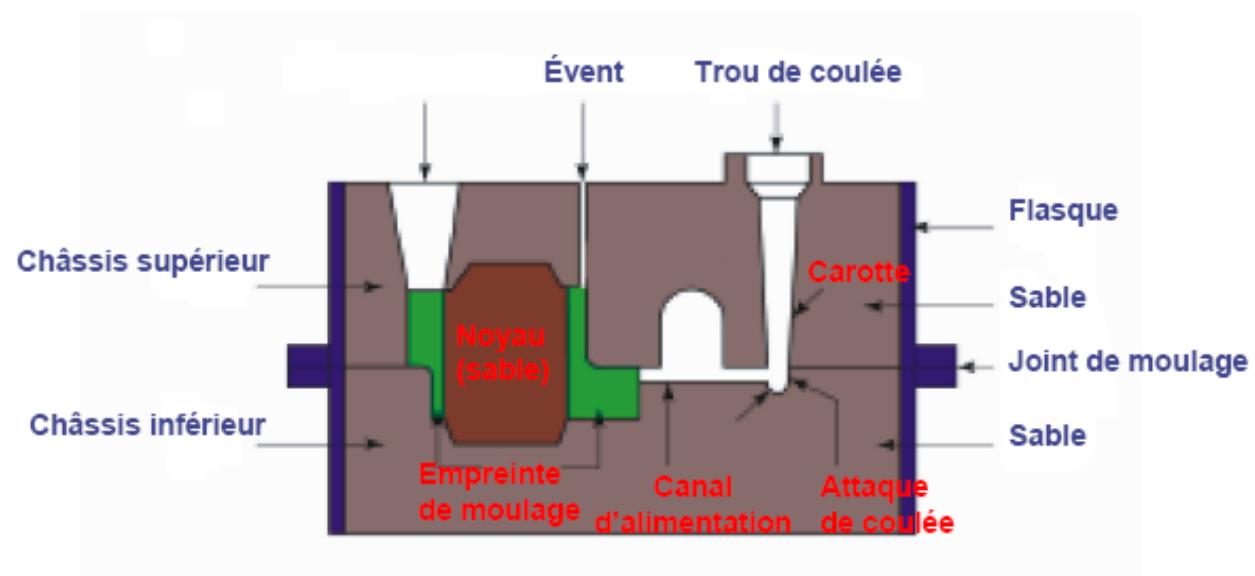


Disposition du noyau
dans l'empreinte

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

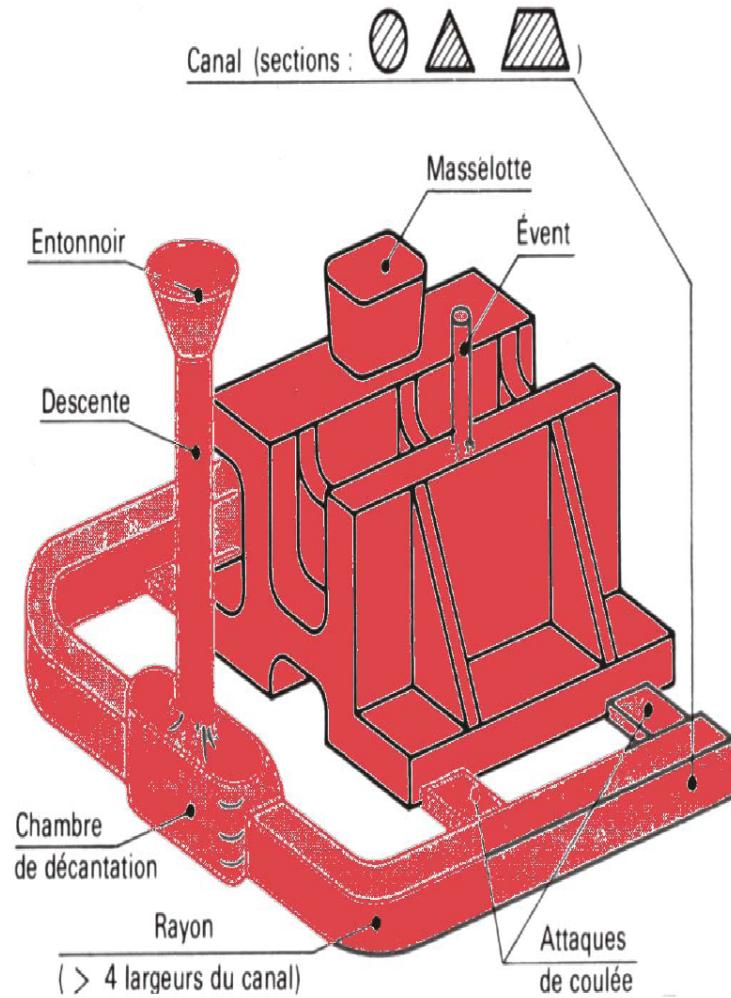
Moulage au sable

Principe de base



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Système d'attaque



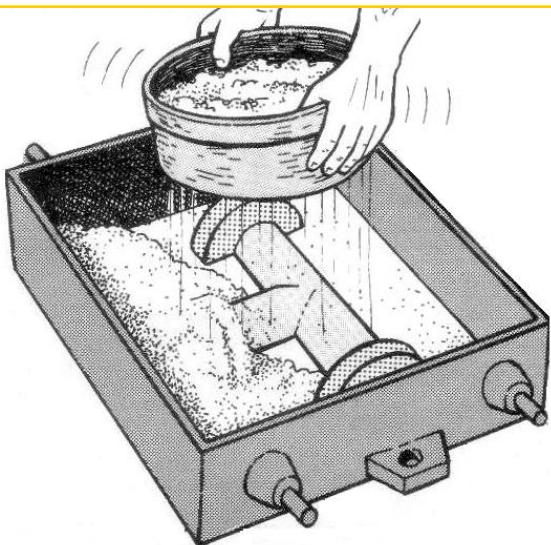
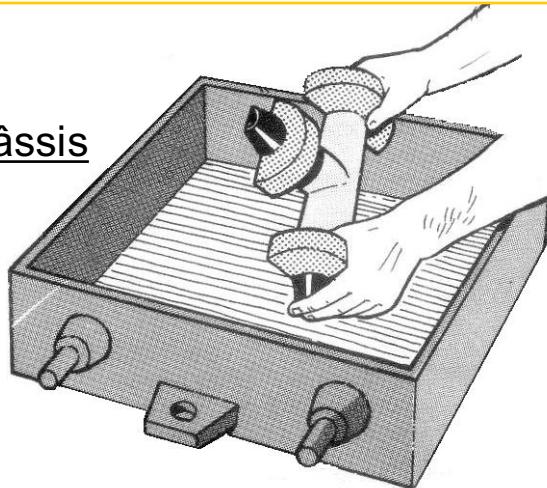
Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable – Principe :

Le demi-modèle est placé sur une surface plane au centre du châssis

Châssis

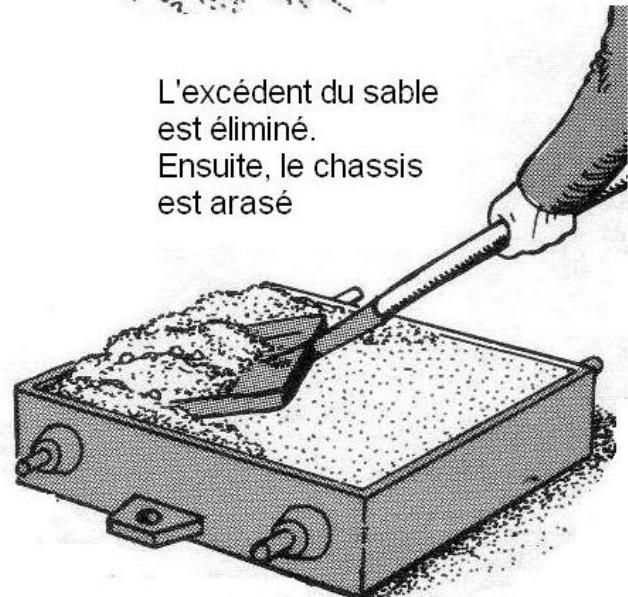
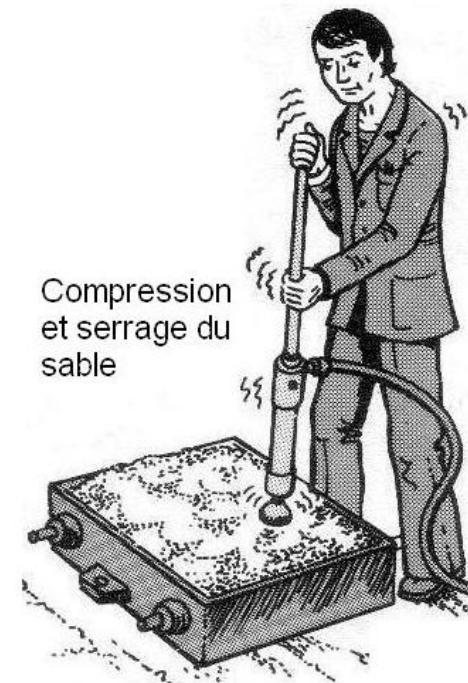


Le demi-modèle est placé sur une surface plane au centre du châssis

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable – Principe :

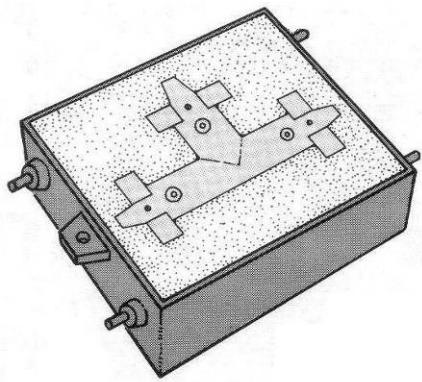
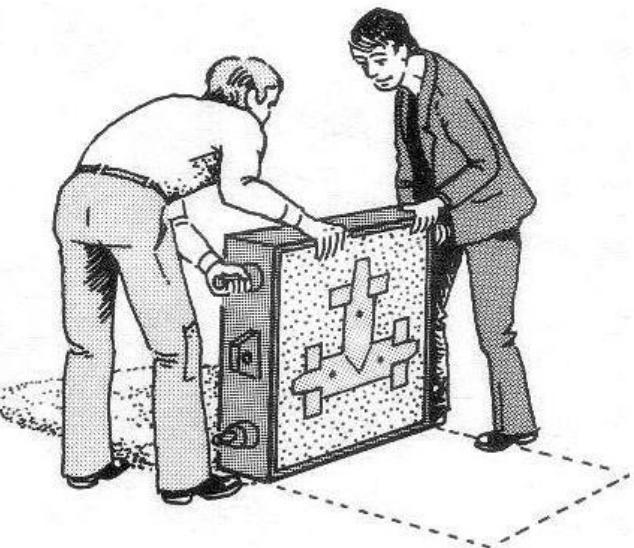


Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable – Principe :

Le chassis est retourné sur une couche de sable



Mise en place du chassis supérieur

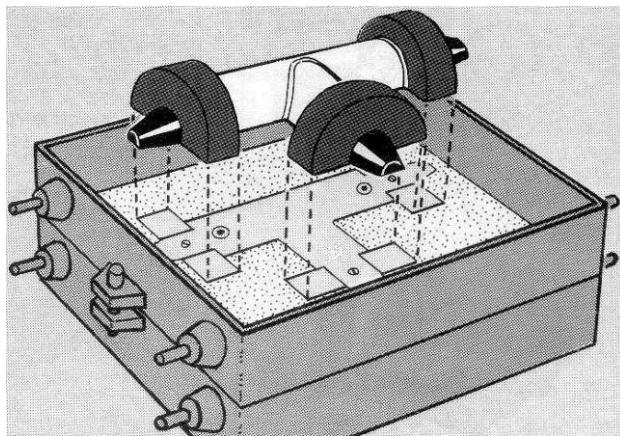


Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

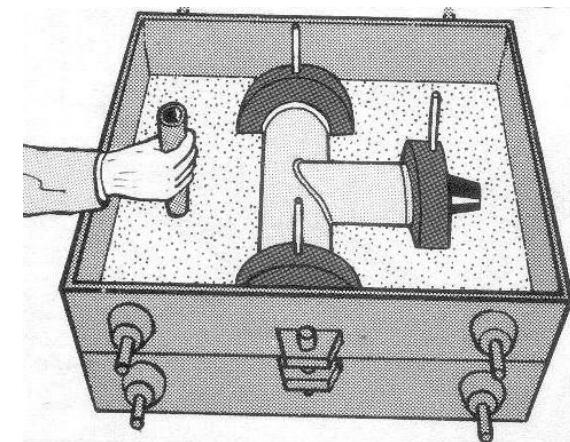
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable – Principe :

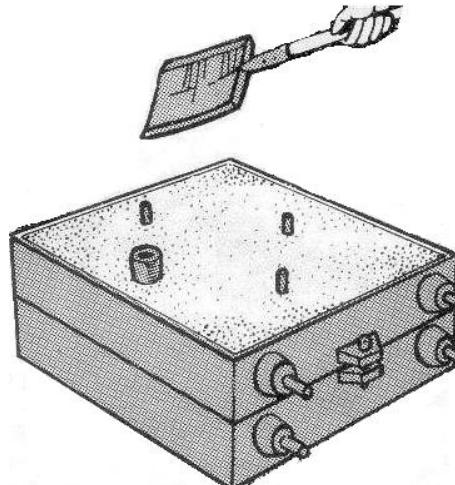
La seconde partie du modèle est disposée sur le plan de joint



Placement du mandrin de coulée, des évents pour l'évacuation des gaz



Remplissage du châssis supérieur est rempli de sable, serré et arasé.



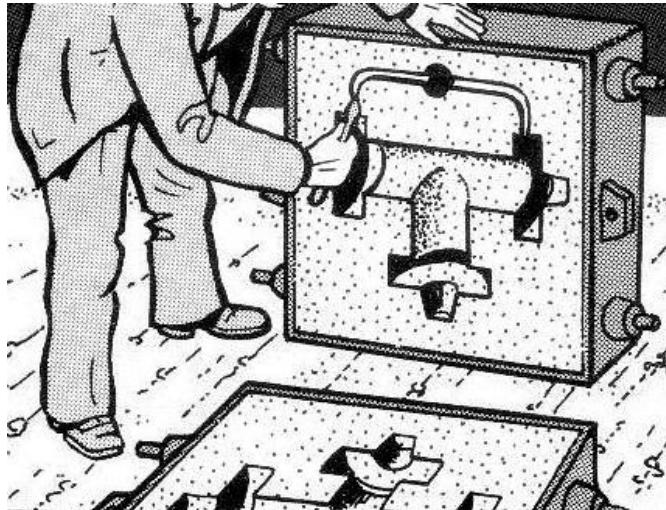
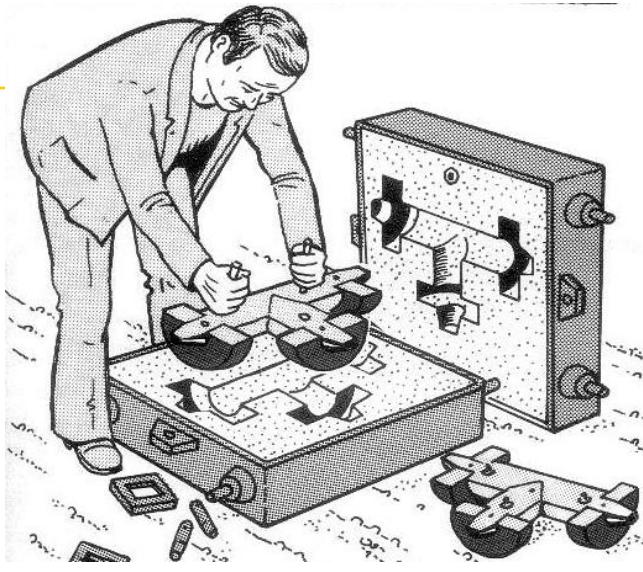
Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable – Principe :

On sépare les deux châssis.

Le modèle est extrait sans détériorer l'empreinte.



On creuse ensuite le canal qui conduira le métal en fusion, du trou de coulée à l'empreinte.

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Avant de couler l'alliage liquide dans un moule, le fondeur doit relever la température à l'aide d'un pyromètre dont il plonge l'extrémité dans le bain.



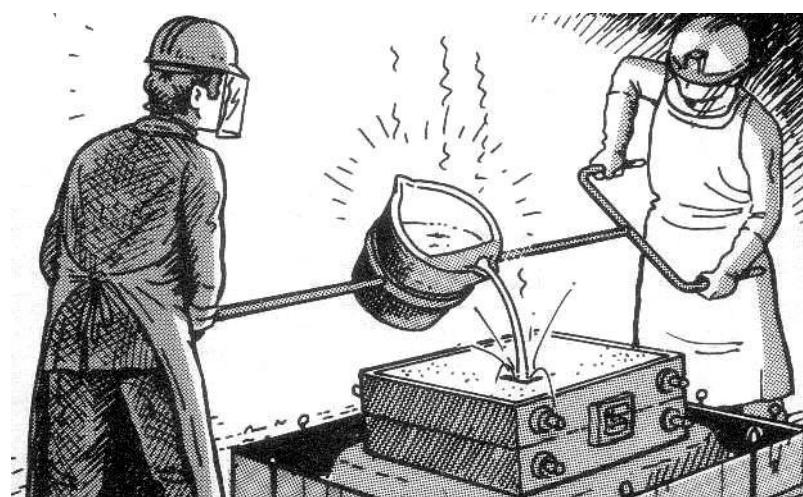
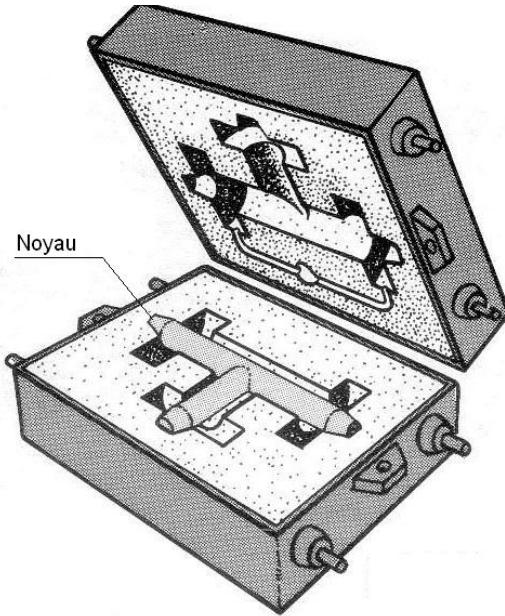
Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable – Principe :

On place le noyau dans l'empreinte.

Puis, on referme l'ensemble du moule.



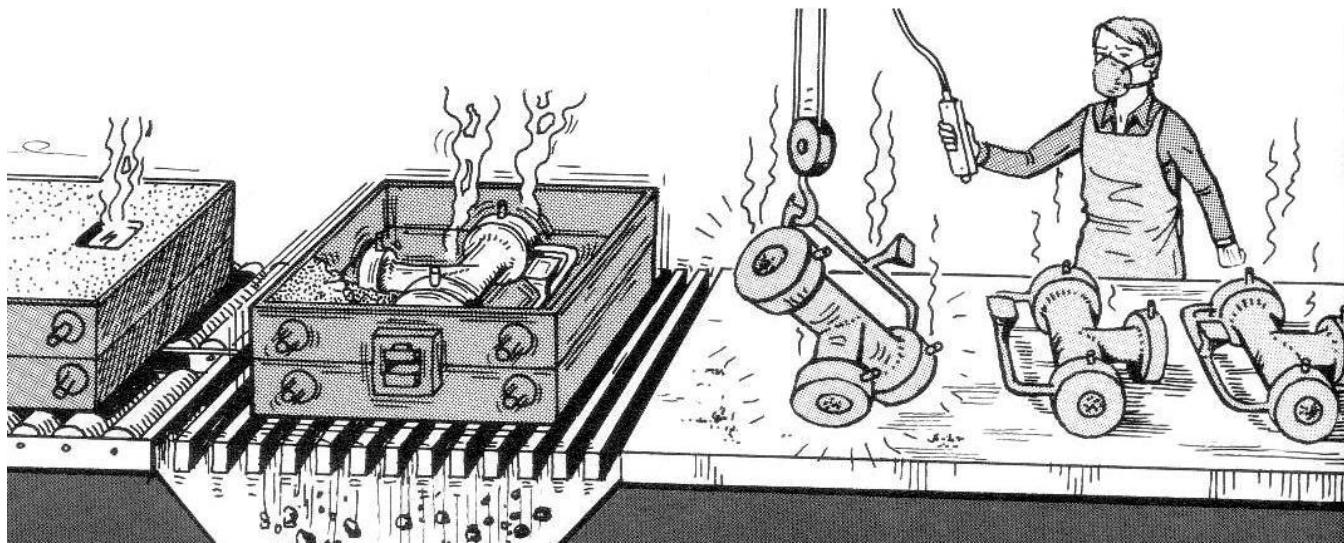
La coulée du métal liquide

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable – Principe :

Le châssis est arrêté sur un grille vibrante.

Sous le choc des vibrations le sable se casse pour libérer la pièce moulée



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

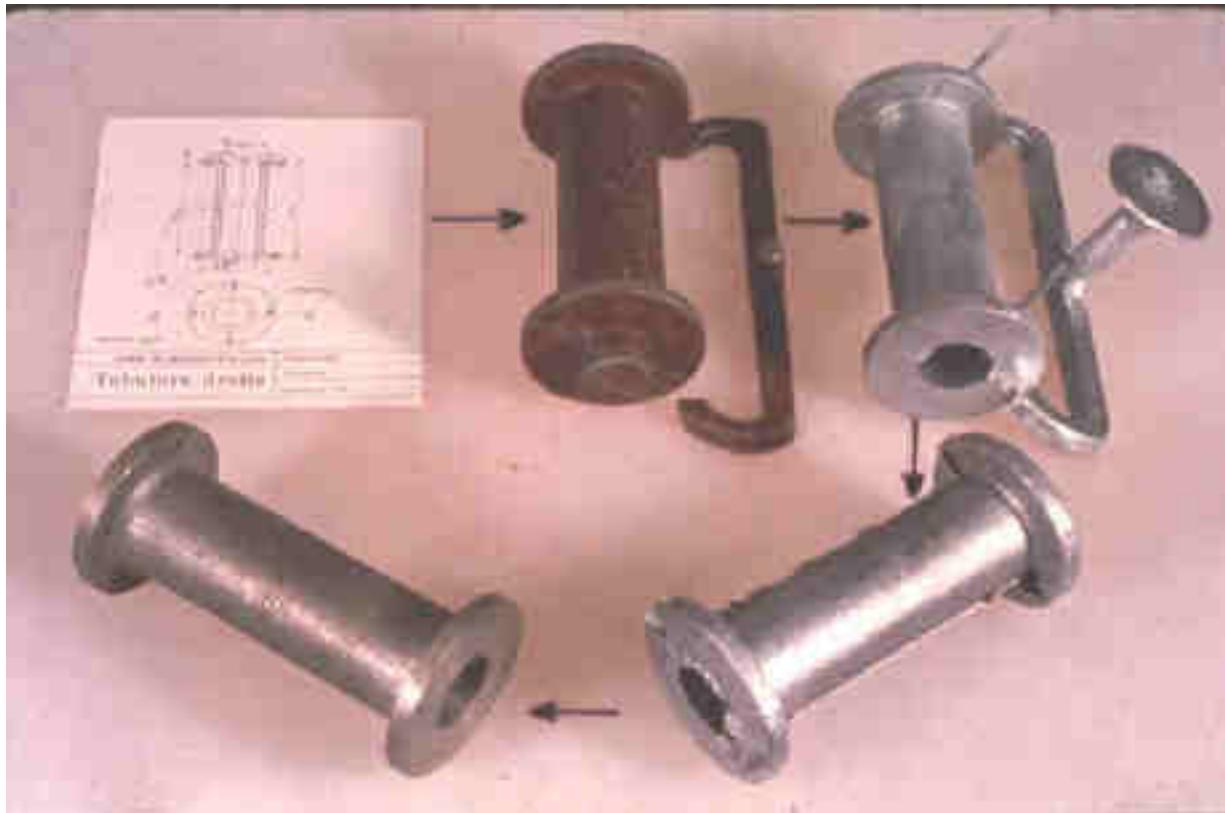
L'ensemble métallique obtenu comprend la pièce, son dispositif de coulée et ses évents. Par sciage, ces éléments sont séparés de la pièce. Un simple meulage éliminera les bavures métalliques.



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

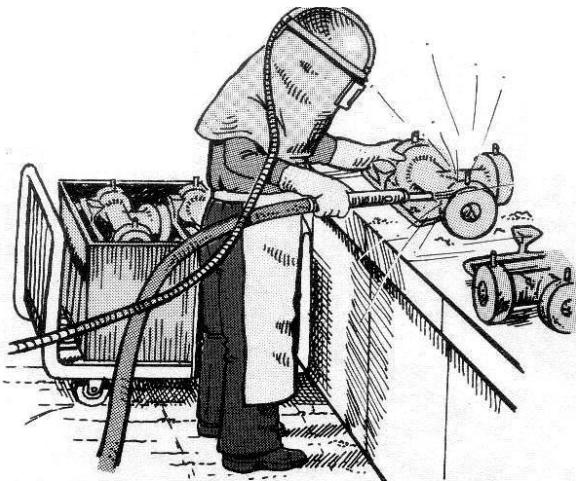
On récupère alors la pièce brute de fonderie. Suivra les opérations d'usinage pour obtenir la pièce finie, prête à être employée.



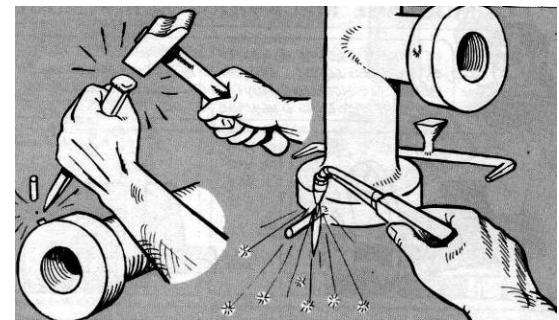
Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable – Principe :



Débourrage : nettoyage de la pièce du sable



Ebarbage : éliminer les appendices



Revêtement

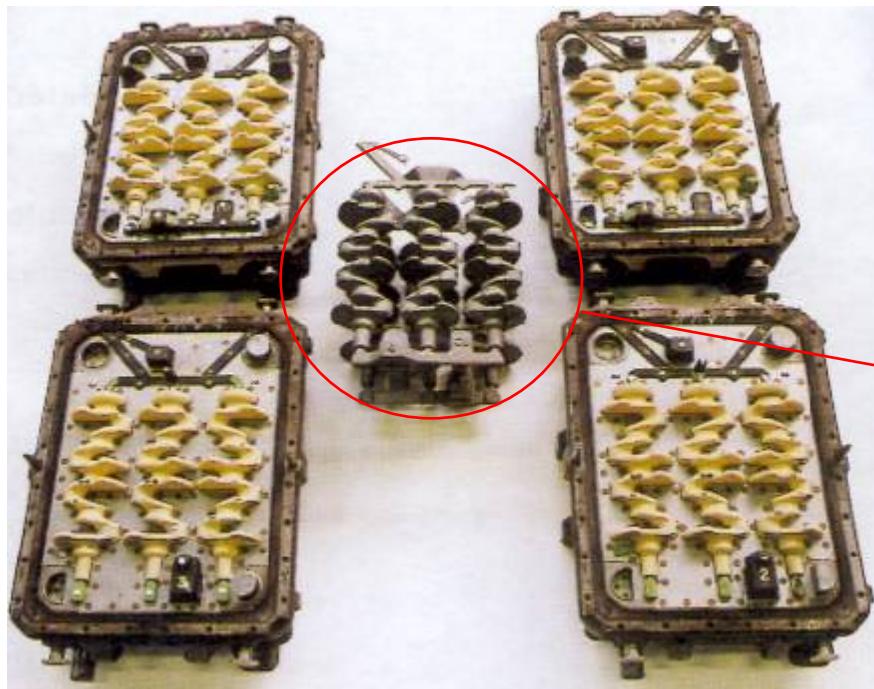


Meulage des irrégularités

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable :

Plaques-modèles pour moules de vilebrequins en sable au silicate (vilebrequins en fonte GS) (doc. FM)



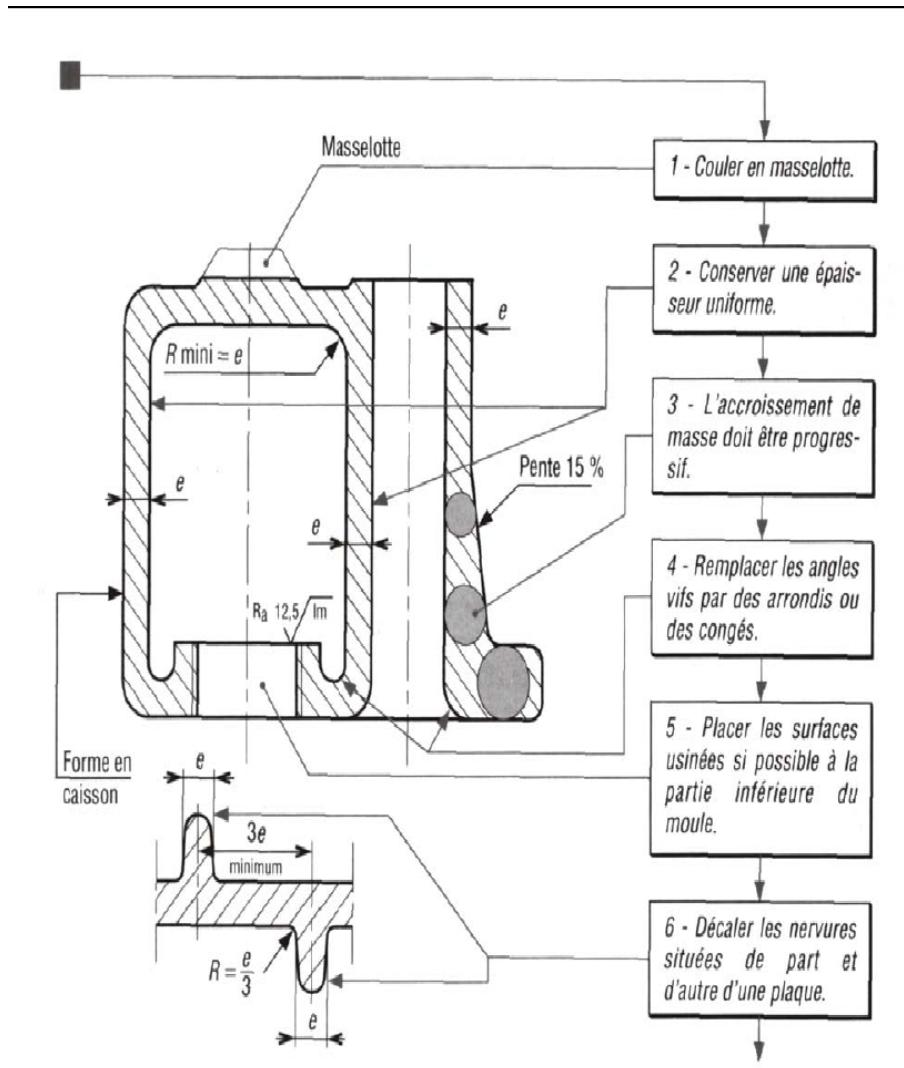
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Propriétés souhaitées pour le moule

- *Rigidité - pour conserver la forme de l'empreinte et pour résister à l'érosion*
- *Perméabilité - pour permettre à l'air chaud et aux gaz de filtrer au travers du sable*
- *Stabilité thermique - pour éviter la formation de fissure au contact du métal chaud*
- *Plasticité – pour restituer la forme du model*
- *Réutilisable - le sable peut-il être réutilisé pour fabriquer d'autres moules ?*

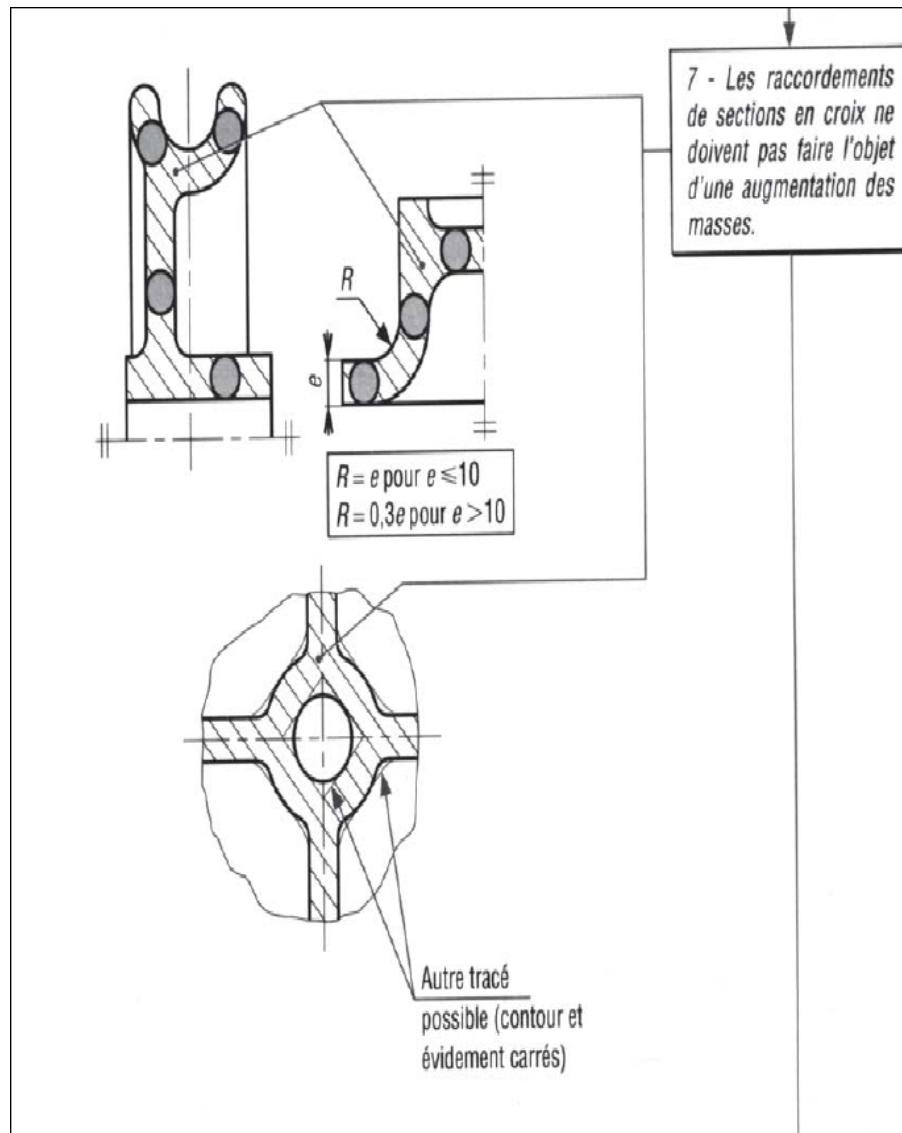
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Tracé des pièces moulées



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

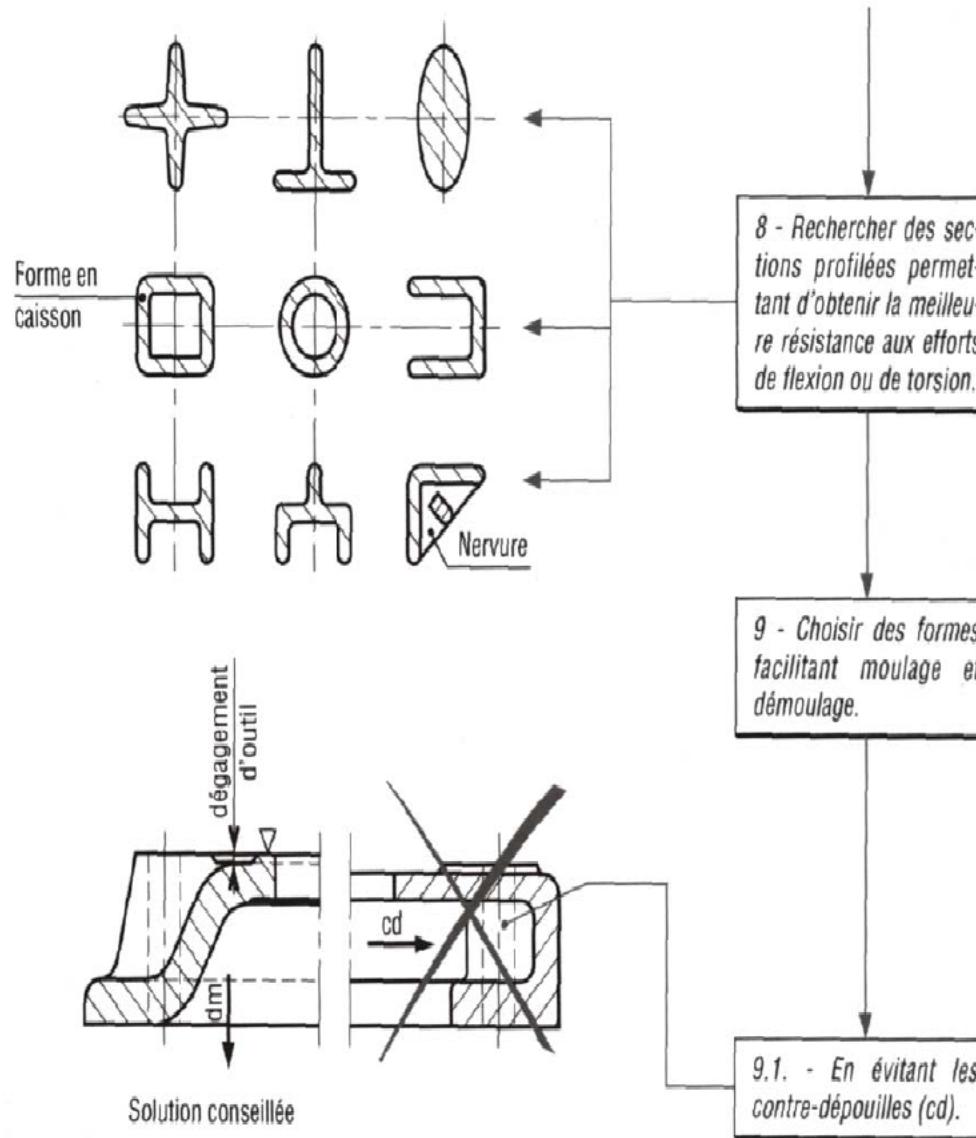
Tracé des pièces moulées



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

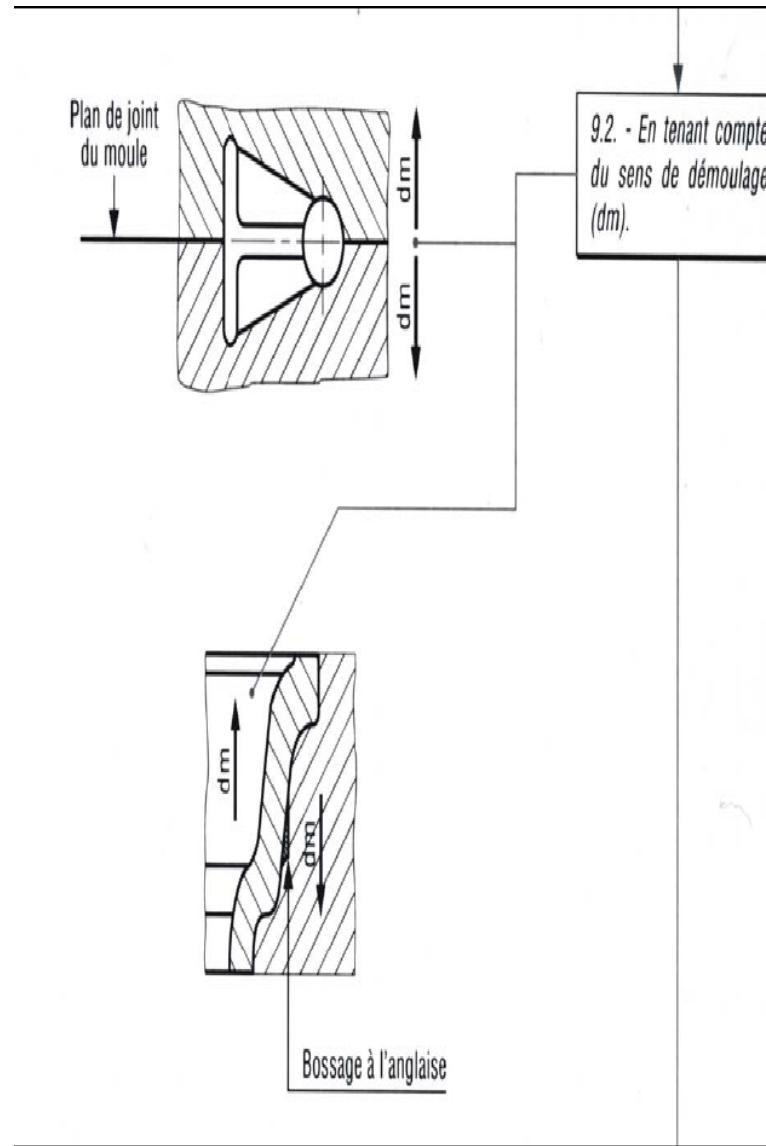
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Tracé des pièces moulées

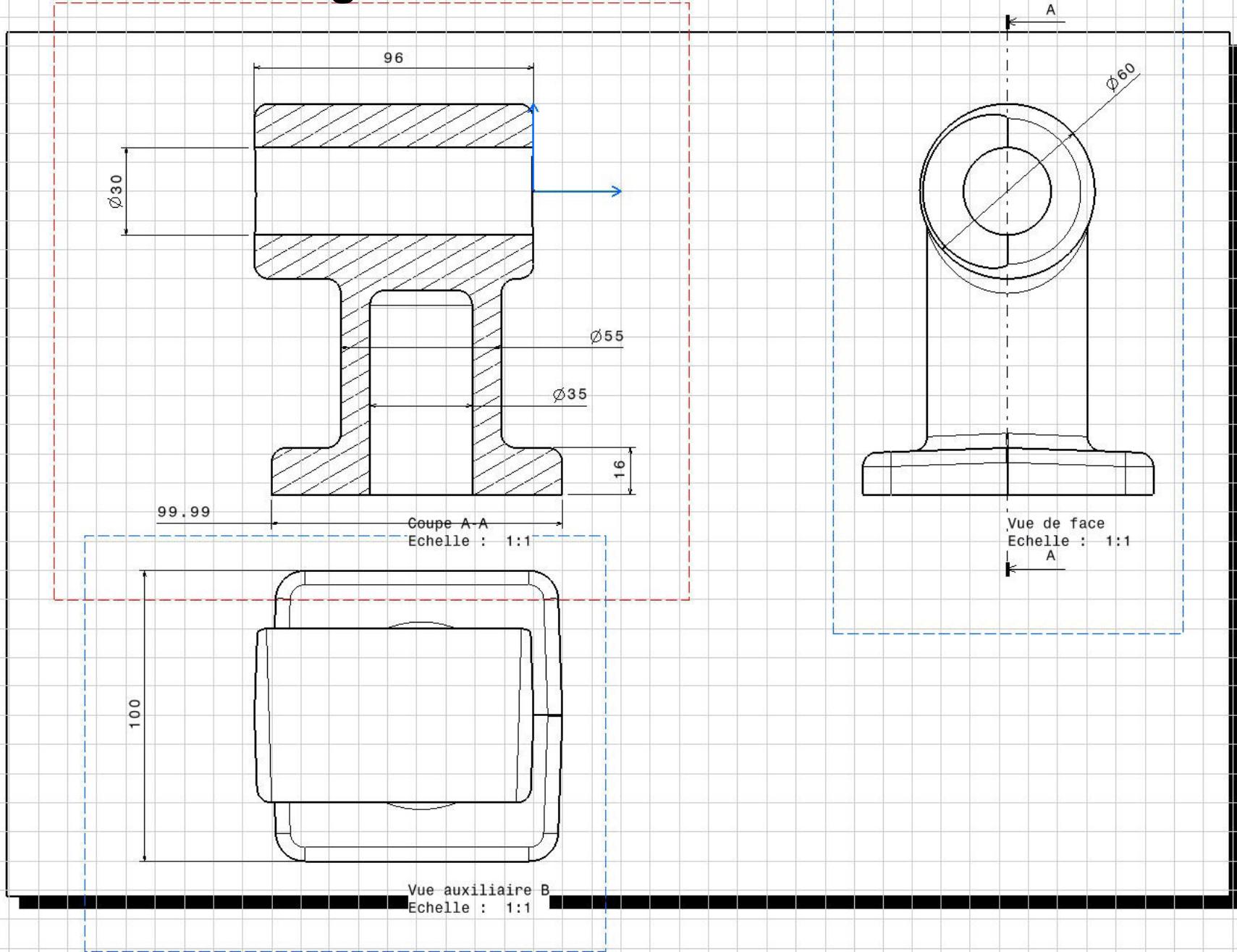


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

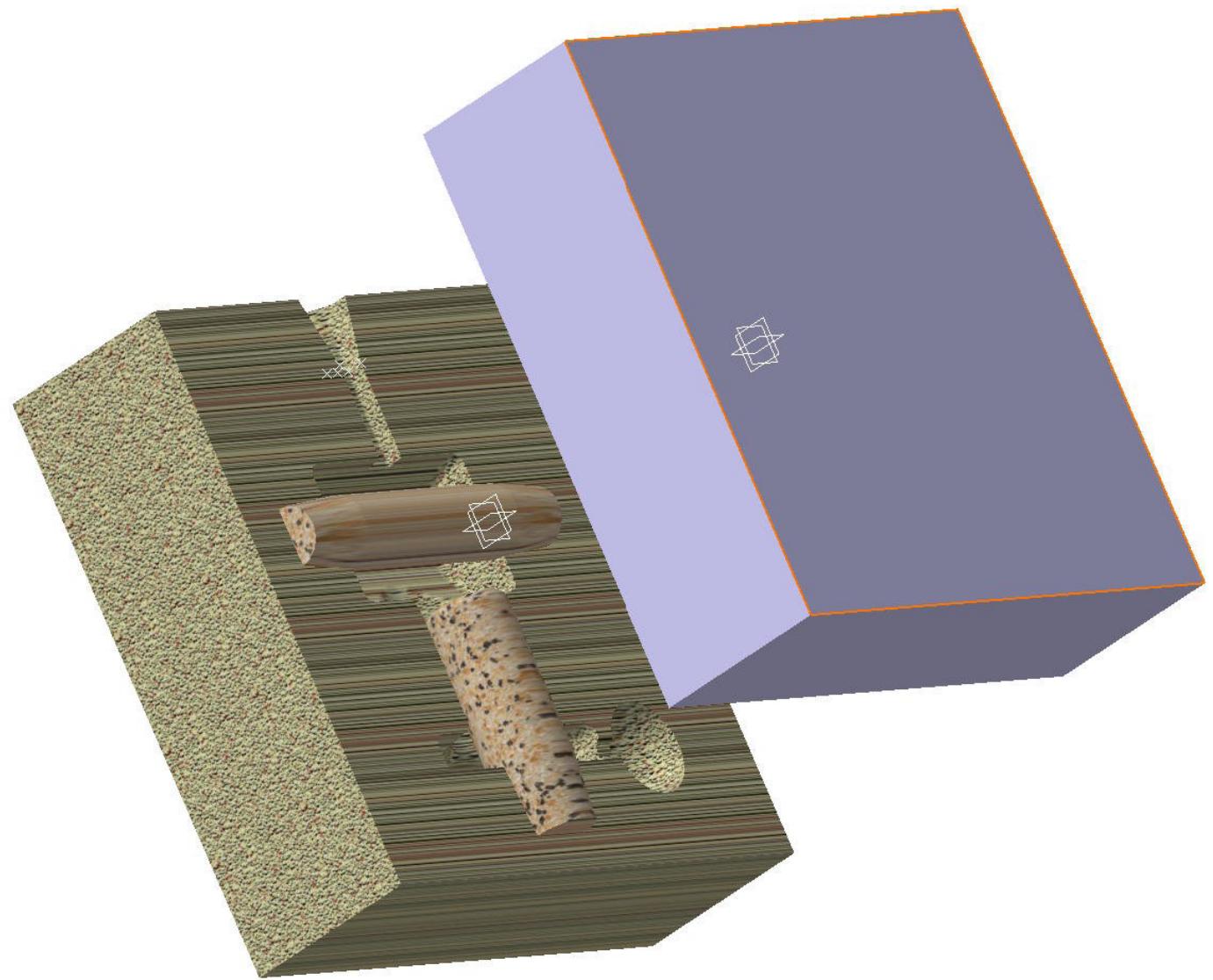
Tracé des pièces moulées



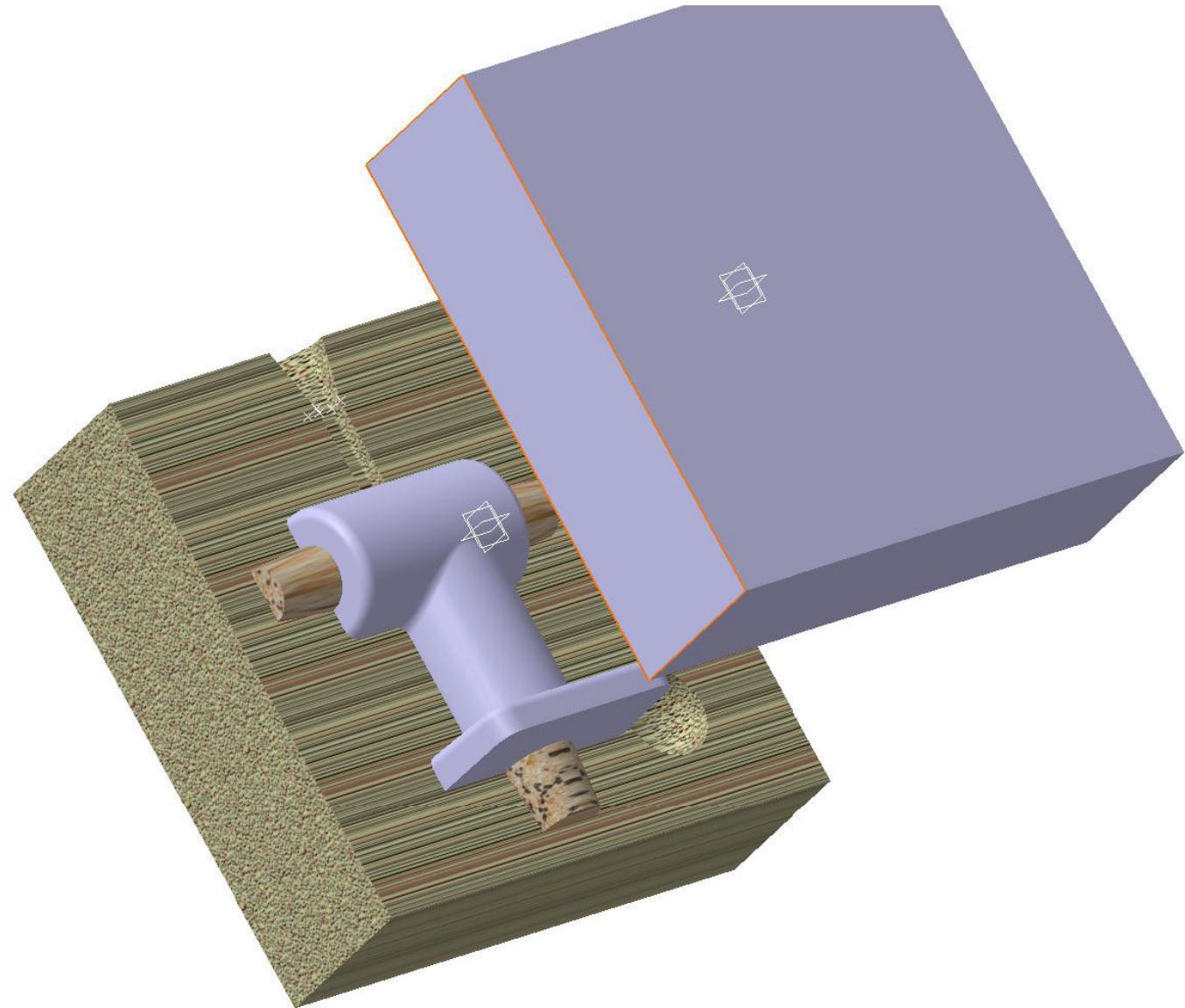
Pièce en fonte grise



correction



correction



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage au sable :

Plaques-modèles pour moules de collecteurs d'échappement en fonte GS. (doc. SBFM - AT Systèmes)



a partie inférieure



b partie supérieure

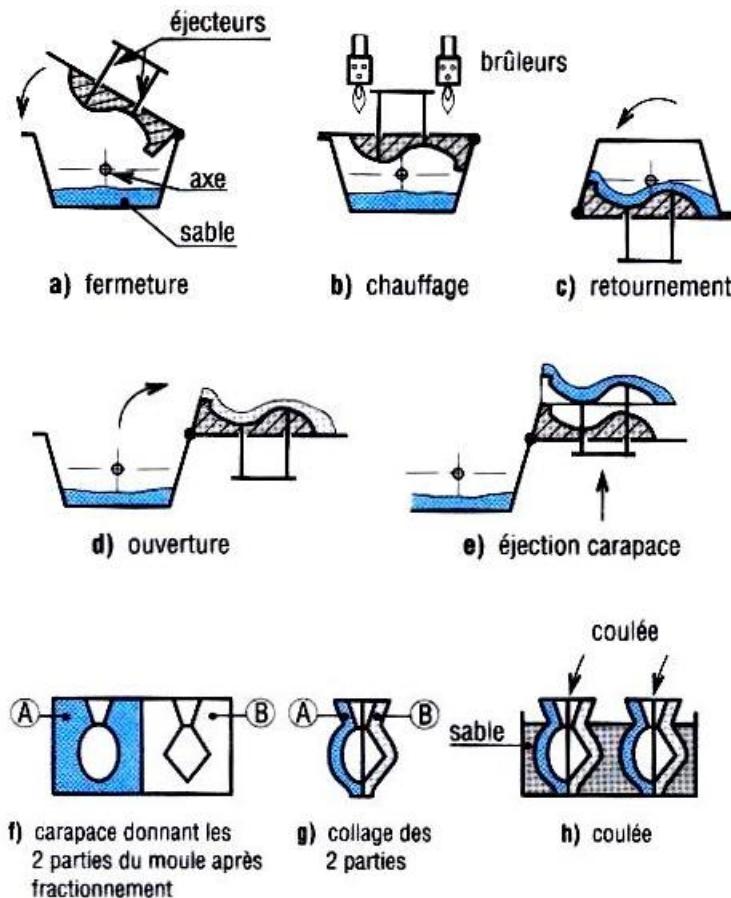
Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en carapace :

Ce procédé utilise :

- des **sables** mélangés avec des **résines thermodurcissables** **polymérisant**
- **Une plaque modèle** maintenue en température pour que le sable fasse prise sur une certaine épaisseur.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en carapace :

Avantages :

- On peut obtenir des pièces précises,
- de masses importantes : de quelques grammes à +100 kg
- Précision qui autorise la réduction des surépaisseurs d'usinage et l'obtention de détails de forme, lamages, trous de diamètre ...
- Faibles dépouilles (cylindres avec ailettes en fonte pour moteurs à refroidissement à air).
- Pièces compactes, sans crique, d'un bel état de surface, avec des contours nets et des arêtes vives.
- On peut utiliser tous les alliages, surtout ceux difficilement coulables en moules métalliques, en raison de leur température de coulée (alliages ferreux, cuivreux...).

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en carapace :

Inconvénients :

- haute teneur en résine -> provoquer des dégagements gazeux générateurs de piqûres ou de soufflures.
- Coûts relativement importants :
Sable, 1 kg pour 20 à 25 kg de pièces,
Outilage obligatoirement métalliques.

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage à modèles perdus :

- Utilisent des modèles en matière fusible : polystyrène, cire, etc.
- Les modèles en polystyrène sont éliminés pendant la coulée
- Les modèles en cire sont éliminés par chauffage du moule.



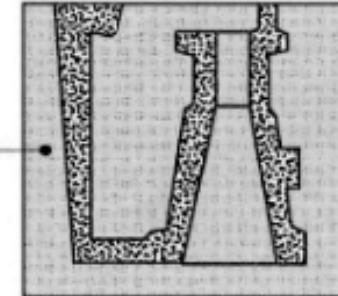
Exemples de pièces pour moteurs d'automobiles produites en moulage de précision à modèle perdu (doc. Métal Temple)

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage à modèles perdus en polystyrène :

- Appelé aussi moulage à modèle gazéifiable ou **lost foam**.

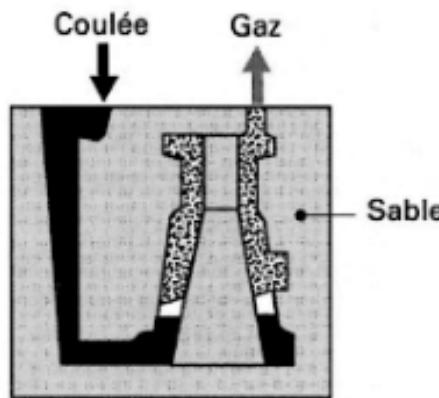
Principe:



Châssis unique. Pas de noyau

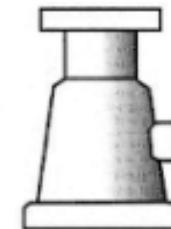
(a) modèle gazéifiable

(b) moule



Le modèle se gazéifie au fur et à mesure que le métal liquide monte dans le moule

(c) coulée



(d) pièce sans couture de joint et sans bavures

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage à modèles perdus en polystyrène :



Modèles en polystyrène (doc. Fonderie-acierie Devaux-Werts)

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage à modèles perdus en polystyrène :

Utilisé pour la fabrication:

- des grosses pièces unitaires (outils d'emboutissage par exemple),
- des pièces de grandes séries en aluminium, en fonte et en acier

Les avantages sont nombreux :

- Précision des pièces :
 - pas ou très peu de dépouille ($0,5^\circ$ à 1°)
 - pas de joint de moulage (donc pas de risque de déport)
- Réduction des prix de revient, qui peut atteindre 15 à 20 %, due à la suppression du noyautage, à la simplification des opérations de moulage, de décochage et d'ébarbage (pratiquement pas de bavures à meuler, sauf les traces d'attaques de coulée)
- Investissements modérés.

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage à modèles perdus en polystyrène :

Les inconvénients :

- une mise au point assez longue (au moment du lancement d'une nouvelle pièce) ;
- des difficultés pour le collage et des risques de déformation des modèles au moment des manutentions, du remplissage et du compactage du sable dans le conteneur ;
- l'obligation de fabriquer des modèles en polystyrène en grande quantité pour les fabrications de série ;
- La qualité finale des pièces étant très largement fonction de celle des modèles,(contrôle du modèle pour pouvoir produire des pièces de qualité)

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage à modèles perdus - Moulage à la cire perdue :

Principe:

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 fondu. Il ne reste plus qu'à couler le métal dans le moule en céramique.



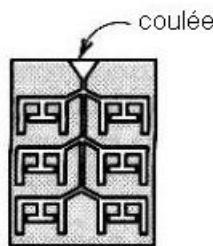
pièce à réaliser



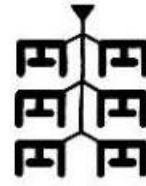
coupe axiale



symbole de la pièce



moule prêt à la coulée



grappe décochée



pièces finies

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage à modèles perdus - Moulage à la cire perdue :

Les avantages du procédé :

- La coulée de tous les alliages non ferreux (aluminium, magnésium, cuivre, titane, zinc...)
- La coulée des alliages ferreux (acières d'outillage, aciers inoxydables, aciers spéciaux, superalliages à base de nickel ou de cobalt fortement alliés, etc.).
- La coulée de toutes sortes de pièces, allant de moins de 1 g à plus de 100 kg et de plus d'un mètre de longueur.
- Une très grande liberté de conception des pièces.
- Fabrication de pièces en petites, moyennes et grandes séries.
- Les états de surface sont excellents,
- Les précisions dimensionnelles sont très bonnes grâce à la grande rigidité du moule réfractaire, à l'absence de plan de joint, à la réduction ou à la suppression des dépouilles.

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Il présente les caractéristiques suivantes pour les moules :

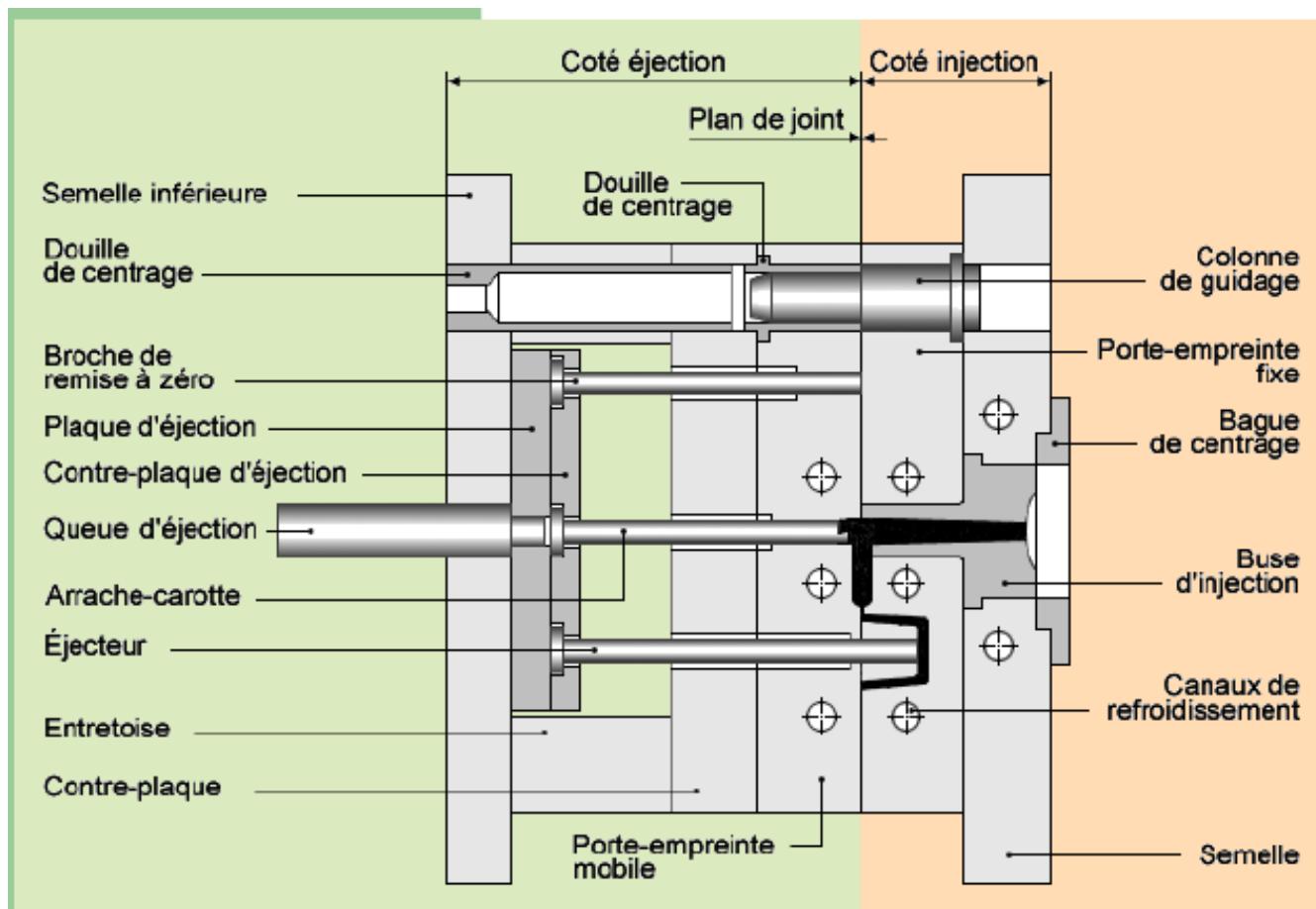
- rigidité de l'empreinte ;
- grande précision dimensionnelle ;
- excellent état de surface des éléments moulants ;
- conductivité thermique élevée des empreintes qui donnent aux pièces moulées des caractéristiques mécaniques plus élevées de l'alliage coulé, conséquence d'une vitesse de refroidissement et de solidification plus élevée, donnant un grain plus fin et une matière plus compacte ; mais des contraintes résiduelles à l'état brut peuvent nécessiter un traitement thermique de détente des pièces surtout pour les métaux ferreux ;
- la possibilité de faire venir des trous de fixation et de permettre une réduction appréciable des surépaisseurs d'usinage.

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Moulage en coquille par gravité

On coule directement le métal liquide dans l'empreinte d'un moule métallique qui peut comporter ou non des noyaux (métalliques ou en sable) suivant les pièces à fabriquer et leur complexité.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Moulage en coquille par gravité

Avantages :

- C'est le procédé de moulage en coquille le plus simple.
- Fournit des pièces propres, de bel aspect, lisses, étanches et compactes, aux cotes très proches des dimensions finales
- usinage réduit
- Les pièces peuvent présenter des formes extérieures compliquées

Inconvénients :

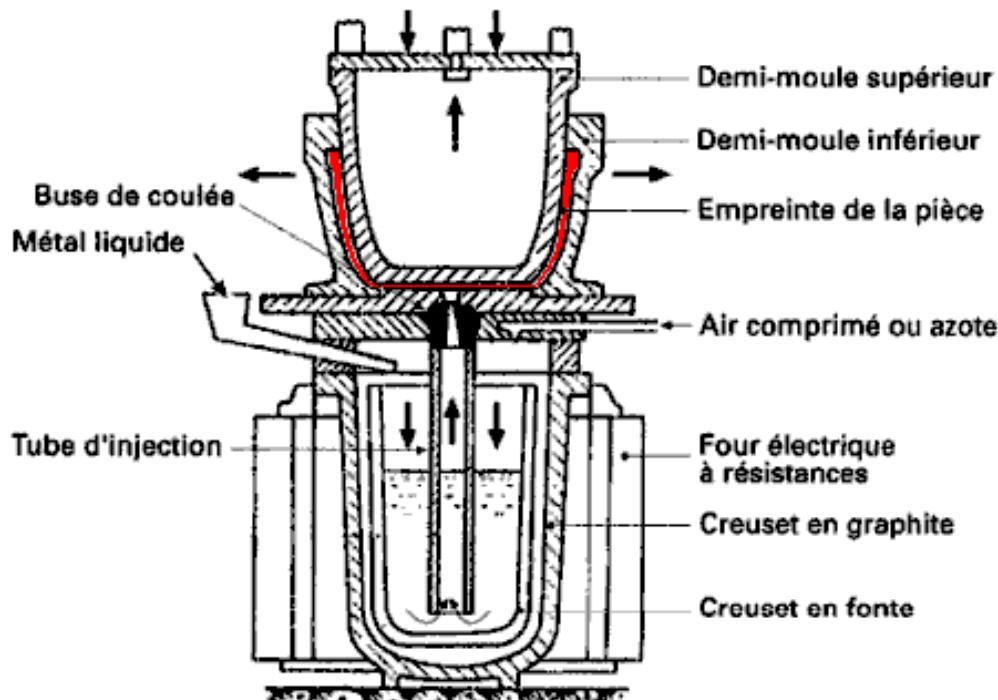
- Nécessite l'emploi de masselottes nombreuses et importantes, ce qui se traduit un ébarbage plus important. Le temps de solidification des masselottes est long, ralentissant les cadences.
- Les outillages sont chers, d'où la nécessité de n'appliquer ce procédé que pour des pièces produites en grandes ou moyennes séries.

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Moulage en coquille basse pression

Le métal est injecté dans l'empreinte grâce à la pression d'un gaz sur le bain liquide et introduit dans le moule par l'intermédiaire d'une buse d'injection.



Le creuset en graphite constitue l'enceinte sous pression

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Moulage en coquille basse pression

- utilisé dans l'automobile (production de culasses en aluminium...).
- utilisé en série pour la production de pièces en fonte (collecteurs en fonte GS par exemple)
- réductions d'épaisseur d'usinage
- précision des cotes obtenues.

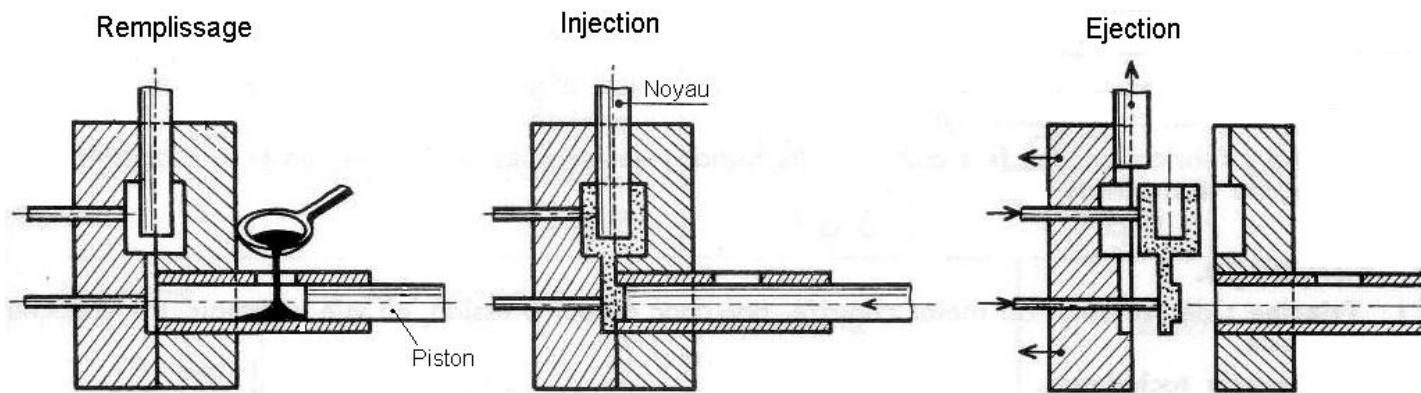


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Moulage en coquille sous pression

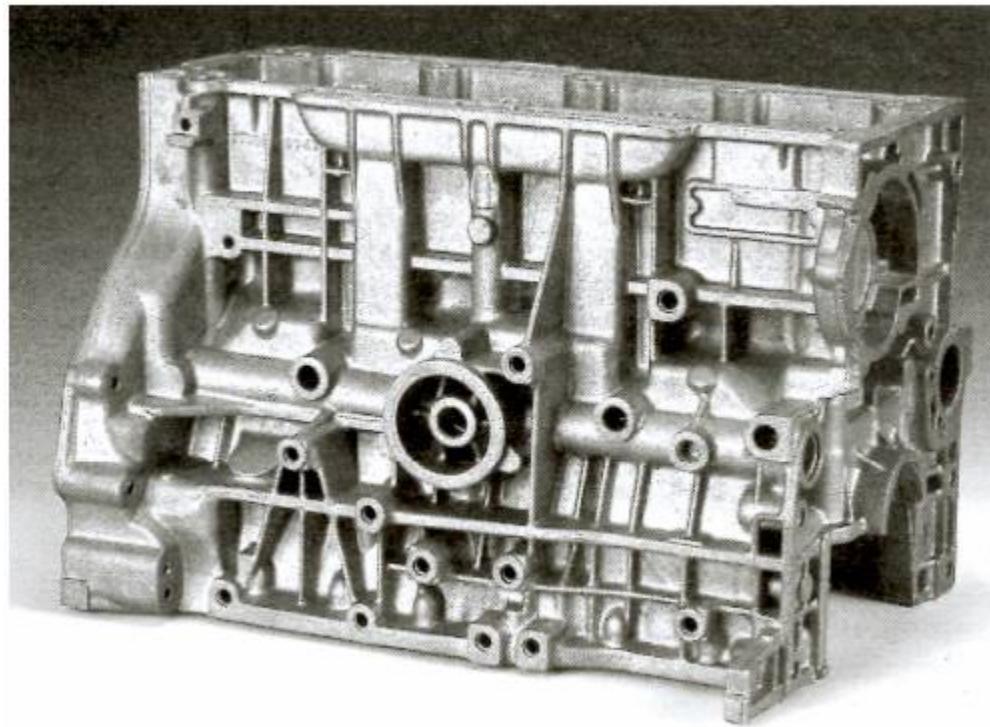
Le métal est injecté sous forte pression dans le moule par l'intermédiaire d'un piston agissant sur le métal liquide versé dans un conteneur.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Moulage en coquille sous pression



**Carter cylindre AS9 U3 coulé sous pression
(masse \approx 20 kg) (doc. Renault)**

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Moulage en coquille sous pression

Les avantages :

- bel aspect des pièces ;
- très grande précision, réduisant les masses et limitant l'usinage ;
- meilleure étanchéité des pièces (carburateurs en Zamak par exemple) ;
- faibles dépouilles permettant d'économiser la matière, etc.

Inconvénients:

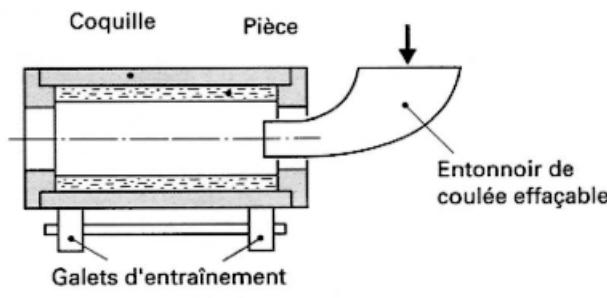
- Les investissements sont toujours élevés, surtout pour les grosses pièces ; les outillages sont importants et très coûteux.
- Les formes des pièces doivent être pensées en fonction de ce procédé, simples à l'intérieur, plus compliquées à l'extérieur.

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

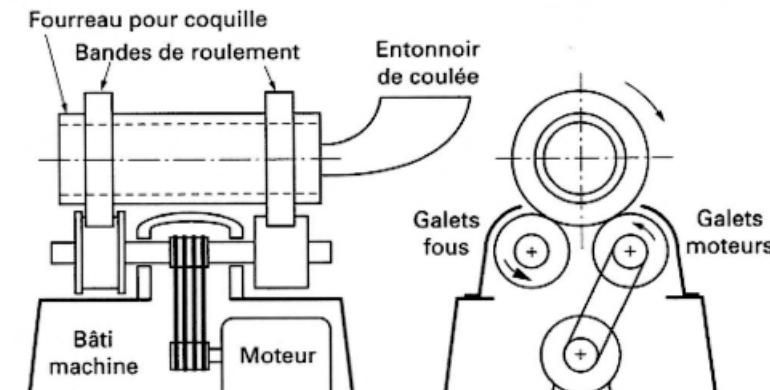
Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Moulage en coquille centrifugée

Il est utilisé principalement pour la fabrication de pièces cylindriques creuses (tuyaux par exemple) obtenues par coulée du métal liquide dans des coquilles métalliques entraînées en rotation.



a coquille simple entraînée directement sur les galets

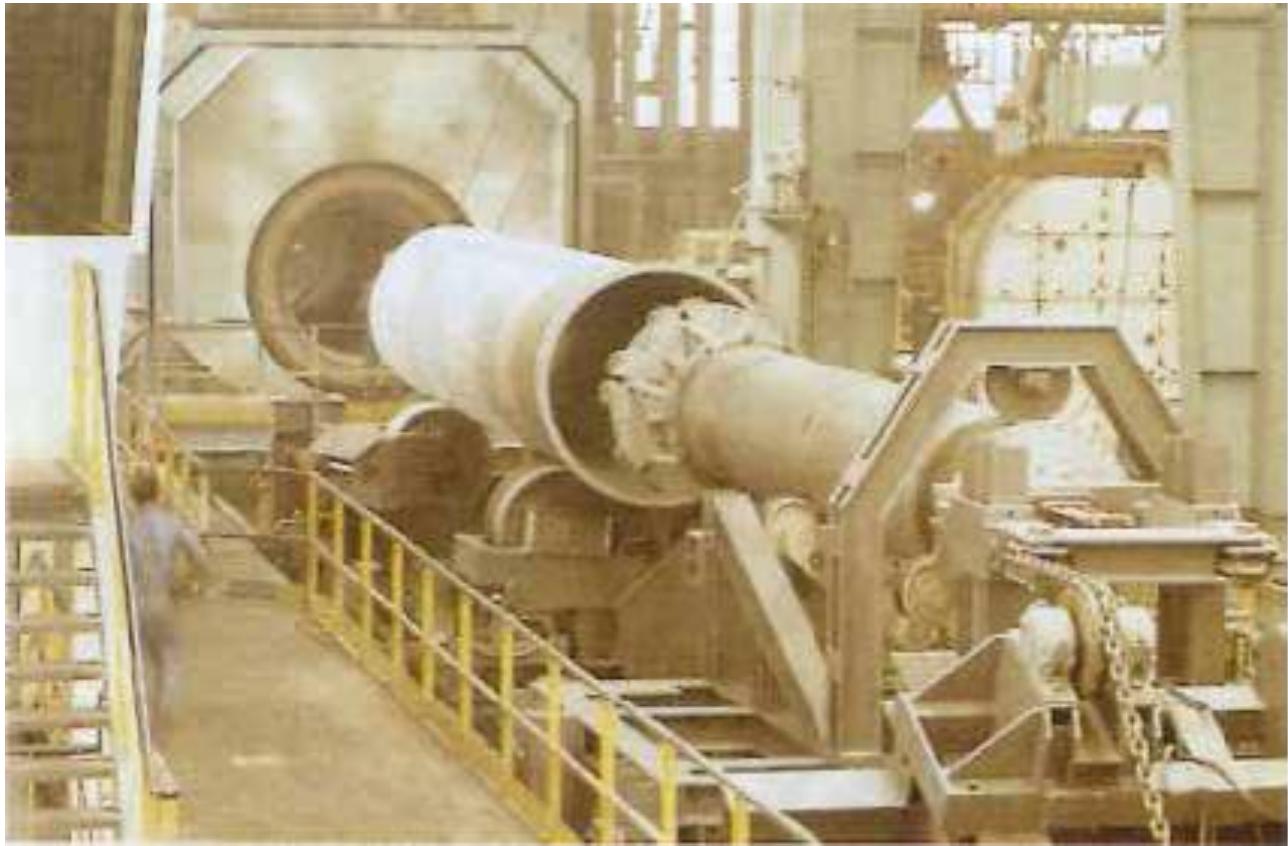


b centrifugeuse à galets avec fourreau

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Moulage en coquille centrifugée

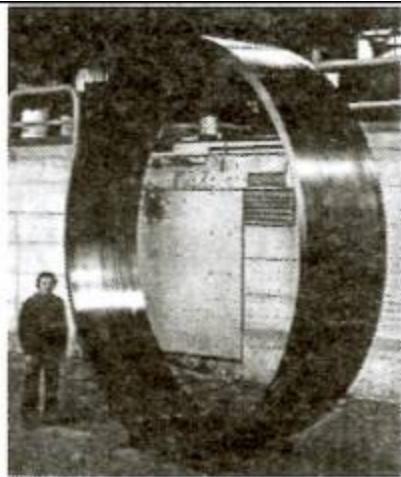


Tuyau centrifugé en fonte GS (doc. Pont-à-Mousson)

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Moulage en coquille centrifugée



Composant de turbine hydraulique en acier inoxydable centrifugé verticalement
(Ø 4,10m, masse brute 15 500 kg)



Corps de pompe centrifuge en acier inoxydable. Les ajutages, également centrifugés, sont rapportés par soudure



Joints d'étanchéité de ligne d'arbre d'hélice (bronze) centrifugés verticalement

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage en moules métalliques (en coquille) :

Moulage en coquille centrifugée

Les avantages :

- Epuration physique sous l'effet de la force centrifuge pendant la solidification (élimination des inclusion) ;
- Métal plus compact, diminution de certains défauts (soufflures, inclusions) ;
- Structure plus fine et meilleures propriétés mécaniques de l'alliage ;
- Obtention d'une bonne précision dans les formes ;
- Réduction de l'ébarbage et de l'usinage des pièces ;
- On peut facilement automatiser le procédé (tuyaux, chemises de moteurs, etc.) ;
- possibilité de faire des pièces bimétalliques, comme des tuyaux, des fourreaux, jusqu'à des cylindres de laminoirs.

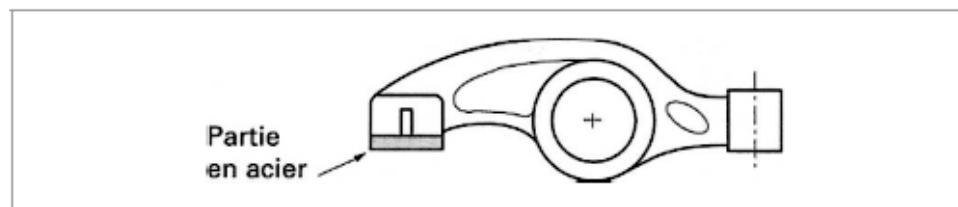
Inconvénient:

Les outillages sont coûteux et il est souhaitable de prévoir les amortissements avec des grandes séries.

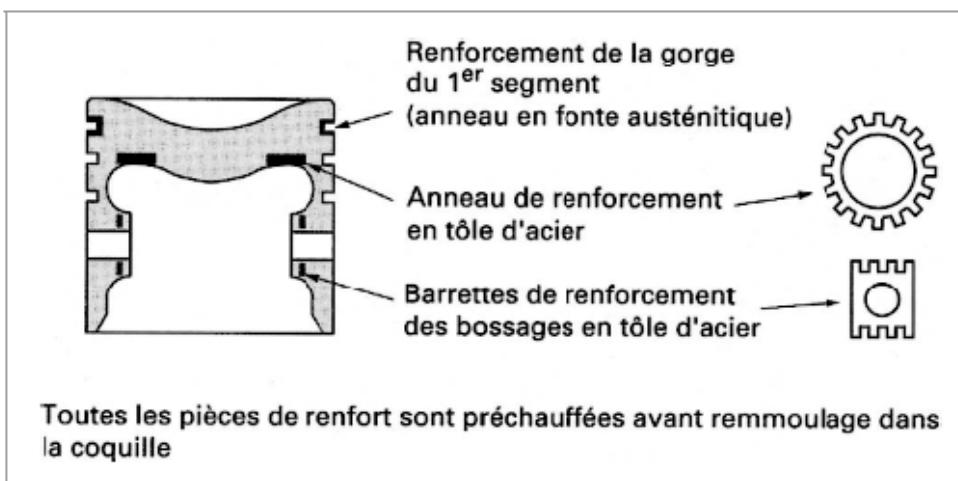
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage avec inserts :

Principe : Le moulage avec insertion est un procédé qui consiste à mettre dans un même moule deux métaux en contact, l'un à l'état solide (l'insert) et l'autre à l'état liquide, pour réaliser entre eux une liaison par accrochage ou par soudure qui en fasse, après solidification, une pièce monobloc.



Insert pour culbuteur en aluminium



Inserts pour piston

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Moulage avec inserts :

Il permet d'améliorer localement les caractéristiques d'une pièce moulée :

- la soudabilité ;
- les résistances mécaniques (module d'élasticité, résistance à la fatigue, résistance à l'usure) ;
- la résistance thermique ;
- la conductivité ;
- la création de circuit de refroidissement par incorporation de tubes ;
- l'allégement des pièces par mise en place d'inserts de faibles épaisseurs pour des parties minces ne pouvant être obtenues brutes de fonderie.

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

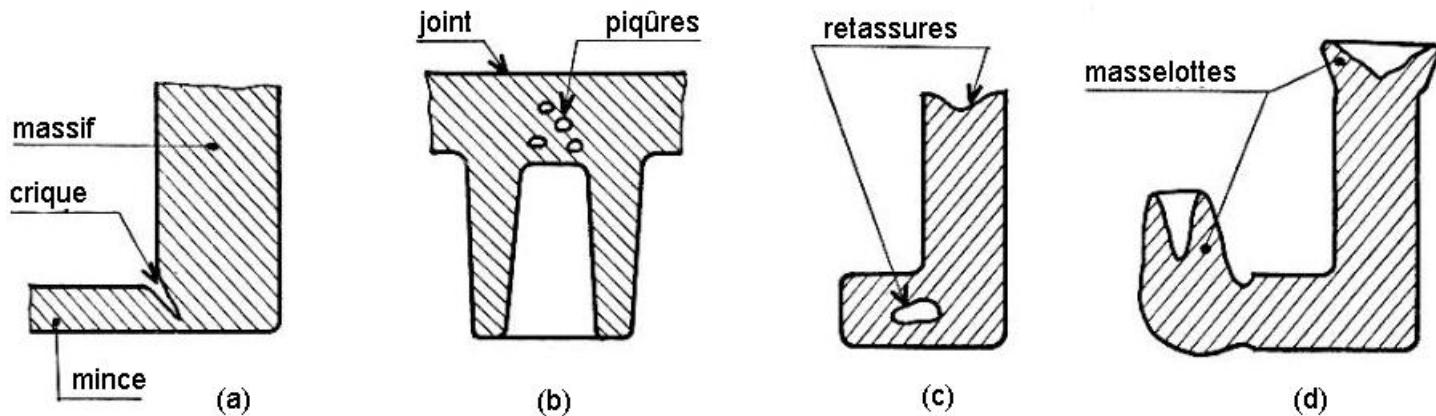
Défauts de fonderie :

Criques :

Ce sont des ruptures ou déchirures du métal qui se produisent pendant le refroidissement de la pièce dans le moule. Ils sont généralement dues à un retrait généré par le sable lors de refroidissement.

Solutions :

- éviter les parties massives à refroidissement lent (points chauds), et par conséquent rechercher une épaisseur aussi constante que possible ;
- augmenter la résistance de la pièce par des nervures.



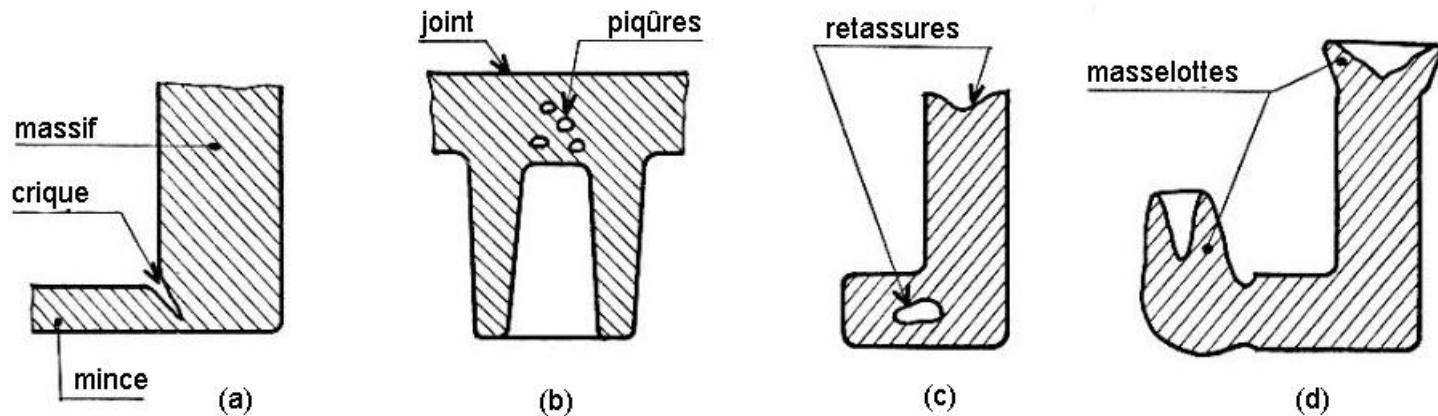
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Défauts de fonderie :

Soufflures ou piqûres :

Ce sont des cavités ou des trous résultants de la présence de bulles de gaz dans l'alliage pendant sa solidification dont l'origine peut être :

- alliage gazé pendant l'élaboration et les manutentions,
- dégagement de vapeur d'eau du sable,
- entraînement d'air à la coulée ou mauvais tirage d'air dans le moule,
- réactions moule – métal.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

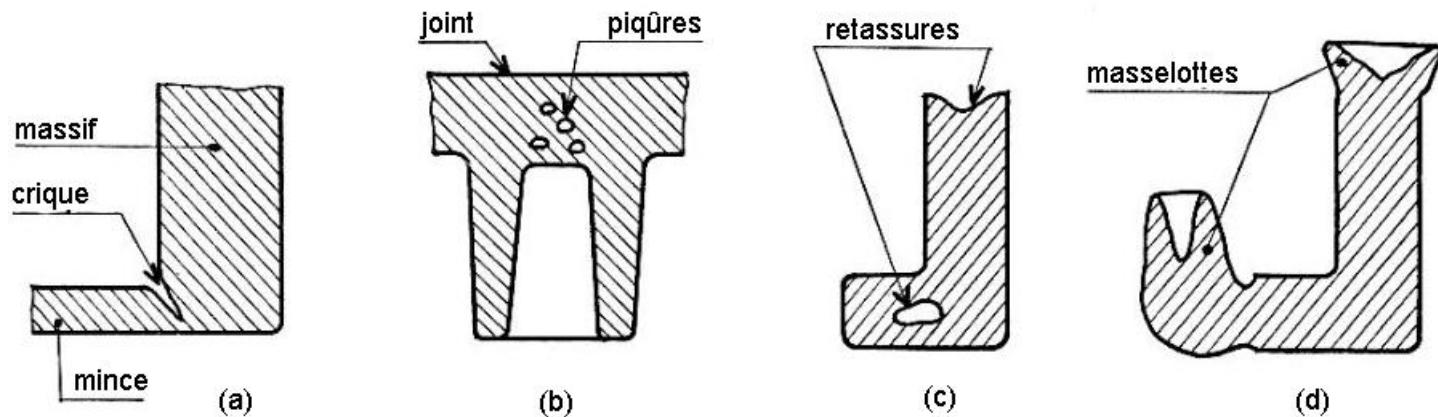
Défauts de fonderie :

Retassures :

Ce sont des défauts qui se manifestent par des creux à la surface de la pièce ou par des cavités à l'intérieur de celle-ci. On les trouve dans les régions de la pièce restées liquides les dernières.

Solutions :

Il faut les alimenter par du métal liquide provenant de masselottes.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Conditions de choix du procédé :

- importance de la série à fabriquer ;
- alliage métallique composant la pièce ;
- précision dimensionnelle générale et particulière ;
- état de surface ;
- caractéristiques mécaniques minimales ;
- taille de la pièce (envergure).
- moyens de production de la fonderie et possibilités d'adaptation à la fabrication demandée ;
- complexité des formes ;
- coût d'entretien de l'outillage ;
- dépenses d'énergie ;
- importance relative de l'ébarbage ;
- qualité de la main d'œuvre.

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Procédés	Remplissage et Alimentation	Type de moule	Série Min imu m	Cadenc e Moy en ne	Durée de vie Moyen ne du moule
En coquille	Par gravité	Métallique, Noyaux en sable possibles	2.000 pièces	15 p/ heure	40.000 pièces
Haute pression	Pression du métal par piston	Entièrement Métallique	20.000 pièces	50 Injec/ h *	70.000 injections
Basse pression	Pression du métal par air comprimé	Métallique, Noyaux en sable possible	5.000 pièces	20 Injec/ h *	40.000 injections
Centrifugation	Force centrifuge	Métallique ou en graphite	Pièce unitaire possible	5 à 10 p/ h	N/A
Continue	Pesanteur	Filière métallique ou en graphite	Grande série nécessaire	350 mm / mn	N/A

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Mise en forme par déformation plastique :

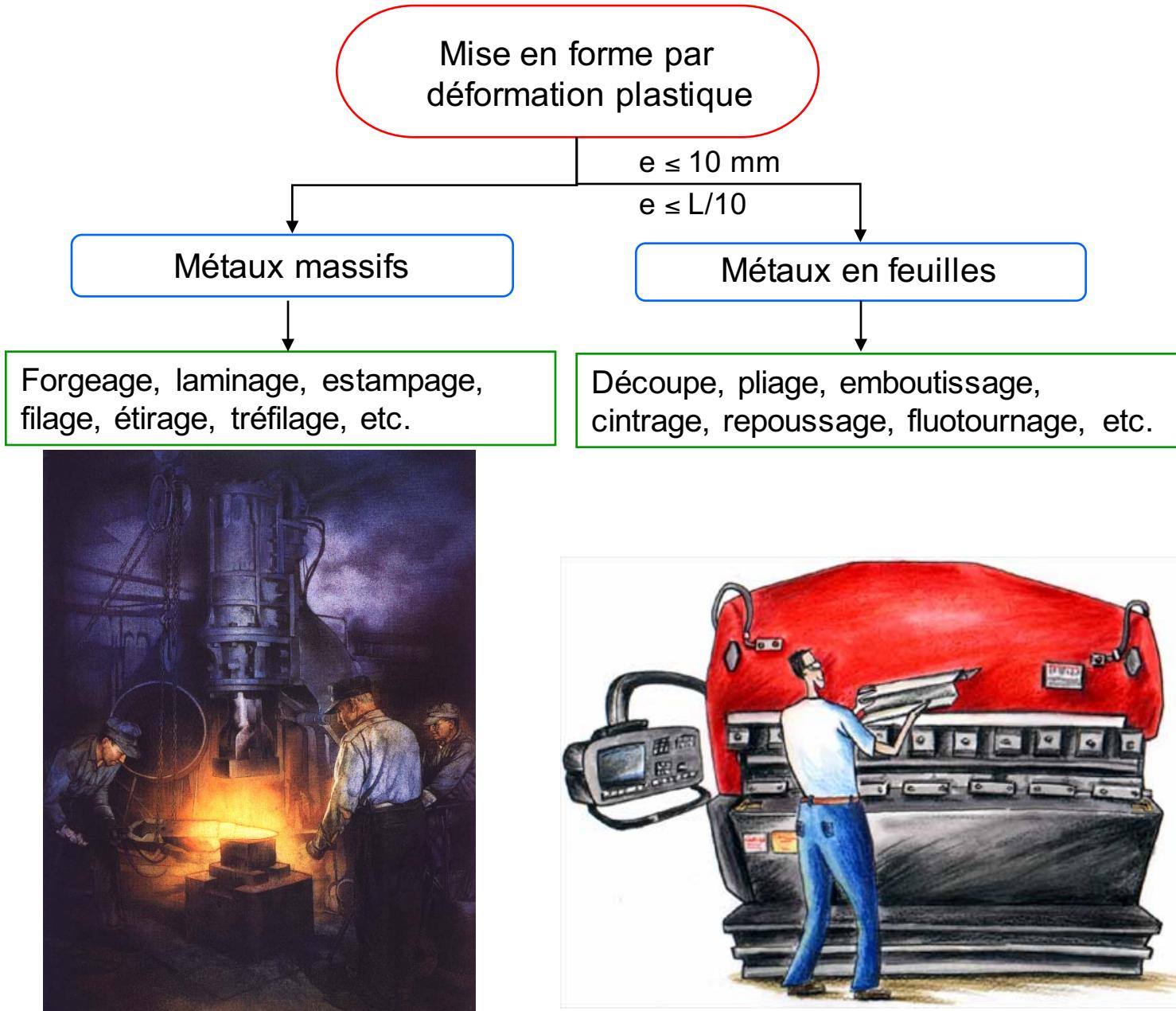
Procédés utilisant l'aptitude du matériau à la **déformation plastique** (encore appelée **ductilité**).

La capacité de déformation est une fonction de :

- **Matériau** (rhéologie)
- **Procédé** (mode d'application des contraintes)
- **Conditions opératoires** (tribologie, température, vitesse)

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels



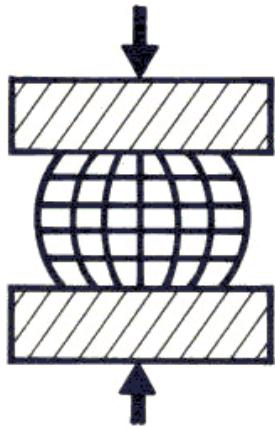
Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Forgeage libre

La matière d'œuvre est comprimée suivant une direction et se déplace librement suivant les deux autres.

Le forgeage libre s'apparente au martelage des forgerons.

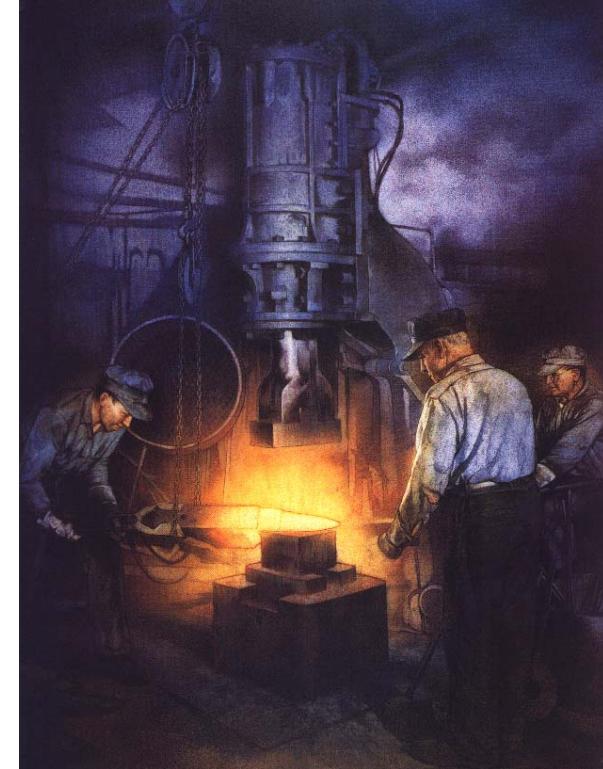


Température de forgeage :

Alliage ferreux	$1\ 100 < T \text{ } ^\circ\text{C} < 1\ 300$
-----------------	---

Alliage d'aluminium	$450 < T \text{ } ^\circ\text{C} < 550$
---------------------	---

Alliages cuivreux	$750 < T \text{ } ^\circ\text{C} < 900$
-------------------	---



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Forgeage libre – Moyens :

Forgeage manuel :

Marteau, tenailles, enclume, ..



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Forgeage libre – Moyens :

Forgeage mécanique :

Engins travaillant par pression ($V \leq 1 \text{ m/s}$) : Presse hydraulique

Engins travaillant par choc ($V \geq 6 \text{ m/s}$) : Marteau-pilon, mouton



Marteau pilon
400t - Vitesse : 4 m/s env.
(DIEUDONNE-MONTBARD)



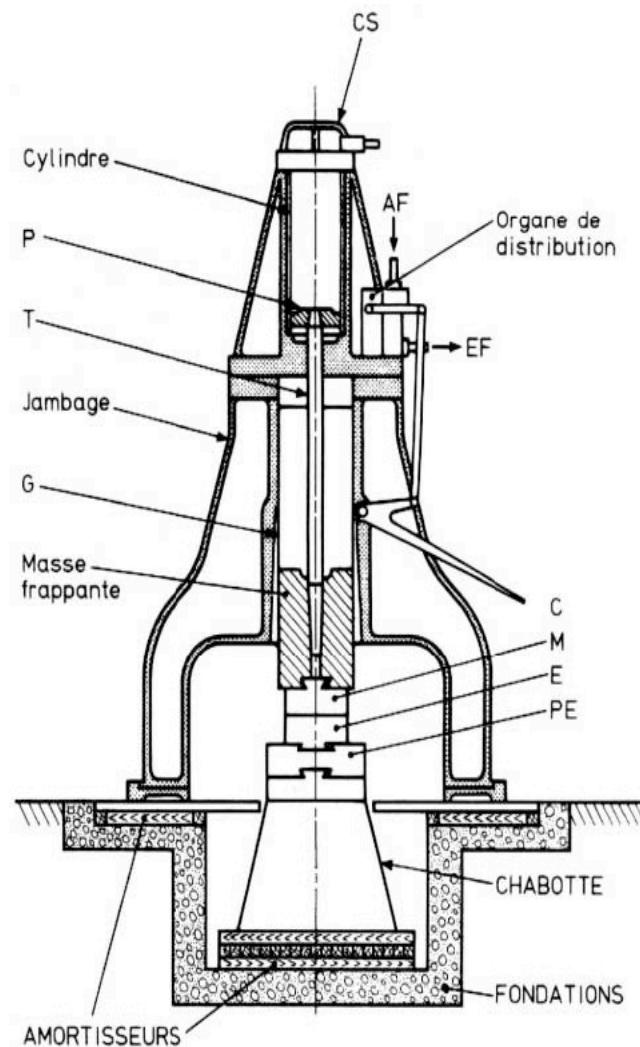
Opération de forgeage sur presse de 4500 tonnes (document AUBERT & DUVAL)

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Forgeage libre – Moyens :

Marteau-pilon :



AF admission du fluide
C contrôle de course du piston et du fluide moteur
CS calotte de sécurité
E enclume
EF éjection du fluide

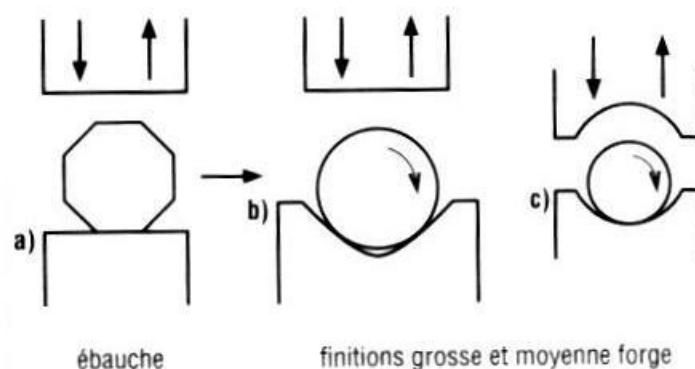
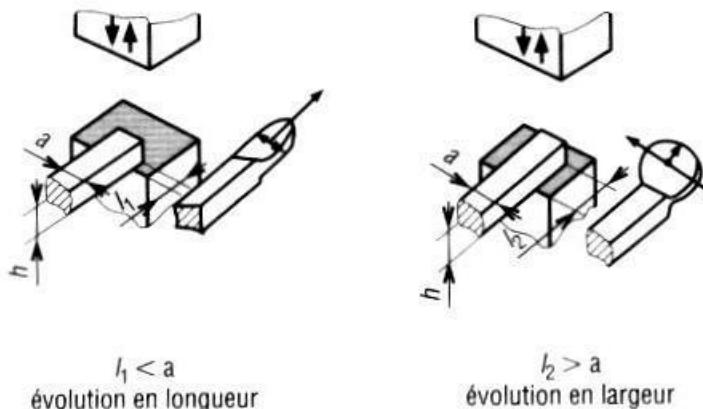
G glissière
M marteau
P piston
PE porte-enclume
T tige

Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Méthodes de forgeage libre :

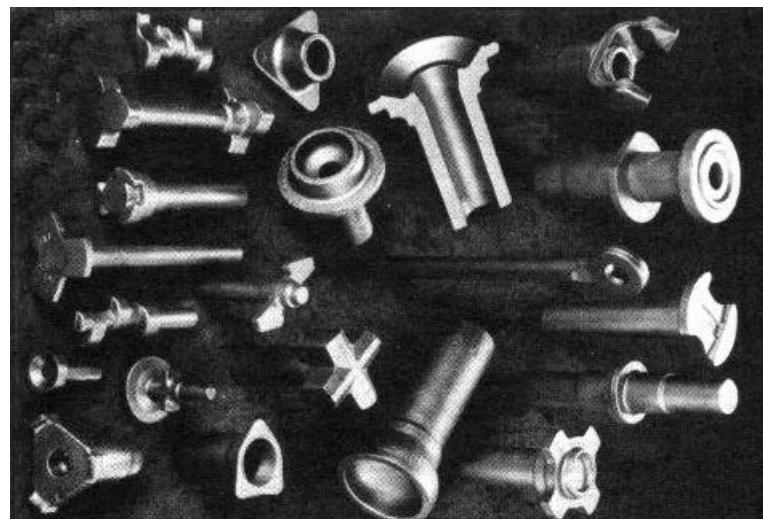
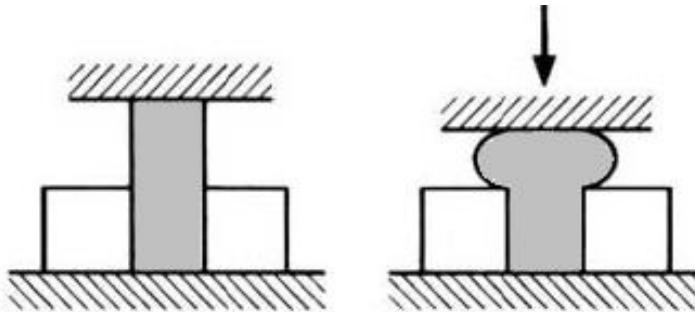
Etirage : Diminution de la section, ce qui provoque l'augmentation de la longueur.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Méthodes de forgeage libre :

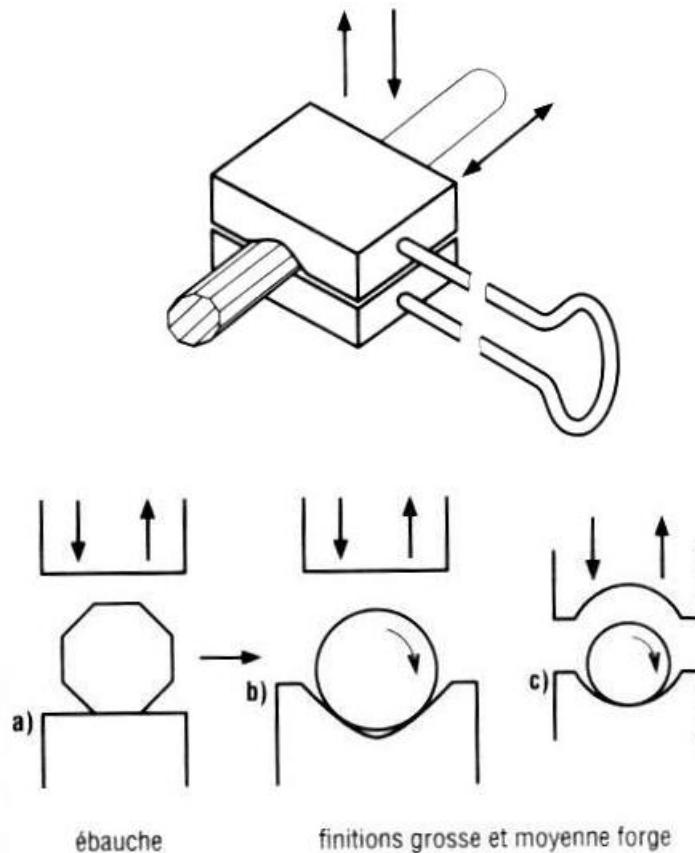
Refoulement : Diminution de la longueur, ce qui provoque l'augmentation de la section.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Méthodes de forgeage libre :

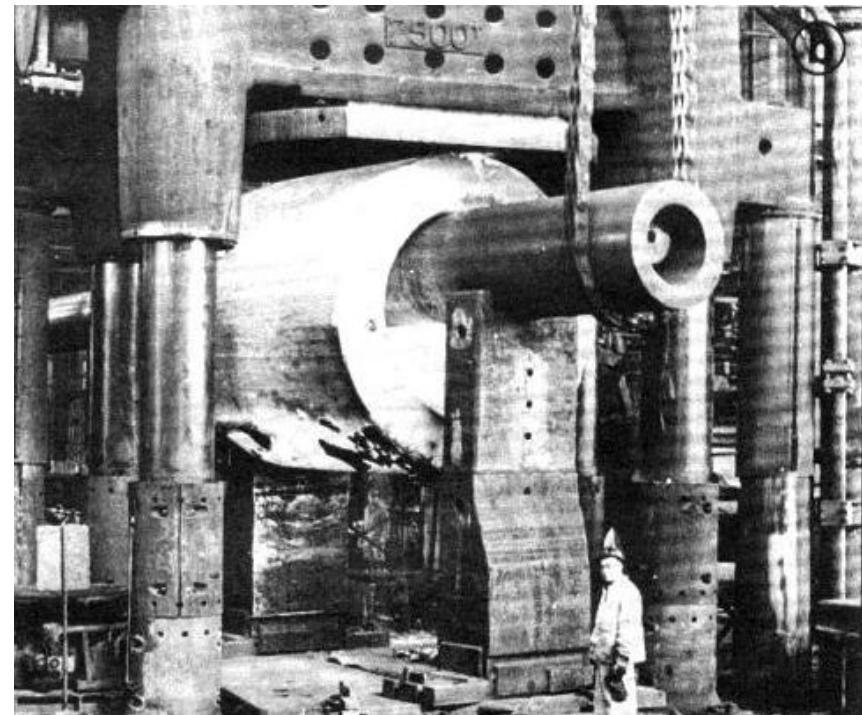
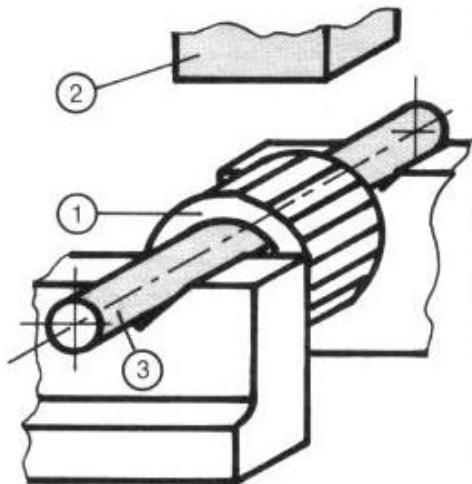
Etampage : Calibrage de la section à l'aide de deux étampes reproduisant chacune la demi-forme de la pièce



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Méthodes de forgeage libre :

Bigornage : Augmentation du diamètre d'une ébauche annulaire, par étirage de la paroi.

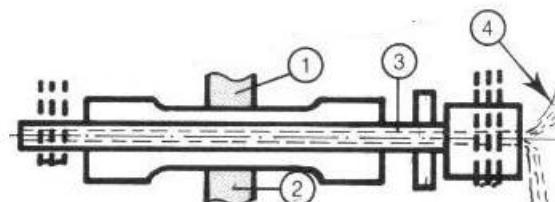
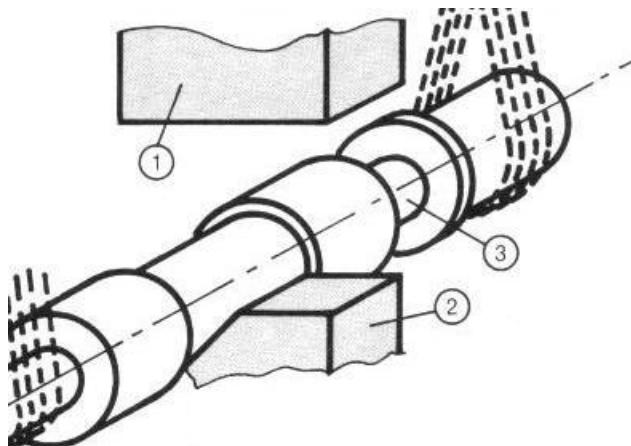


Forgeage d'une virole pour cuve de réacteur nucléaire.
(doc. Creusot-Loire)

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Méthodes de forgeage libre :

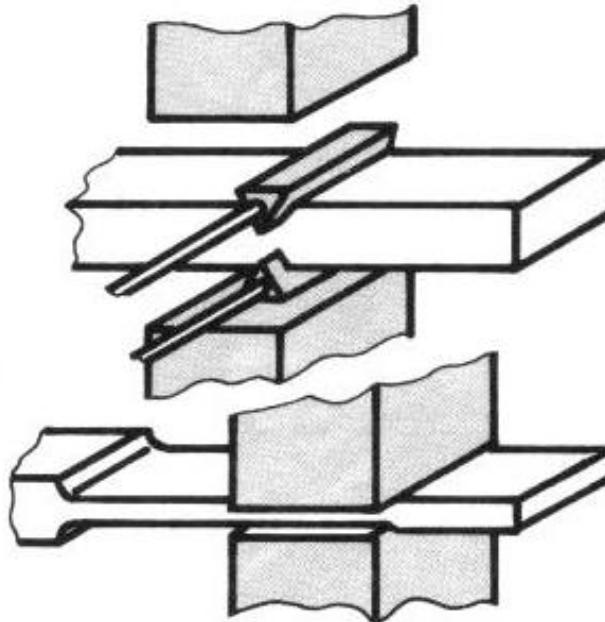
Mandrinage : Diminution du diamètre d'une ébauche annulaire, par rétreinte de la section.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Méthodes de forgeage libre :

Dégorgeage : Diminution locale de l'épaisseur à l'aide d'un outil (dégorgeoir) en forme de coin.
Il s'agit d'une opération préparatoire à l'étirage.

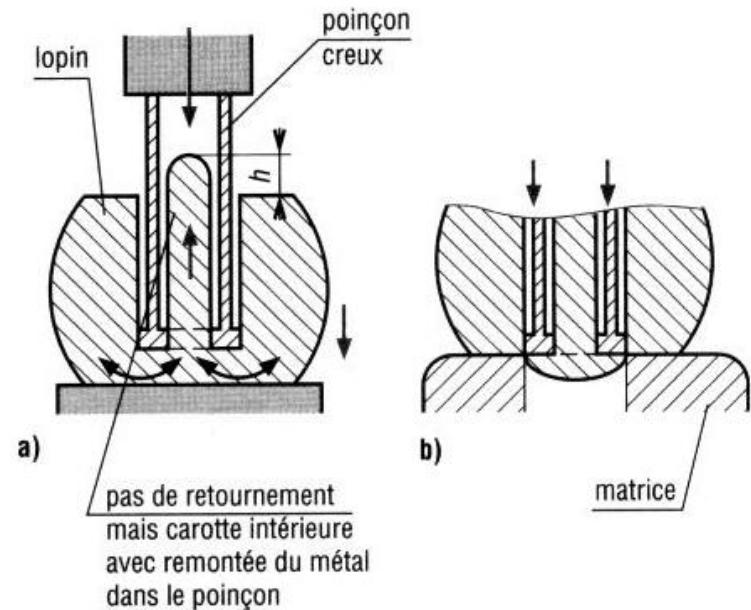
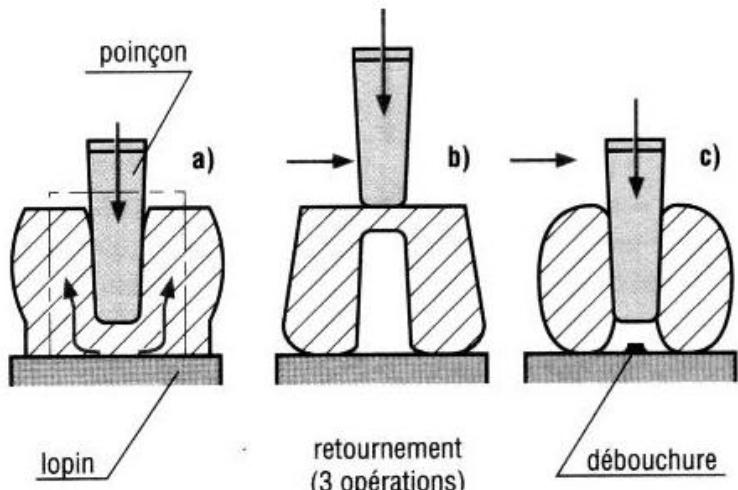


Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Méthodes de forgeage libre :

Poinçonnage, perçage :

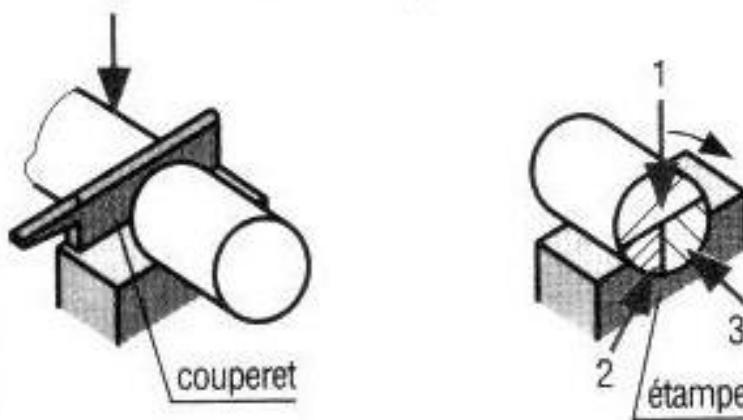


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Méthodes de forgeage libre :

Tranchage (mise à longueur):

Découper avec une lame.

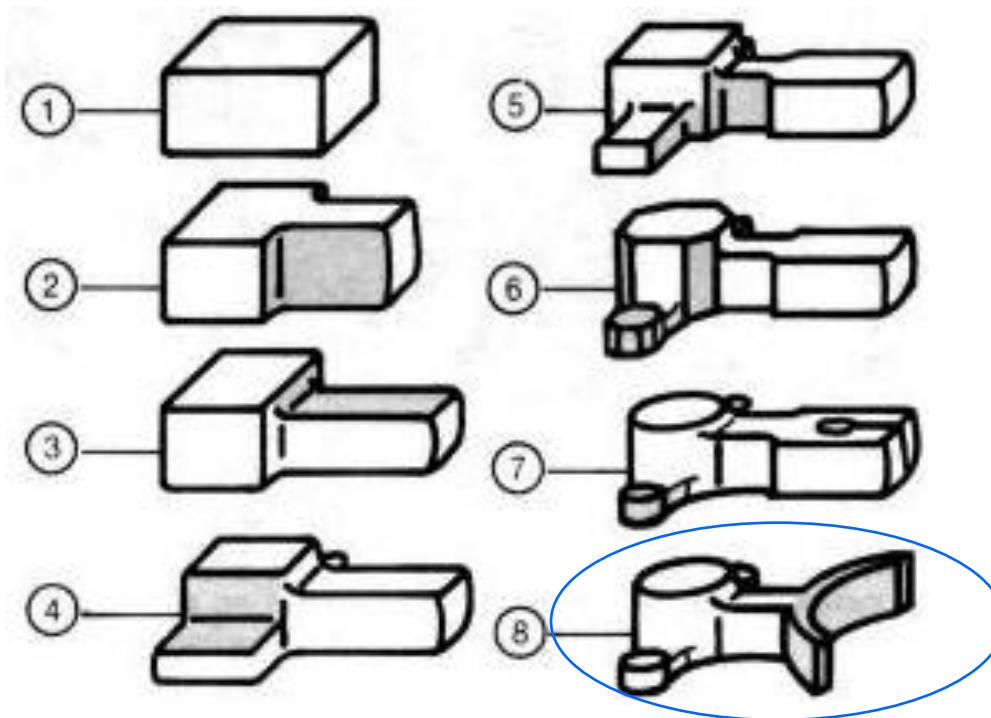


coupe en trois reprises avec rotation 1/3 tour
entre chaque pénétration

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Méthodes de forgeage libre :

Gamme de forgeage libre :



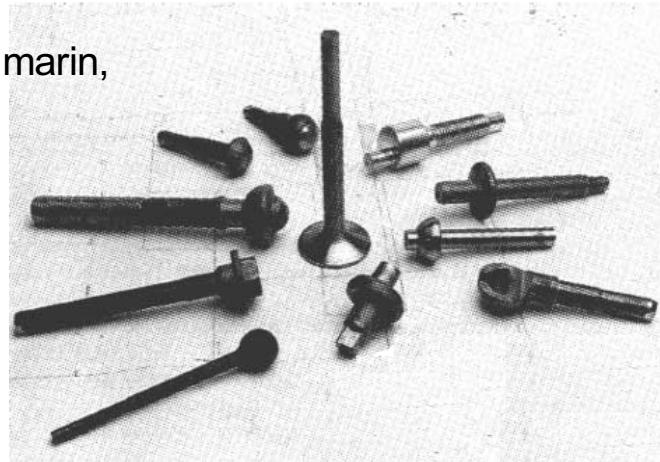
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Forgeage libre

Applications :

Arbres de machines de grandes dimensions à partir d'un lingot coulé :

- arbre de turbine à vapeur de 300 tonnes,
- arbre d'alternateur,
- arbres pour la marine,
- vilebrequin de gros moteur diesel marin,
- etc.

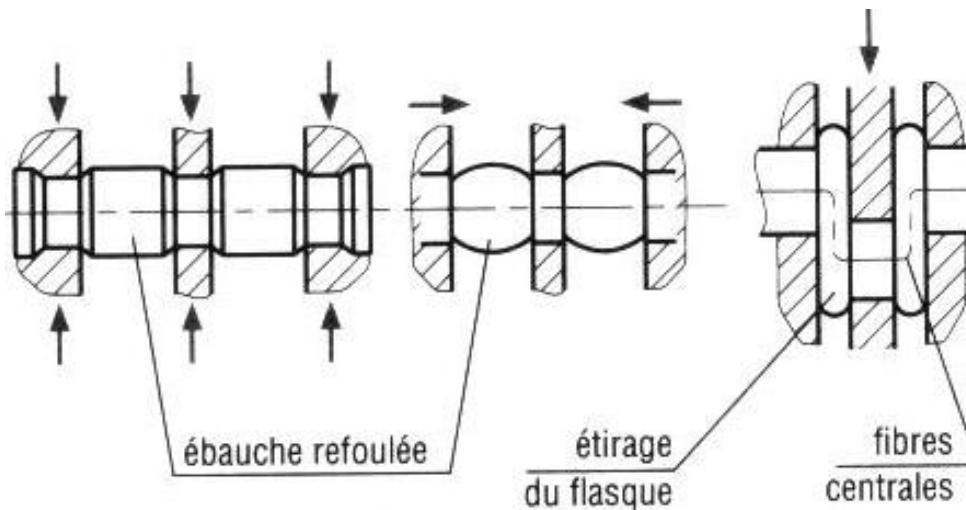


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Forgeage libre

Applications :

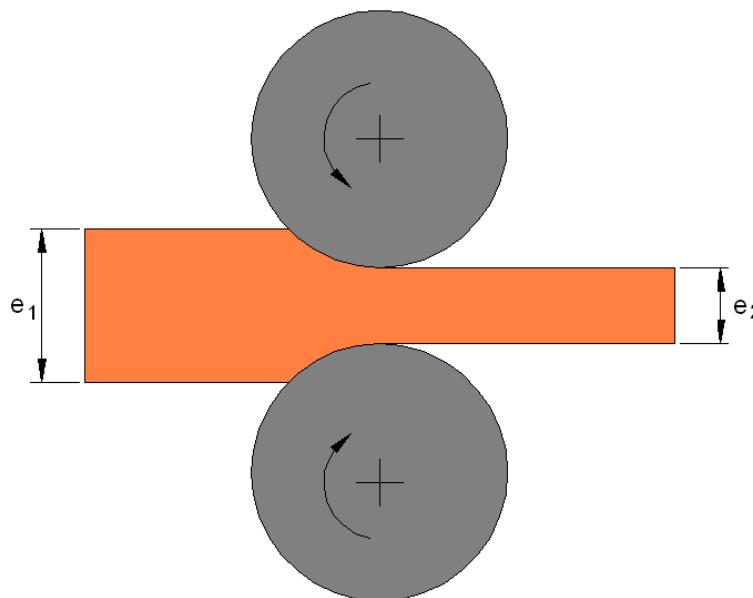
Fabrication d'un vilebrequin d'un gros moteur diesel marin



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Laminage conventionnel

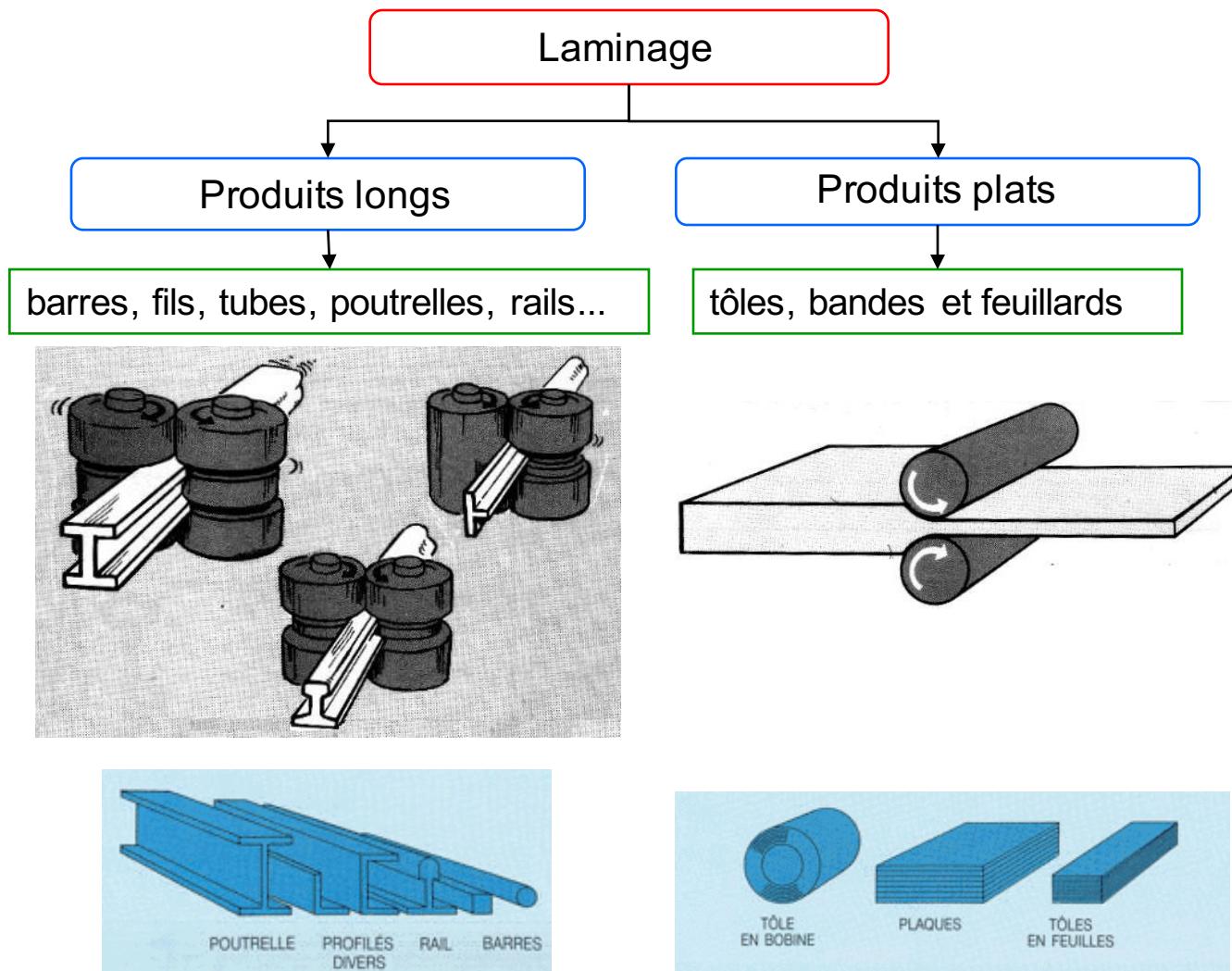
Opération de mise en forme par déformation plastique, destinée à réduire la section d'un produit de grande longueur, par passage entre deux ou plusieurs outils axisymétriques tournant autour de leur axe ; c'est la rotation des outils qui entraîne le produit dans l'emprise par l'intermédiaire du frottement.



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

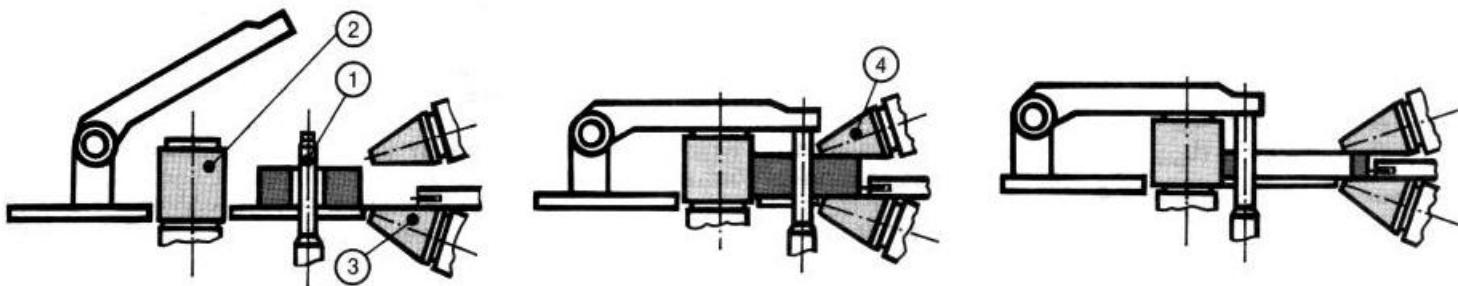
Laminage conventionnel



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Laminage circulaire

Transformation d'une ébauche annulaire de faible diamètre (obtenue à la presse) en une forme annulaire de grand diamètre dont la section axiale peut présenter un profil complexe.

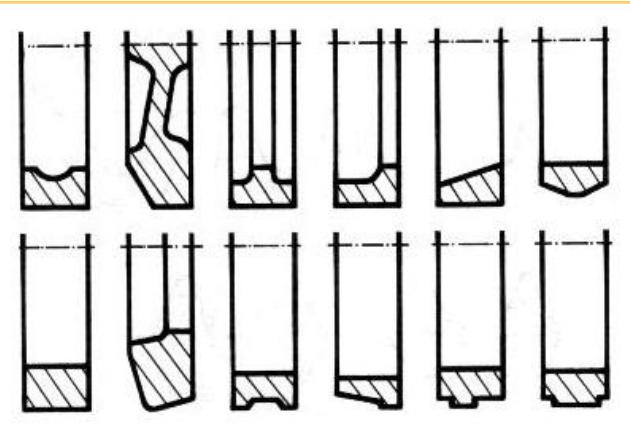


- a) Laminoir avec un mandrin.** L'ébauche est laminée entre le cylindre (2) et le mandrin (1). Deux galets tronconiques (3) et (4) maintiennent une hauteur constante. ●
b) Laminoir avec quatre mandrins. Au poste (1), introduction

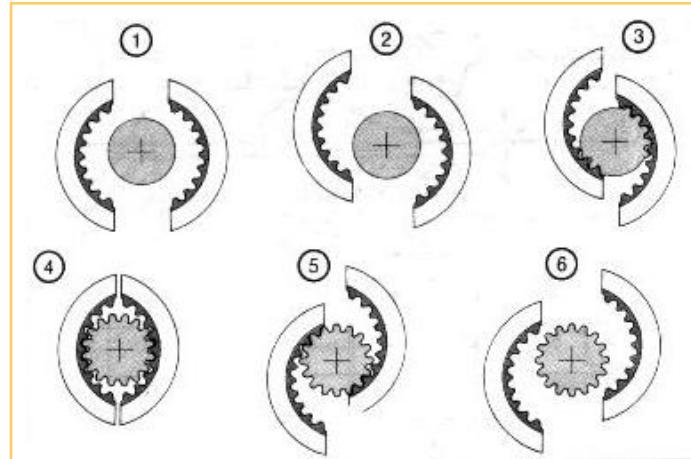
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Laminage circulaire

Permet de réaliser des produits de forme annulaire de section axiale présentant un profil complexe.



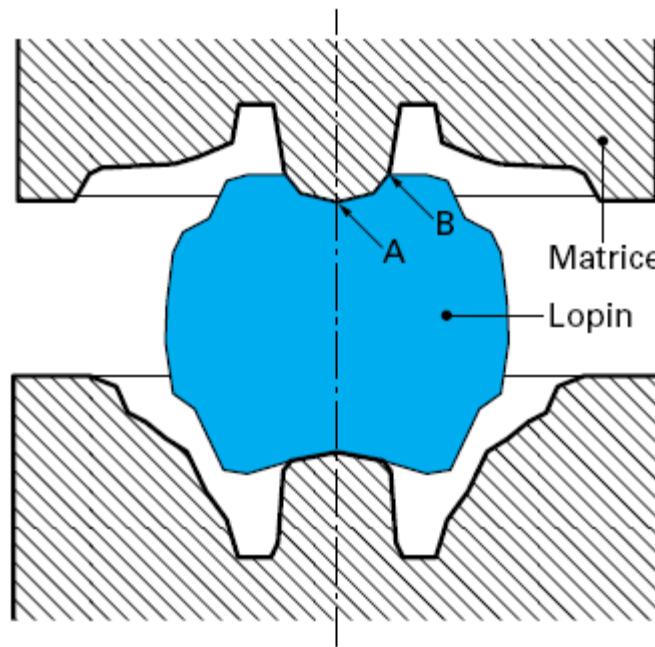
Laminage de denture : Les outils ont la forme de segments à denture intérieures.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Estampage

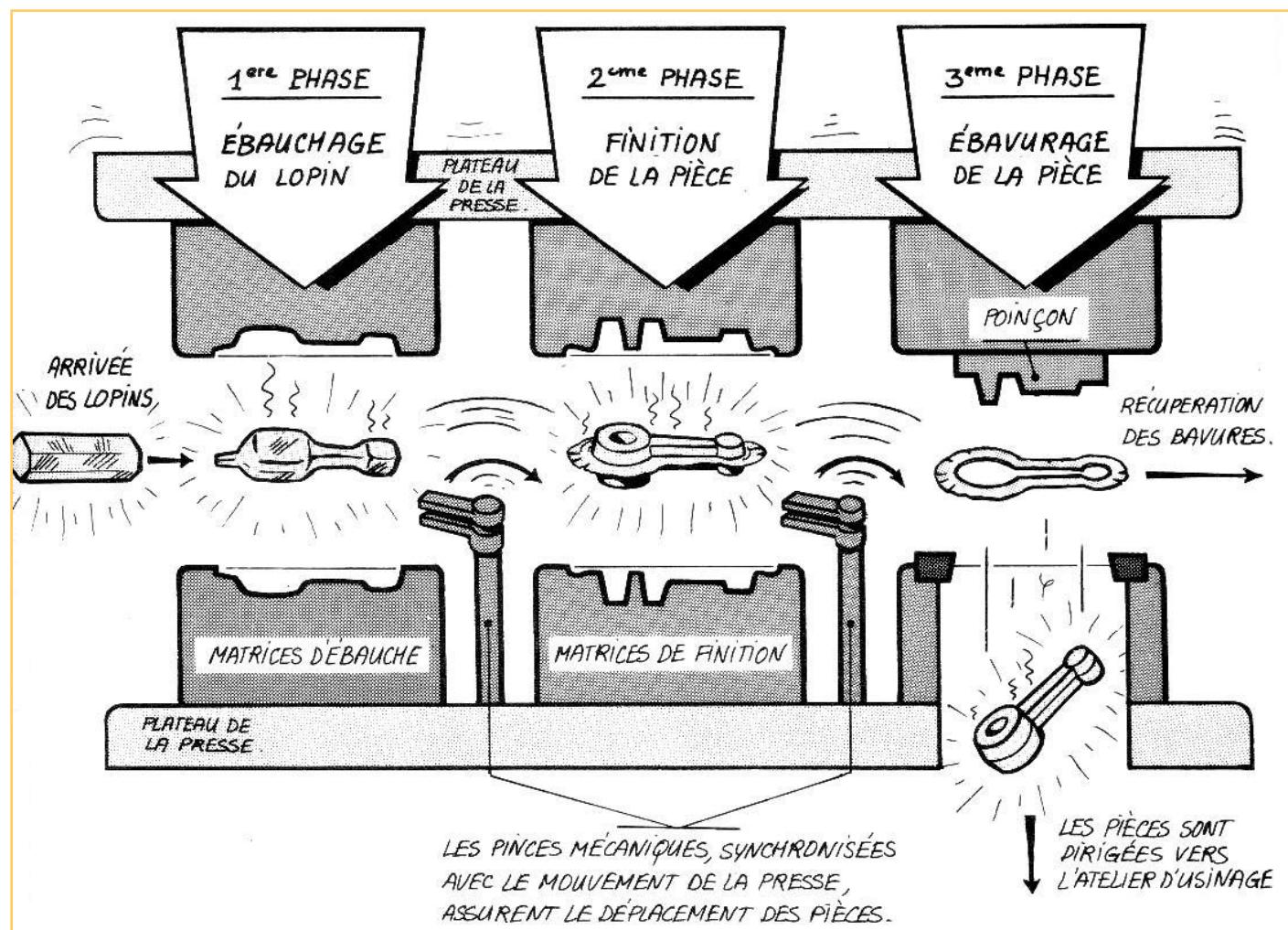
Le lopin, préalablement chauffé, est comprimé entre deux blocs (cas le plus fréquent) comportant des gravures (matrices).



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

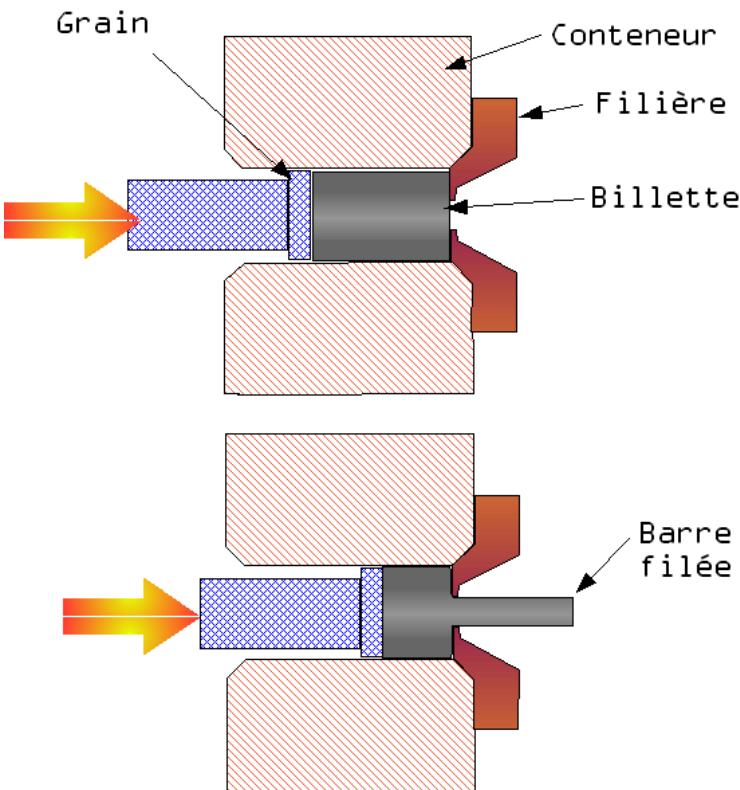
Estampage



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Filage:

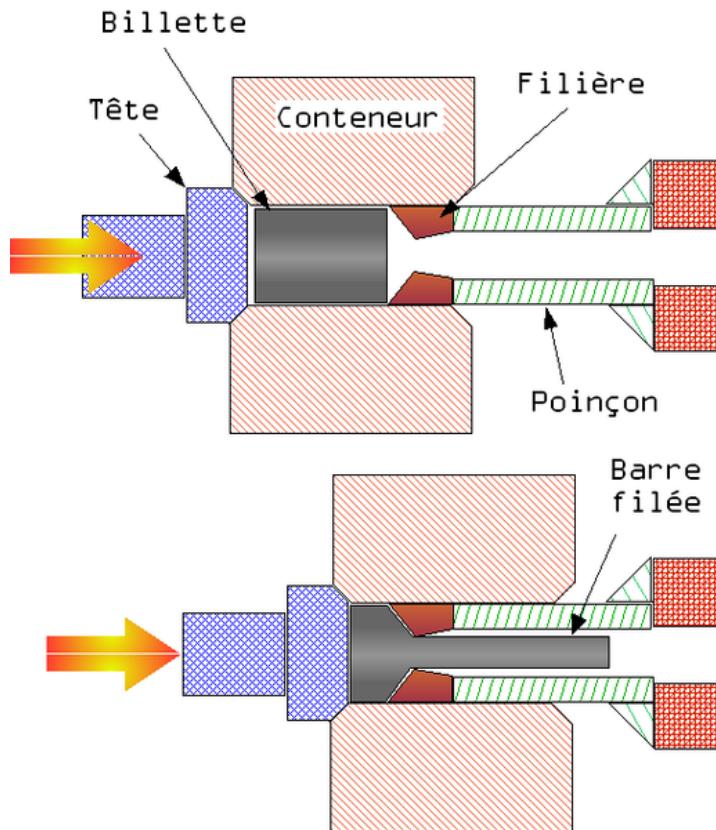
Au moyen d'une compression ou d'un choc, le lopin est passé dans une filière qui lui donne sa forme.



Le filage directe

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Filage:



Le filage inverse

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Filage:

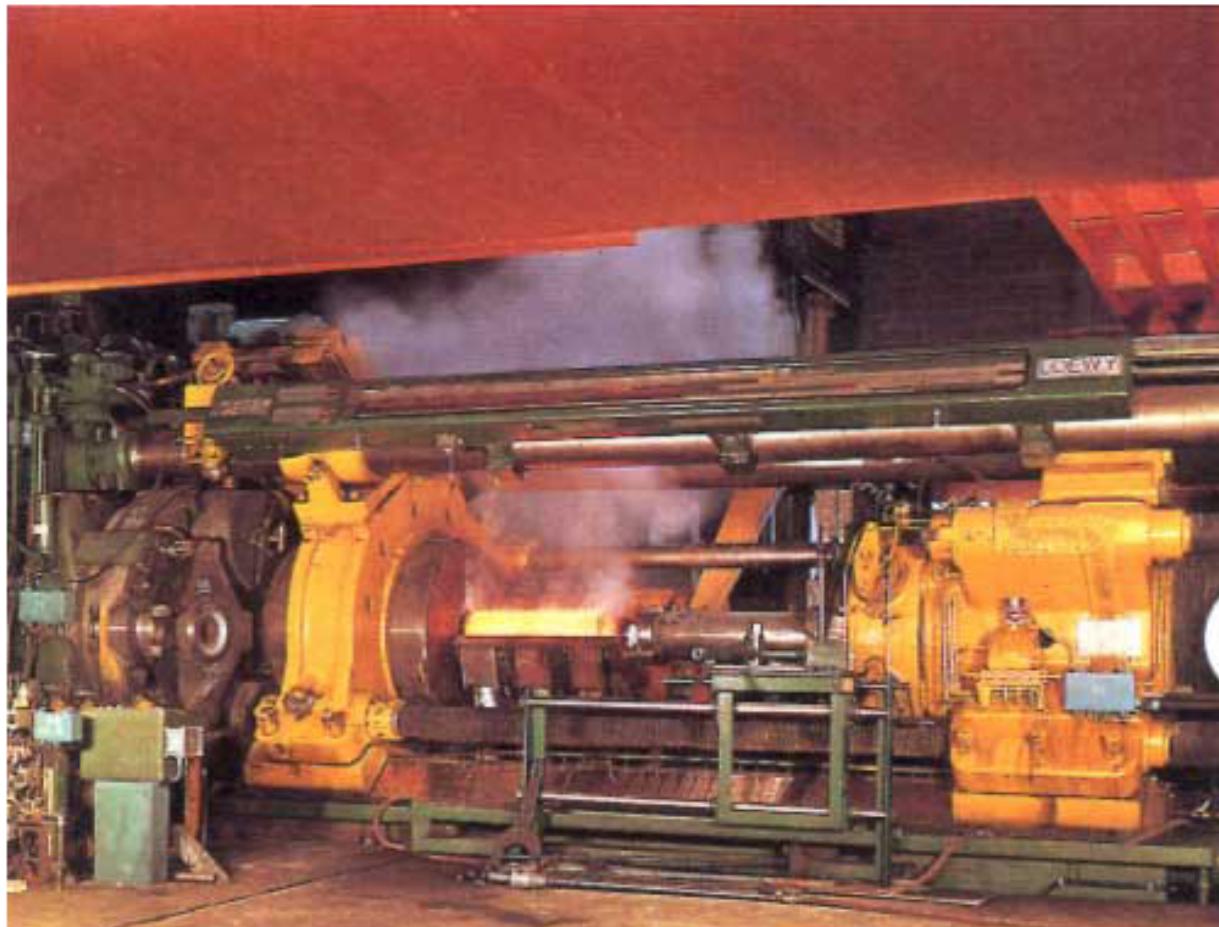
Le filage s'effectue à froid pour les métaux les plus malléables (Al par exemple) à chaud pour les autres.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Filage:

Presses de filage



Arrangement général d'une presse à filer de 34,5 MN de force maximale (document Montbard Inox)

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Filage:

Presses de filage

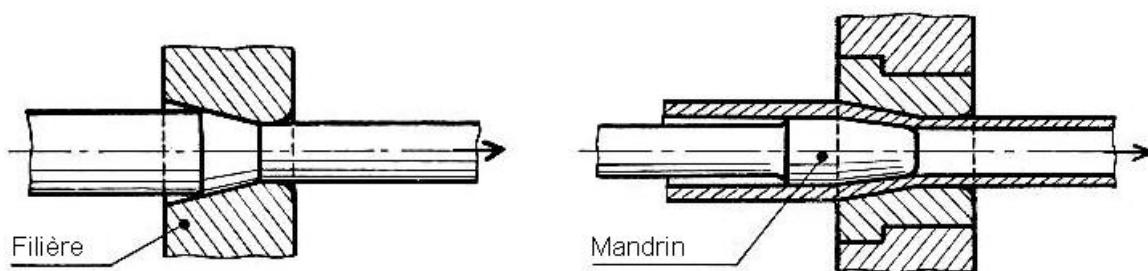


Presse à filer de 34,5 MN : introduction d'une billette dans le conteneur (document Montbard Inox)

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Etirage :

L'ébauche est soumise à une traction longitudinale et passe à travers une filière qui provoque une réduction de la section.



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

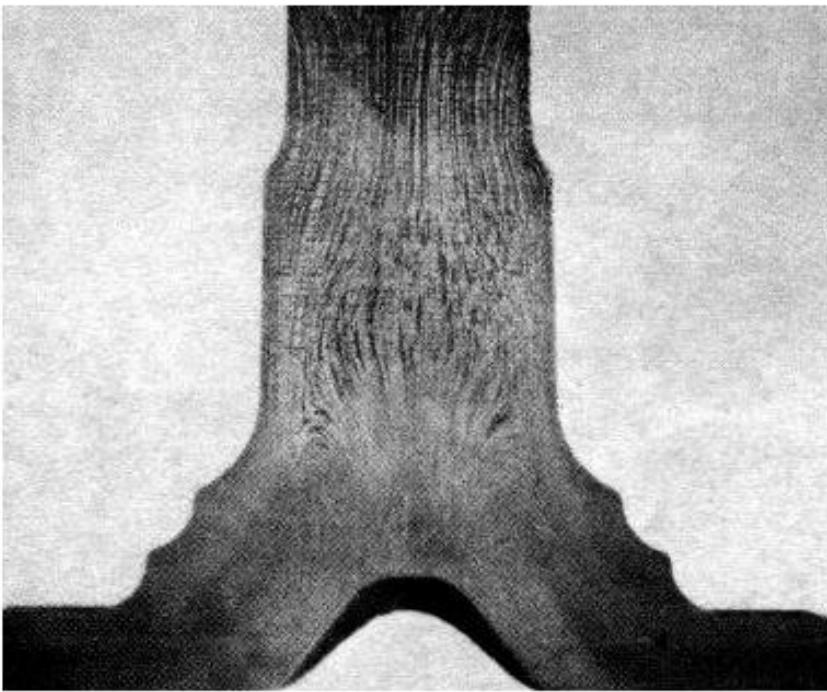
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Etirage :



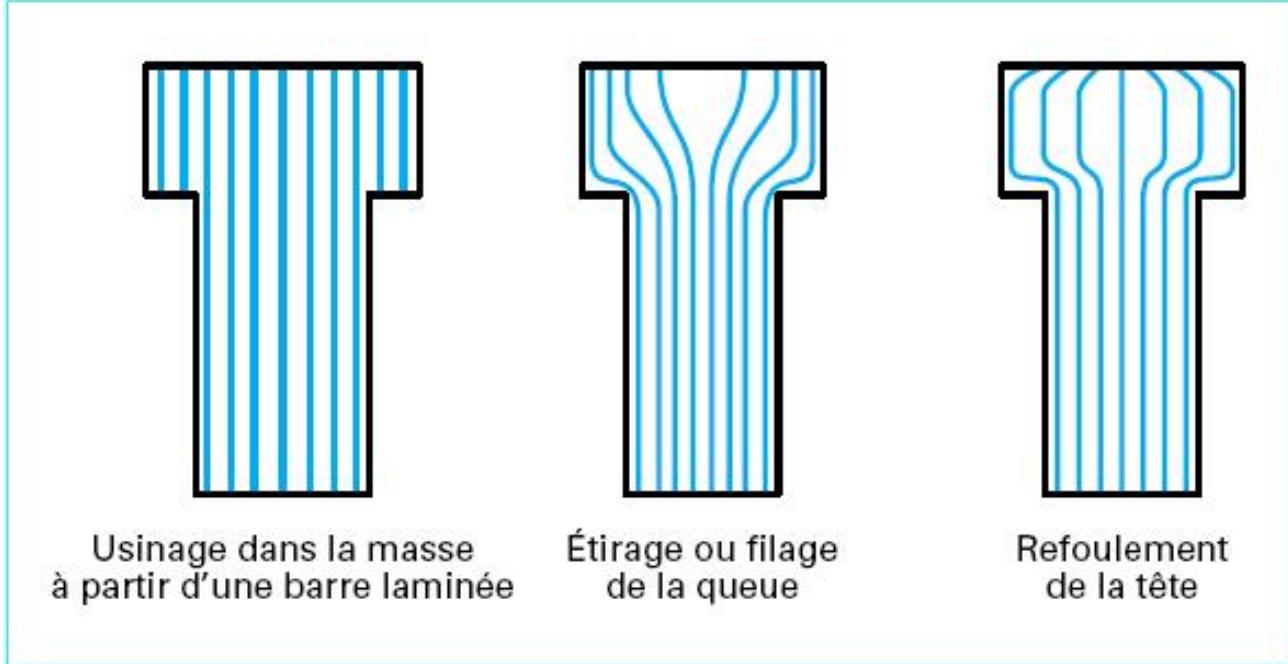
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Corroyage



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

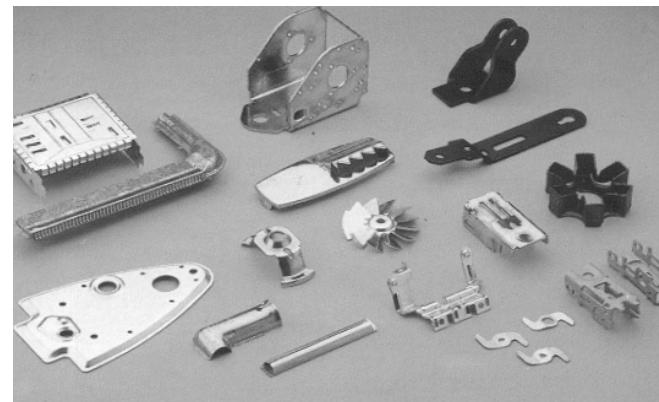
Corroyage



**Sens du corroyage sur 3 boulons fabriqués
selon 3 méthodes différentes**

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

- La découpe
- Pliage
- Profilage à froid sur machines à galets
- Cintrage
- Emboutissage
- Repoussage
- Fluotournage

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

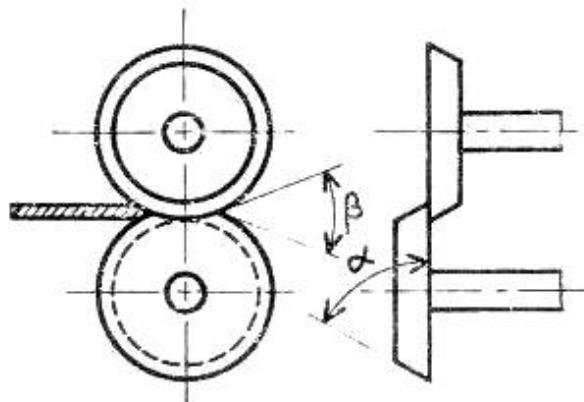
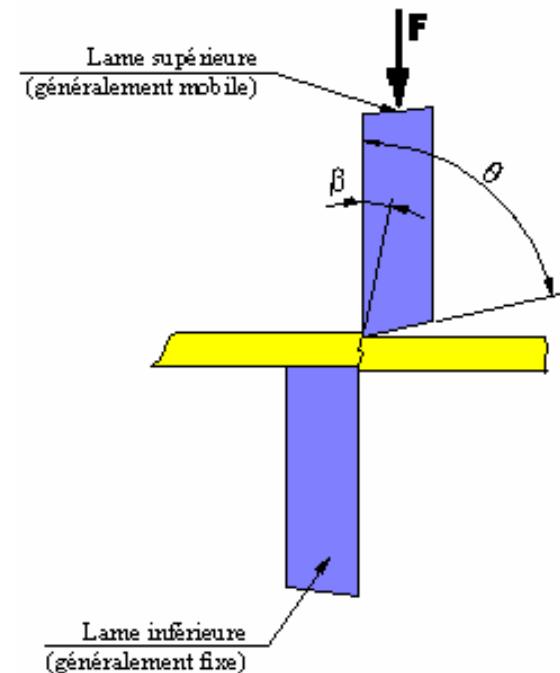
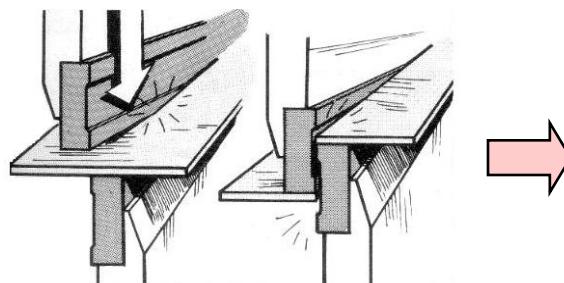
- ➔ Cisaillage
- ➔ Poinçonnage - découpage
- ➔ Sciage - tronçonnage
- ➔ Découpe au jet d'eau
- ➔ Oxycoupage
- ➔ Découpe au plasma
- ➔ Découpe au laser
- ➔ Découpage par électro-érosion

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→ Cisaillage

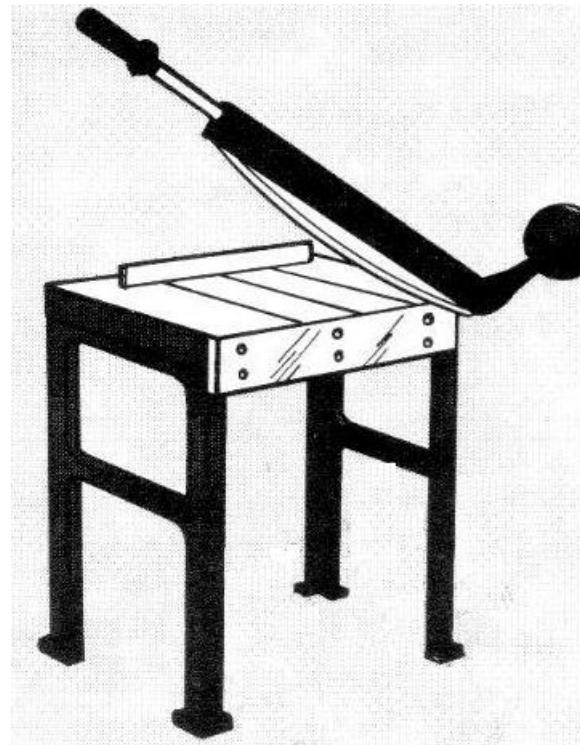


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→ Cisaillage



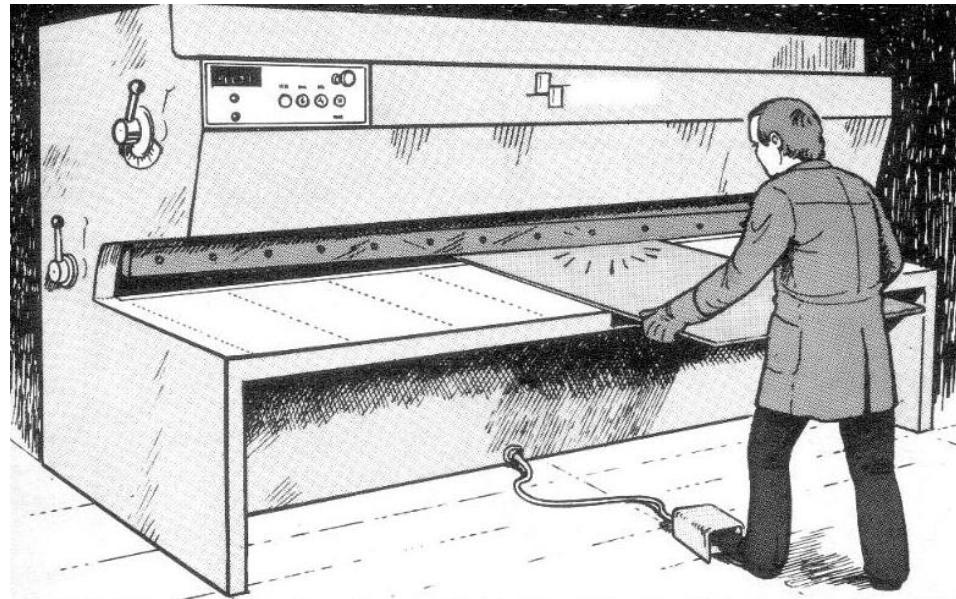
Cisaille à levier

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→ Cisaillage



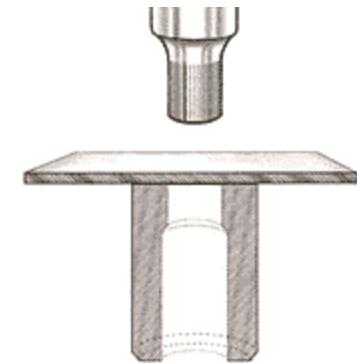
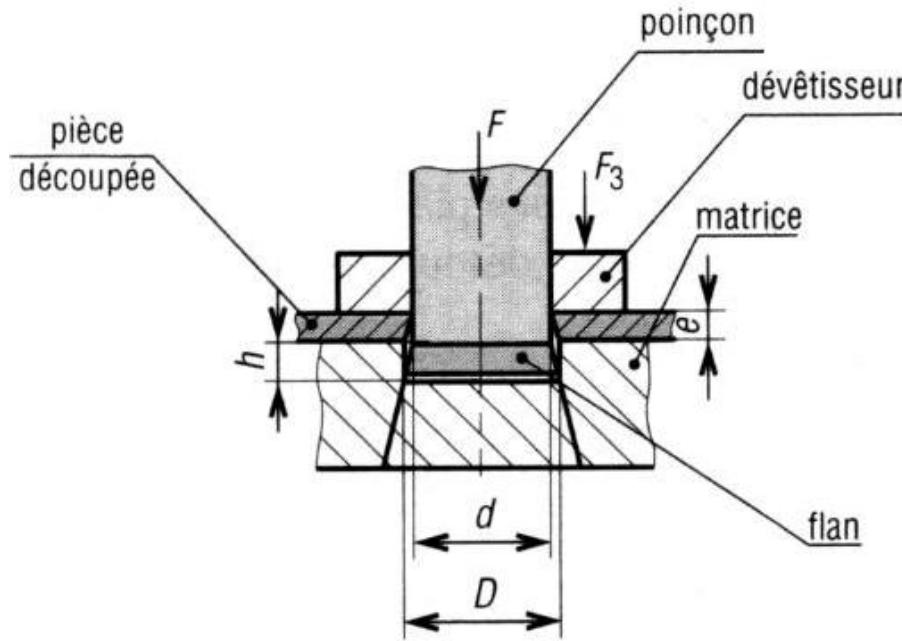
Cisaille à guillotine

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→ Poinçonnage - découpage

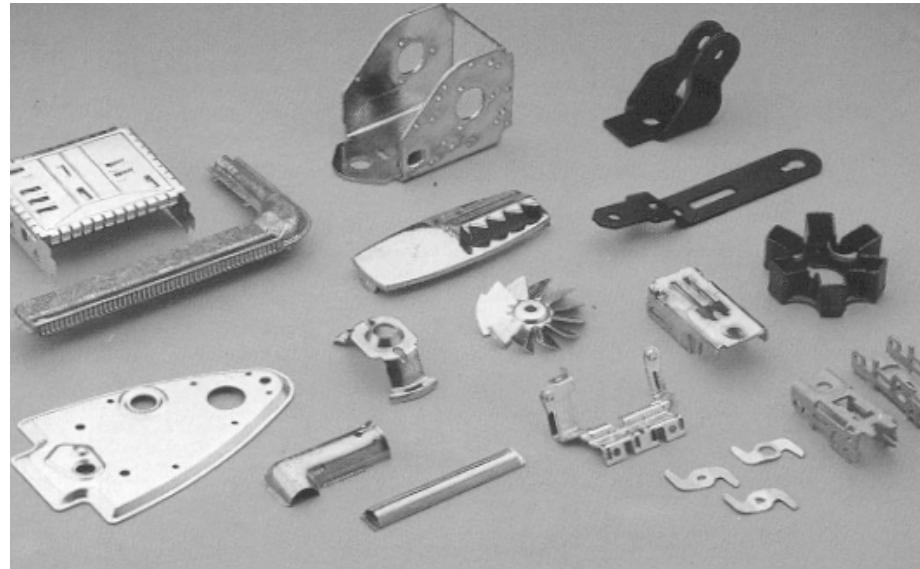


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→ Poinçonnage - découpage



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→ Sciage - tronçonnage



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

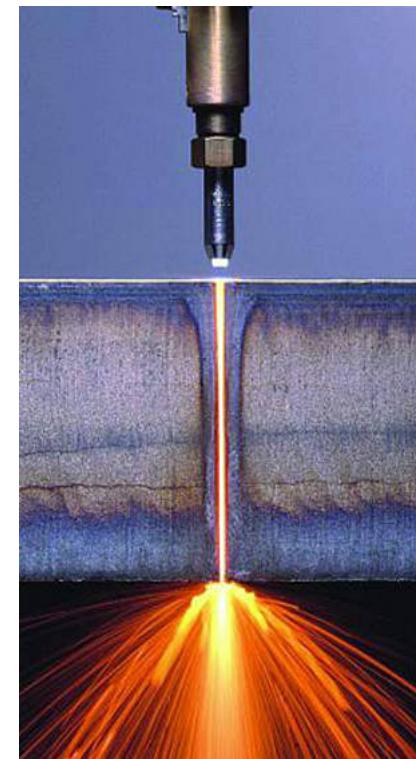
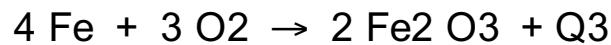
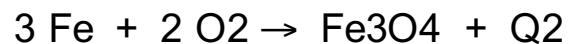
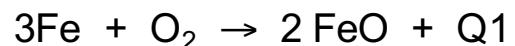
■ La découpe

→Oxycoupage

Consiste à sectionner un métal par l'action d'un jet d'oxygène cylindrique agissant sur une zone localisée de ce métal porté à la température d'amorçage de la combustion vive.

Ce procédé convient particulièrement à la coupe des aciers.

Les réactions de base sont dans ce cas :

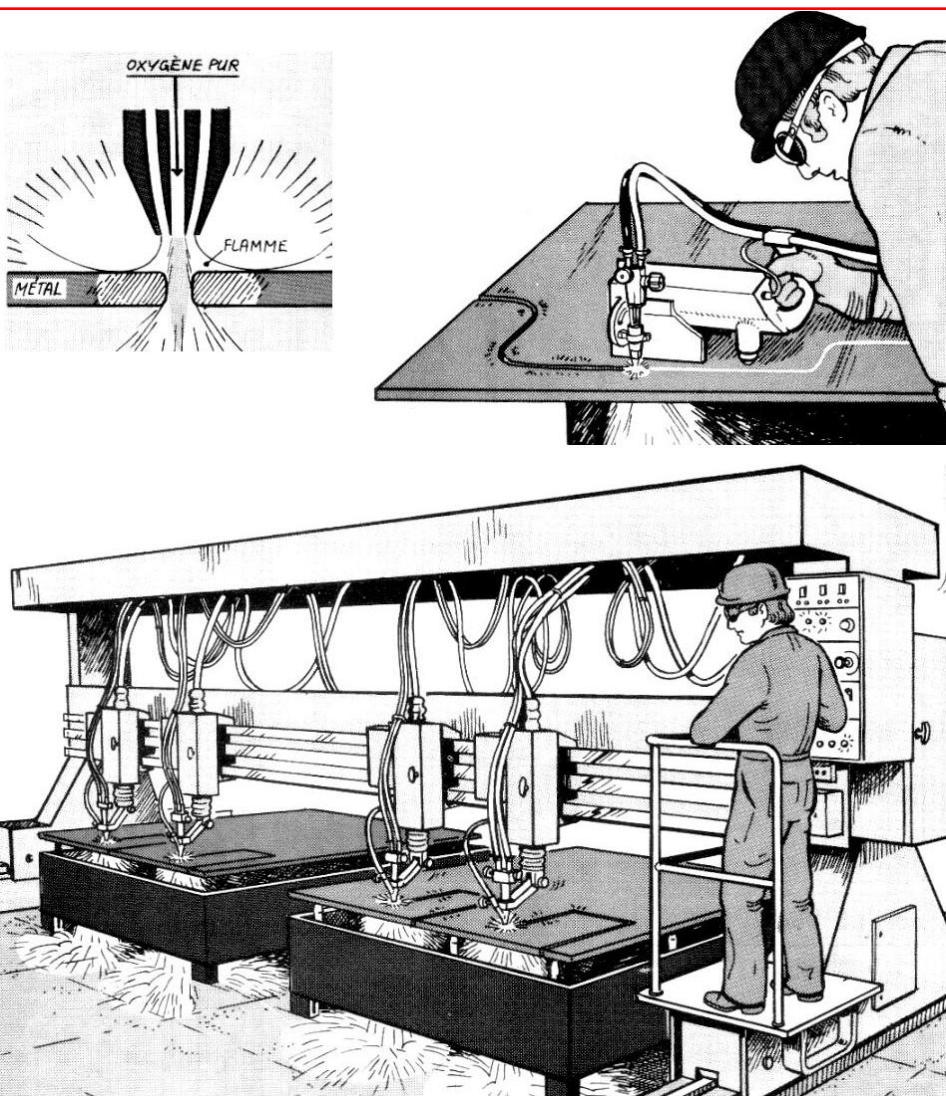
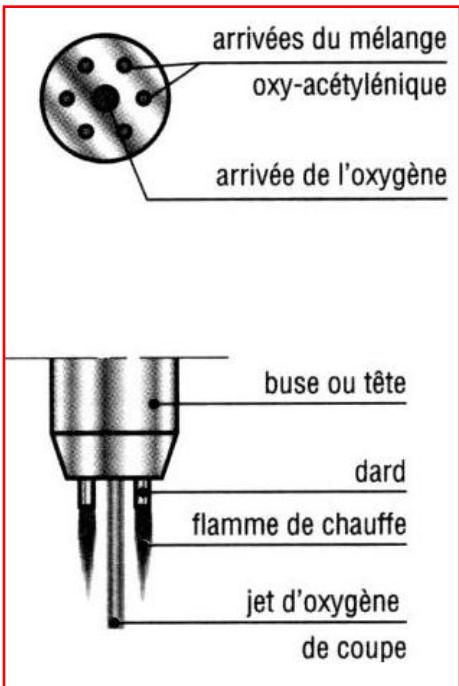


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→ Oxycoupage



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→Oxycoupage

- Grande vitesse
- Coût peu élevé des équipements
- Epaisseur à environ 350mm

- Précision faible
- Zone affectée par la chaleur
- La largeur de la saignée de coupe est de l'ordre de 1,5 à 10 mm



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→ Découpe au laser

LASER : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation

Un système de découpe laser utilise un faisceau laser focalisé dans une tête de coupe. Le faisceau lumineux est absorbé par le métal et transformé en chaleur.

La température atteinte provoque la fusion, voire la vaporisation du métal fondu.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→ Découpe au laser

- Bonne précision
- Formes complexes réalisables
- Grande vitesse de coupe
- Grande variété de matériaux y compris non métalliques
- Faible largeur de saignée (ex. 0,3 mm pour une tôle d'acier de 2 mm d'épaisseur)
- Absence de déformation thermique ou mécanique
- Pas d'usure d'outils et d'outillages

- Investissement important



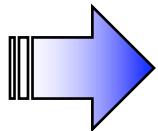
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→ Découpe au jet d'eau

utilise un jet d'eau (chargée d'abrasifs) concentré, mince (0,08 à 0,5 mm) et extrêmement puissant (2000 à 5000 bars) propulsé à très grande vitesse (2 à 3 fois la vitesse du son)



Un pouvoir d'érosion très important.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ La découpe

→ Découpe au jet d'eau

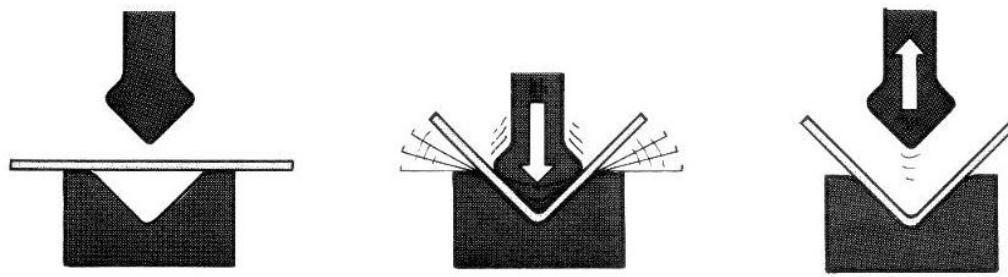
- Pas de zone affectée par la chaleur
- Coupe tous matériaux y compris verre, caoutchouc, etc.

- Faible vitesse
- Nécessite de très hautes pressions
- Bruit (80 à 130 dB)
- Moins bonne précision
- Problème de recyclage des boues et d'évacuation des eaux usées

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

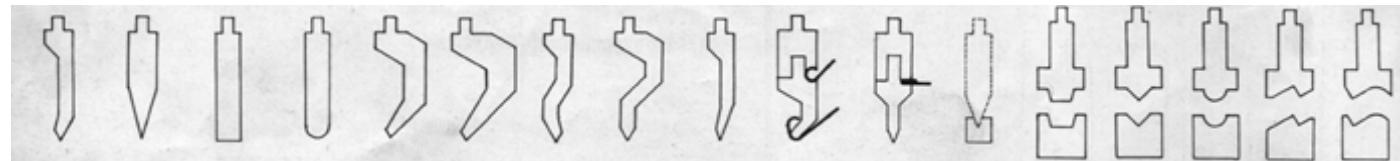
■ Pliage



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ Pliage



R	1.7	2	2.5	3.2	4	5	5.6	6.5	8	10	11.3	13	15	17	19	22	30	33
H	7	9	11	14	17	20	25	28	35	42	50	55	62	70	80	90	125	140
L	10	13	16	20	24	30	35	40	50	60	70	80	90	100	115	135	170	200
	1	7	6	4														
	1.5	15	13	9	8													
	2		22	17	13	12												
	2.5			26	21	17	14	12										
	3				30	24	20	17	15									
	4					33	30	27	21									
	5						48	42	33	28	24							
S	6							60	50	40	34	32						
	7								63	54	45	41	37	33				
	8									70	60	54	48	43	36			
	9										75	65	58	54	46	42		
	10											84	73	66	58	53	44	
	12												100	90	76	61	52	
	15													125	116	90	80	

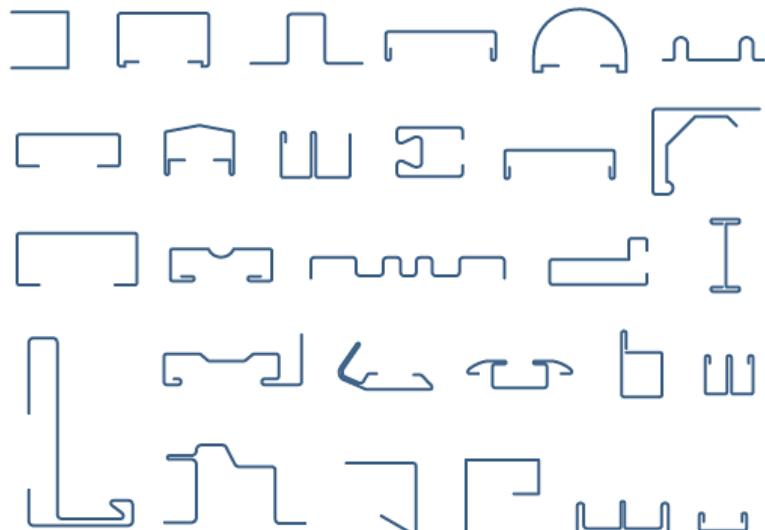
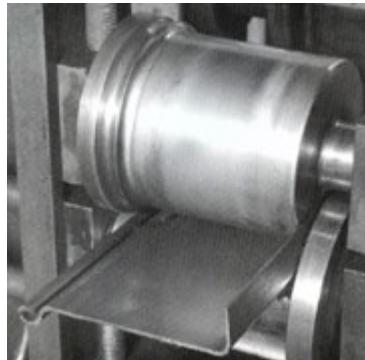
F 10 KN/m (tonn/m) R=40 daN/mm² (Kg/mm²)
 r : rayon intérieur.

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ Profilage à froid sur machines à galets

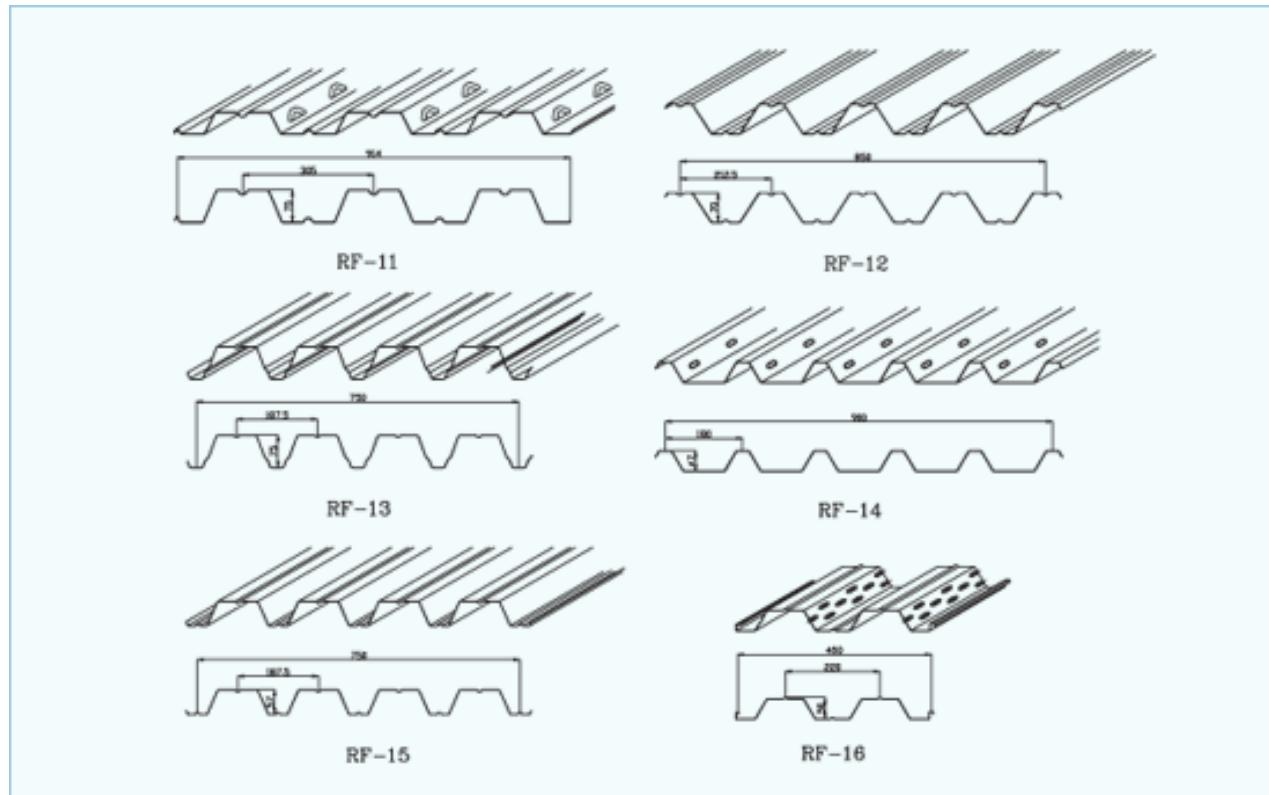
Le profilage à froid sur machines à galets consiste à déformer progressivement, sans réduction d'épaisseur, une bande plane (feuillard) entre des galets de formes complémentaires à axes généralement horizontaux.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ Profilage à froid sur machines à galets



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ Profilage à froid sur machines à galets

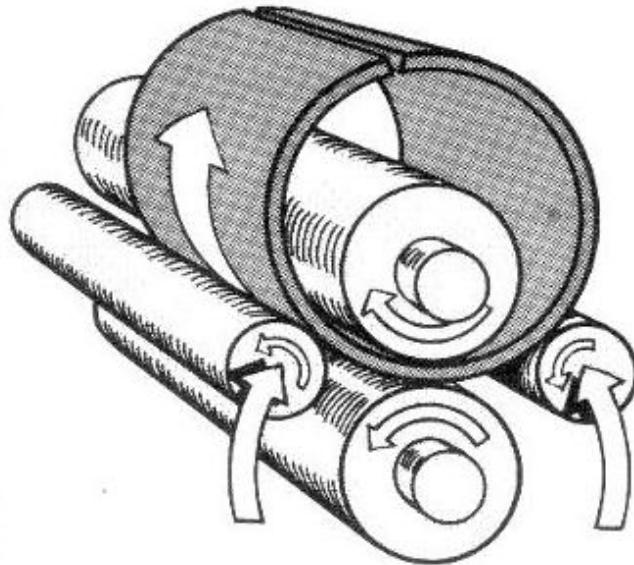


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ Cintrage - roulage

Le cintrage est une opération qui consiste à réaliser, à partir d'une tôle plane et sur une machine à rouler, des pièces à surface développable, appelées viroles, de forme cylindrique ou conique

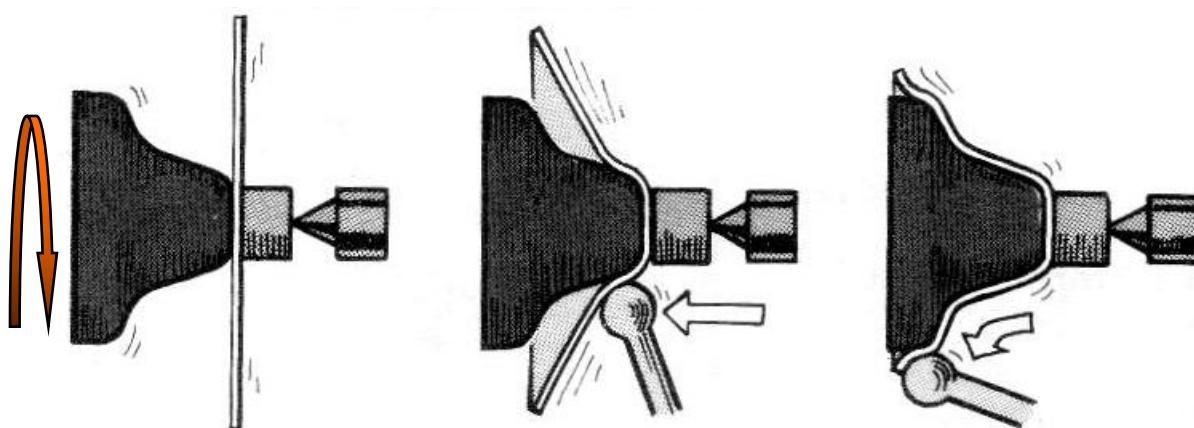


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ Repoussage

Un flan est maintenu serré entre un mandrin et une poupée rotative, l'ensemble étant mis en rotation, un outil fixe ou **une molette couche le métal en le ramenant à la forme du mandrin.**



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

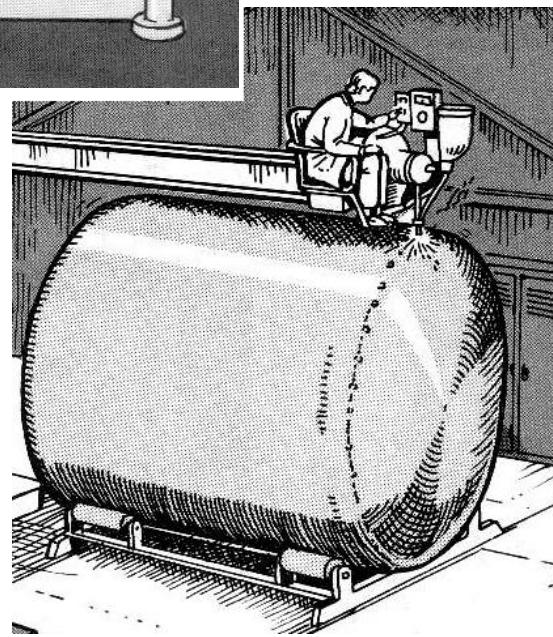
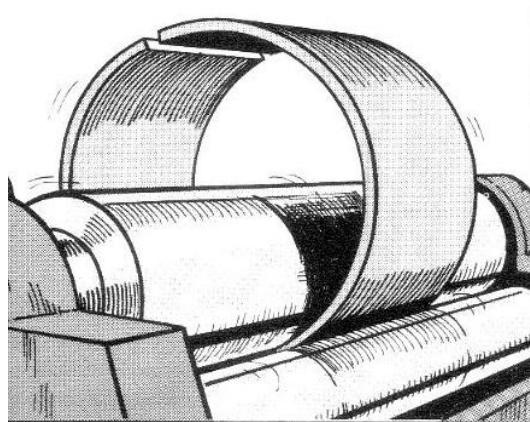
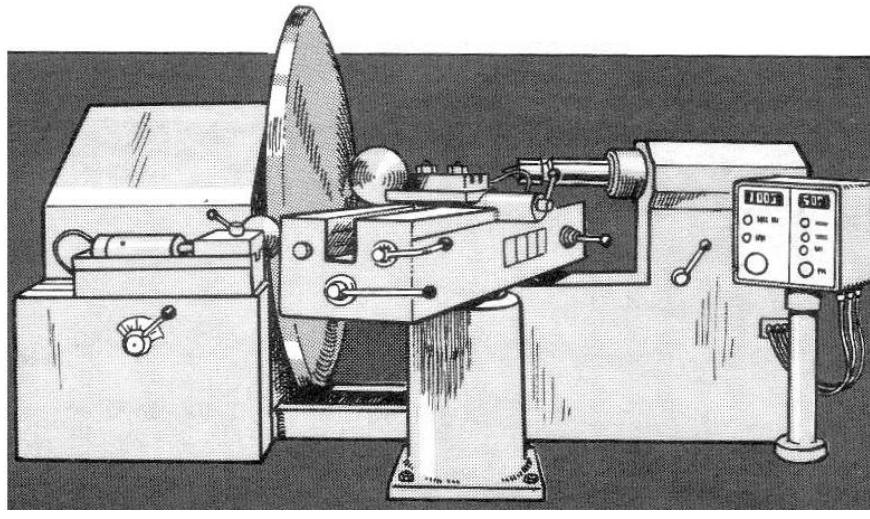
■ Repoussage



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ Repoussage

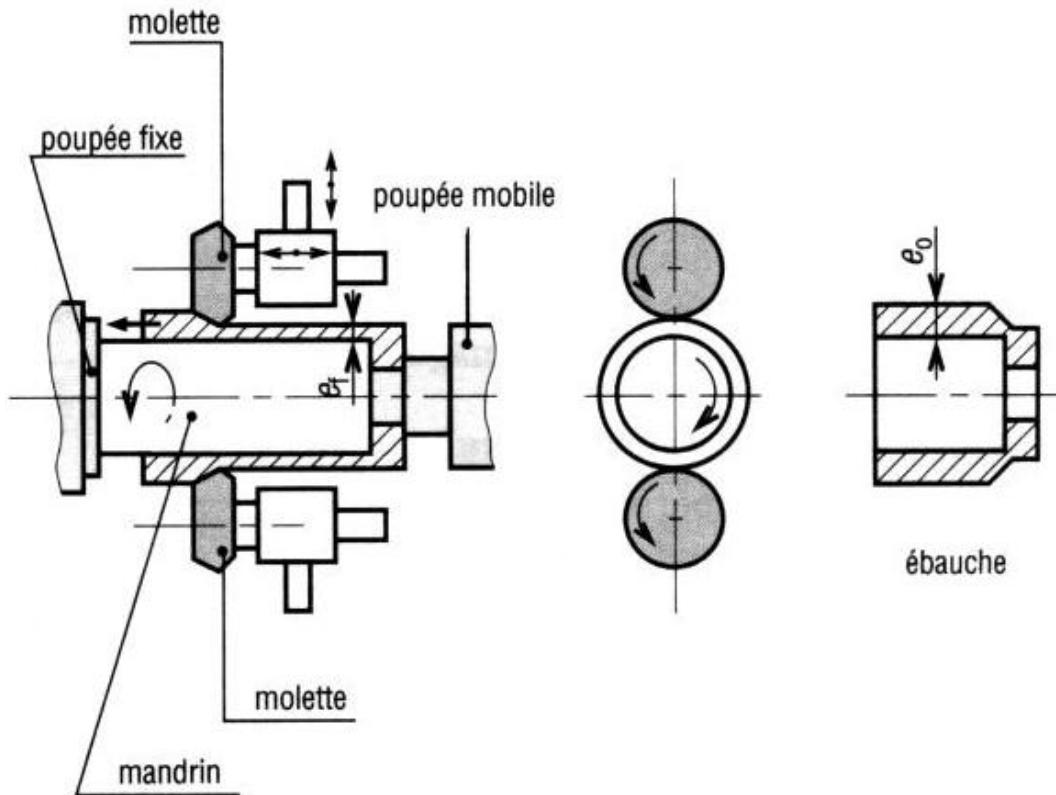


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ Fluotournage

Un flan ou une ébauche serré entre un mandrin et une poupée rotative, l'ensemble étant mis en rotation, **le métal du flan est écrasé contre les génératrices du mandrin** par l'action de deux ou trois molettes.

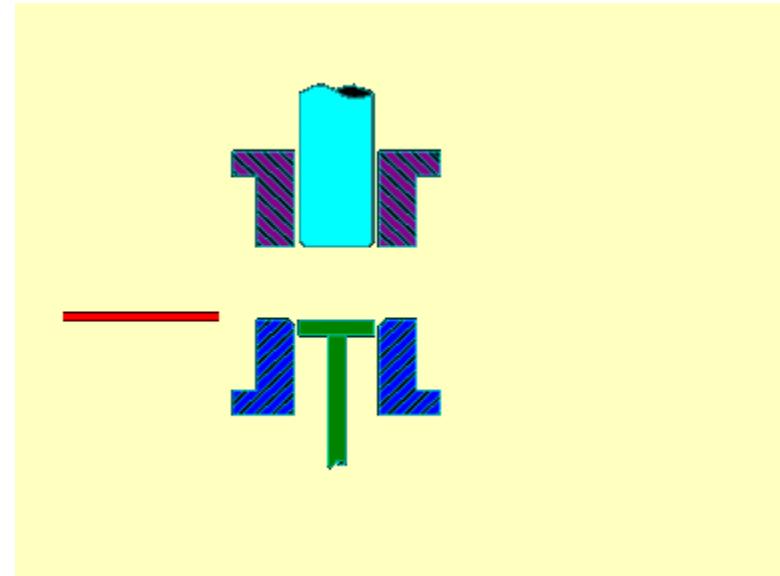
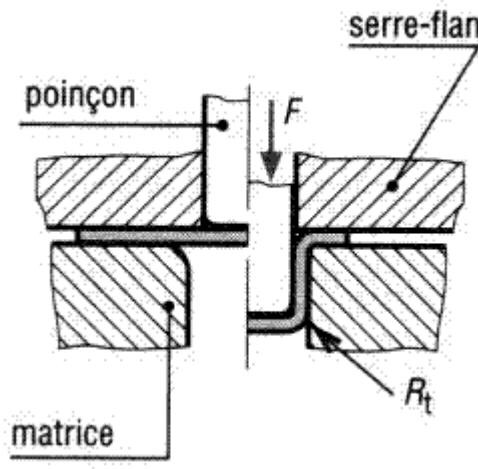


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ Emboutissage

L'emboutissage est un procédé de formage par déformation à chaud ou à froid des métaux visant à transformer une tôle en une pièce plus ou moins creuse de surface non développable.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Formage des produits plats (ou métaux en feuilles)

■ Emboutissage

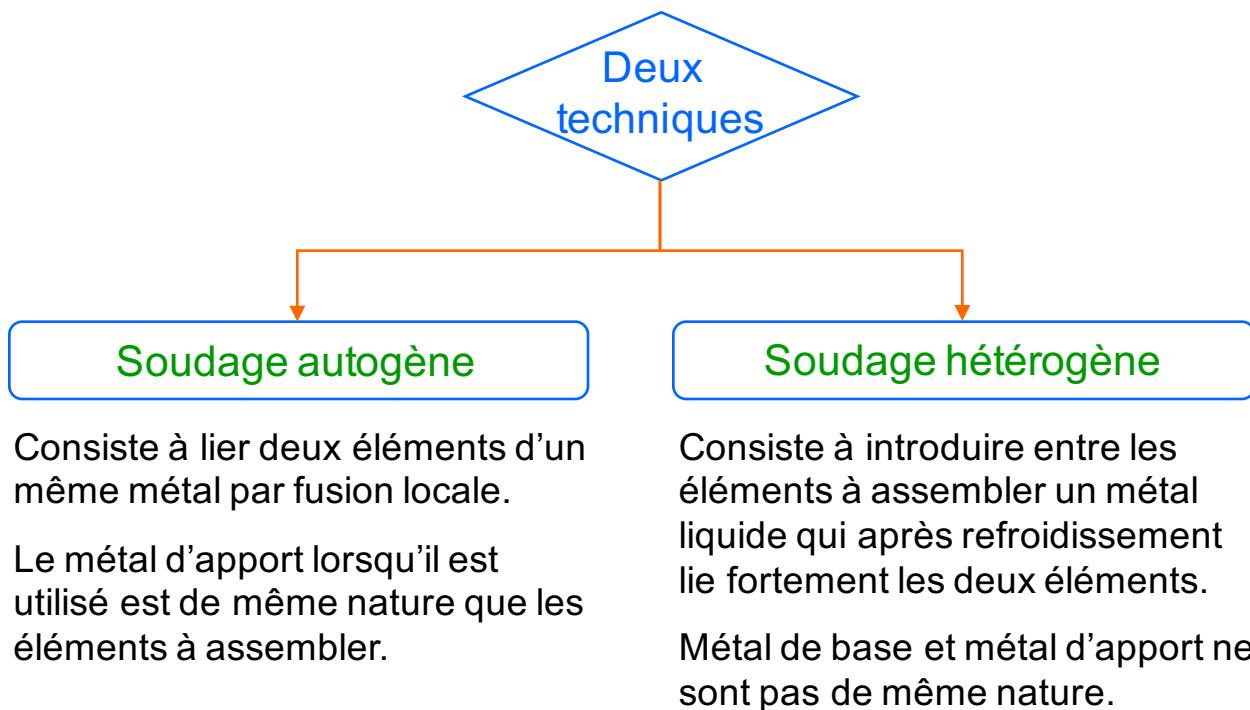




- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Soudage

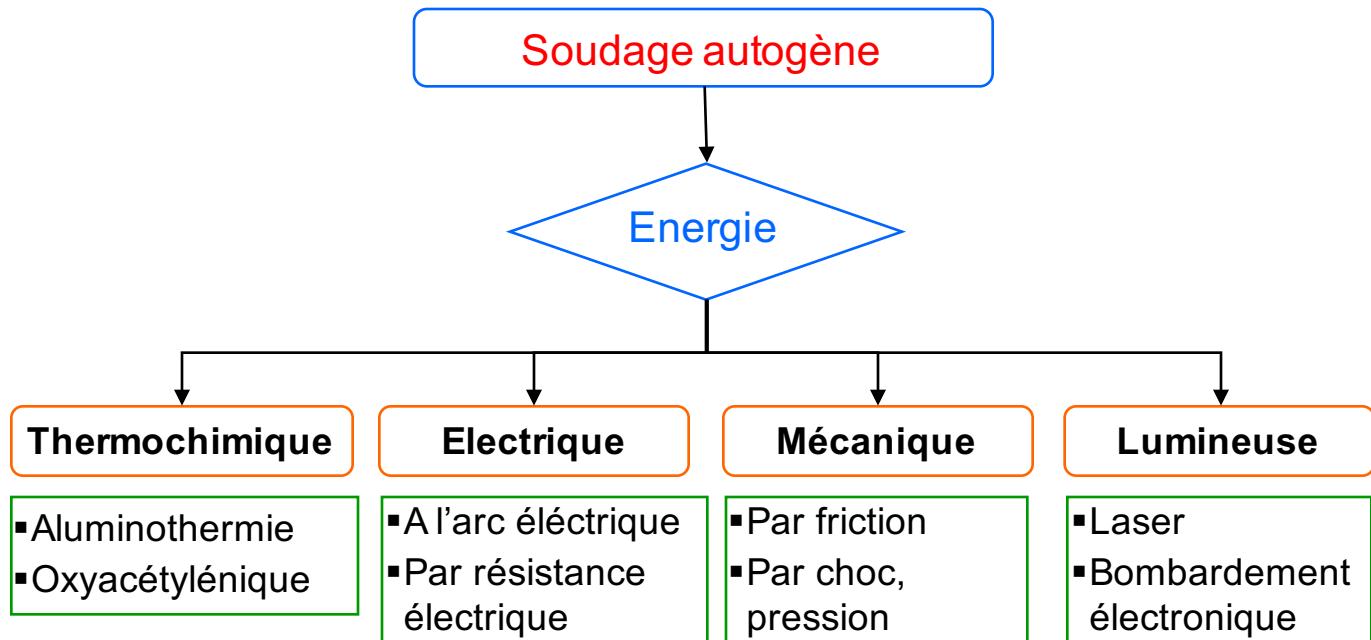
Le soudage est un procédé d'assemblage qui assure la liaison permanente de divers éléments métalliques.





- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Soudage

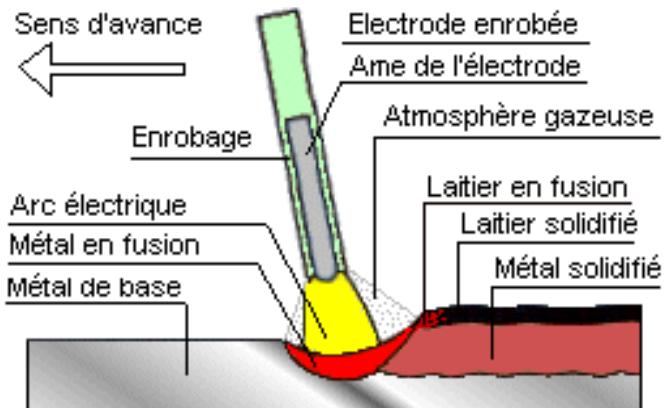




- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Arc manuel à l'électrode enrobée

Un courant électrique fait jaillir, sous une tension donnée, un arc électrique entre l'âme de l'électrode enrobée et le métal des bords à assembler. La chaleur dégagée par l'arc électrique fait fondre simultanément le métal de base des bords à assembler, l'âme et l'enrobage de l'électrode.





- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Arc manuel à l'électrode enrobée

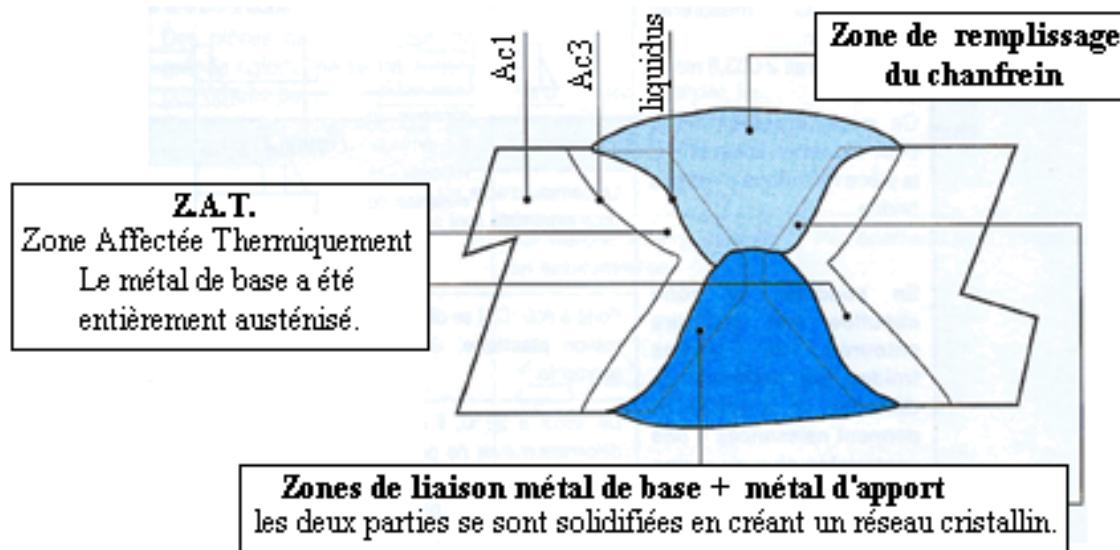
Matériel de soudage





- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Arc manuel à l'électrode enrobée





- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Arc manuel à l'électrode enrobée

Les électrodes enrobées



Métal de base	Métal d'apport
Aciers ordinaires	Aciers ordinaires avec des teneurs en C, S, P et Mn contrôlés
Aciers inoxydables et faiblement alliés	Acier austénitique (18% Cr, 8% Ni)
Fontes	Fonte à 4% de Si.
Al et alliages	Al (90%) et Si (10%)
Cu et alliages	Cu-Cr ; Cu



Arc manuel à l'électrode enrobée

Différents types d'enrobage

Enrobage	Constituants	Utilisation	Polarité
Rutile	Oxyde de titane (TiO_2)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Permet de souder aisément en toutes positions en courant continu ou alternatif. ▪ belle présentation ▪ le plus couramment utilisé 	Normale
Basique	carbonate de chaux	<p>Il fournit un laitier calcaire dont l'effet désulfurant favorable au soudage des aciers ferritiques diminue le risque de fissuration à chaud de métal déposé.</p> <p>Il présente les meilleures caractéristiques mécaniques, pour les assemblages de haute sécurité et pour les aciers difficilement soudables.</p>	Inverse
Cellulosique	cellulose	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Soudage rapide ▪ forte pénétration ▪ Application au soudage des gazoducs et déoducs. 	Inverse
Oxydant	oxydes de fer et manganise	A bas prix, pour des travaux très ordinaires, peu utilisés. La soudabilité de métal de base doit être bonne sinon le métal constituant le joint est sensible à la fissuration à chaud.	Normale
Acide	silicate		
NB : Polarité normale signifie électrode au pôle négative			



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Arc manuel à l'électrode enrobée

Courant électrique de soudage

	Diamètre de l'électrode (en mm)						
	1.6	2	2.5	3.15	4	5	6.3
e(mm)	Intensité de soudage (en A)						
1	25						
2	35	45	55				
3		60	70	90			
4			85	100	130		
5			90	110	130	160	
6				120	140	160	
8				125	150	170	
10				130	160	190	230
12				130	170	200	250
15							
20							
25							
30							
50						250	350
80						250	350
100						250	350

Soudage bout à bout d'une tôle d'épaisseur 2 mm
 Diamètre de l'électrode 2.5 mm
Is = 55 A

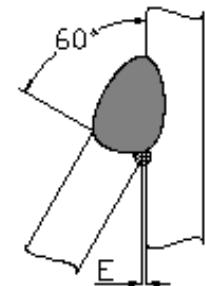
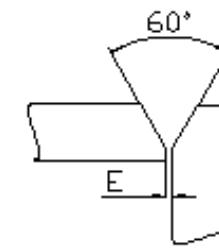
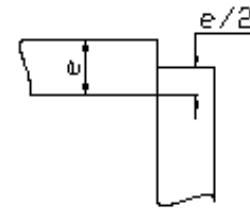
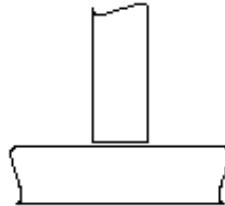
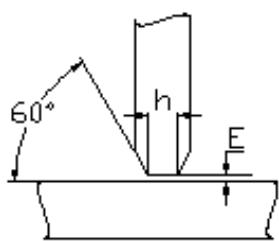


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Arc manuel à l'électrode enrobée

Préparation des assemblages

e (mm)	Préparation conseillée	a	h	α
1		0		
1.5		1.5		
2		1.5		
3		2		
4		3		
5		2	1.5	80
7		2.5	2	70
10		3	2	70
12		3	2	60
14		3.5	3	60
16		4	2	60
16		2	2	60
20		3	2	60
30		4	4	60





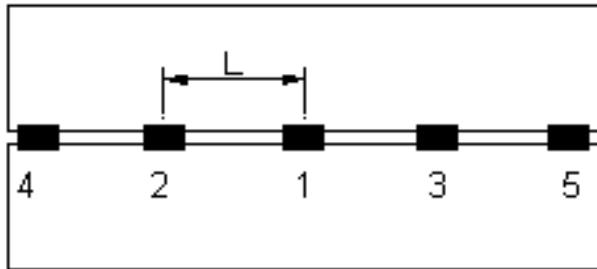
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Arc manuel à l'électrode enrobée

Méthodes de soudage

Pointage :

- maintenir l'écartement choisi,
- empêcher les déformations nuisibles à une bonne exécution de la soudure.



$L = \text{tous les } 50 \text{ fois l'épaisseur}$

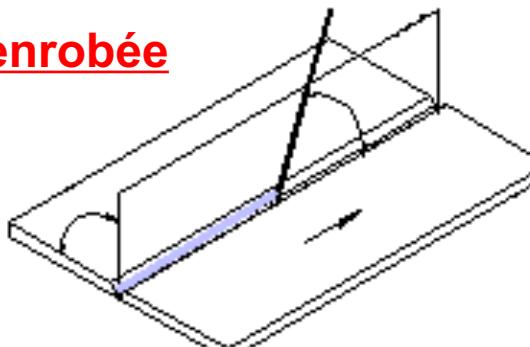


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Arc manuel à l'électrode enrobée

Méthodes de soudage

Position de l'électrode :



passes étroites

passes larges



Passes 1, 2 et 7



Passes 1, 2 et 3



Passes 3 et 5

Mouvement transversal pour les passes 2 et 3



Passes 4 et 6

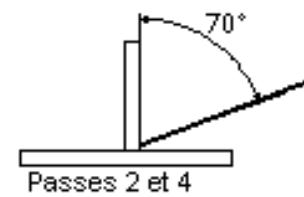
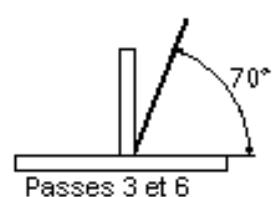
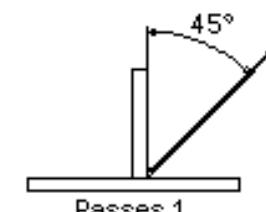
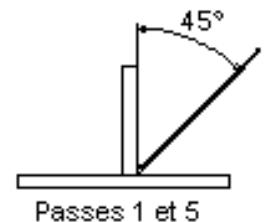
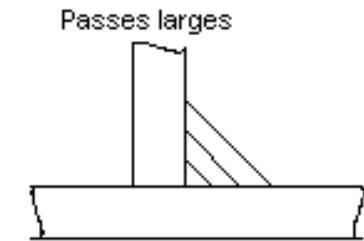
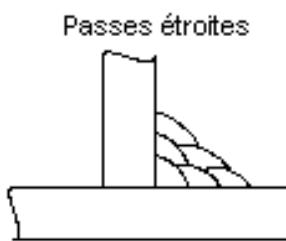
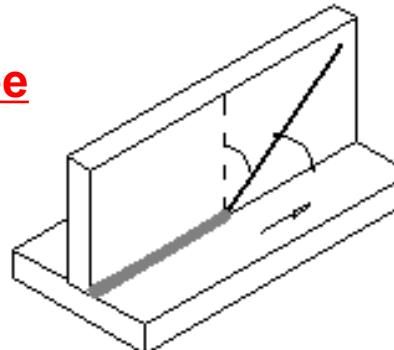


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Arc manuel à l'électrode enrobée

Méthodes de soudage

Position de l'électrode :



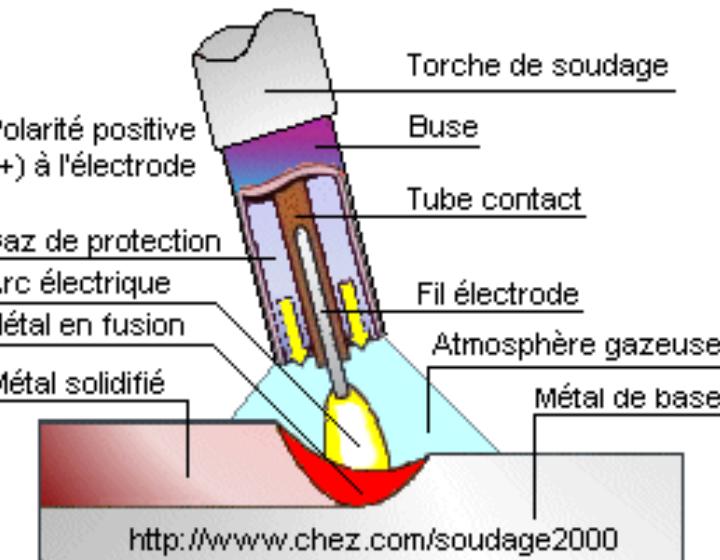
Mouvement transversal pour les passes 2 et 3



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Soudage semi-automatique (M.I.G. ET M.A.G.)

Un courant électrique fait jaillir, sous une tension donnée, un arc électrique entre le fil électrode et le métal des bords à assembler.



La protection de l'arc et du bain de fusion est assurée par un gaz inert ou non (Argon, Argon + Hélium, Argon + CO₂ (< 3%), Argon + CO₂ + H₂) qui donnent leur nom aux procédés :

- M.I.G. (*Metal Inert Gas*)
- M.A.G. (*Metal Active Gas*)

Le procédé M.A.G. est utilisé uniquement pour le soudage des aciers non ou faiblement alliés.



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Soudage semi-automatique (M.I.G. ET M.A.G.)

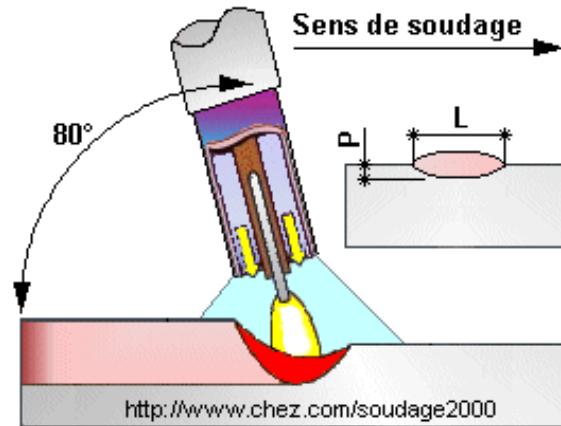
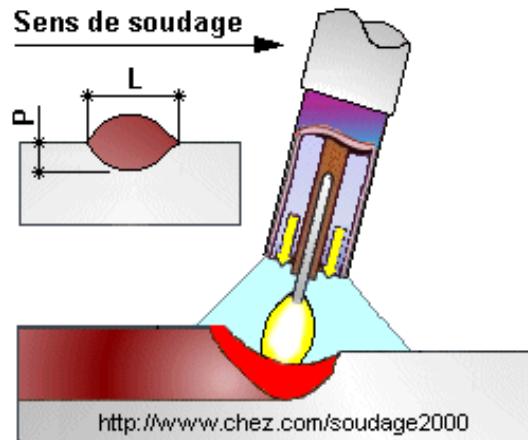




- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Soudage semi-automatique (M.I.G. ET M.A.G.)

Méthodes de soudage



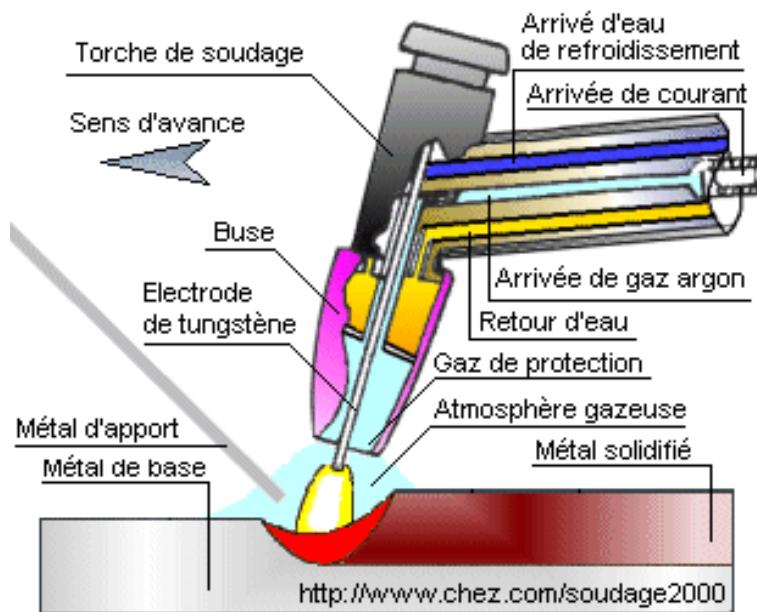


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

SOUDAGE TIG

Le soudage TIG (Tungsten Inert Gas) est un procédé à l'arc sous protection de gaz inerte avec une électrode infusible (tungstène).

Le métal d'apport (baguette de fil dressé de Ø 0,8 mm à Ø 4,0 mm) est amené manuellement ou automatiquement.



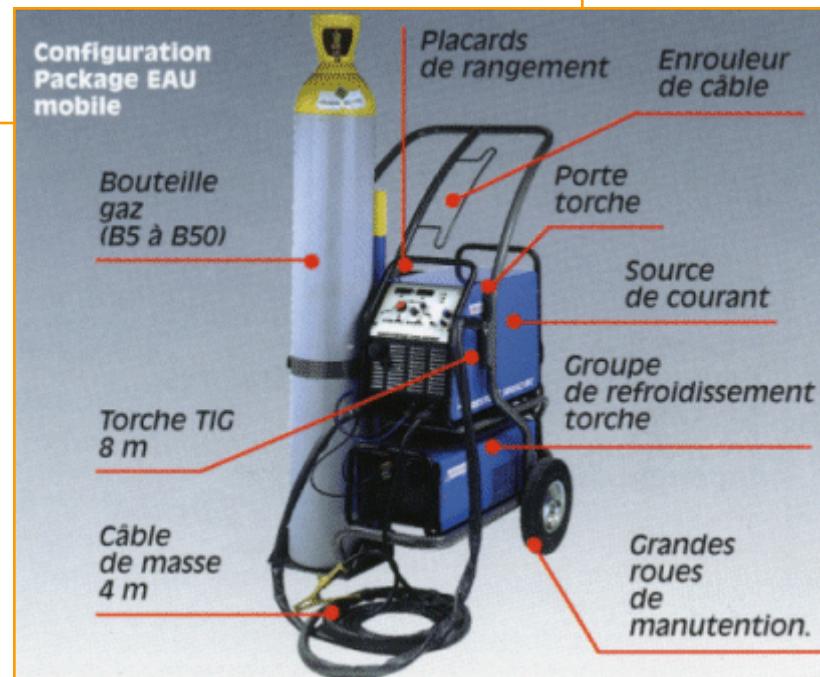


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

SOUDAGE TIG

Avantages du procédé :

- Simple d'emploi
- Travail fin et précis
- Large gamme d'épaisseur
- Très bonnes qualités de joint et bonnes caractéristiques mécaniques
- Soudage dans toutes les positions
- Aspect de cordon très correct
- Procédé automatisable





- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

SOUDAGE PAR RESISTANCE

Soudage par points :

Les pièces à souder sont serrées entre électrodes. Le courant électrique de forte intensité passe à travers les tôles à souder ce qui fait fondre la zone de contact par un dégagement de chaleur.

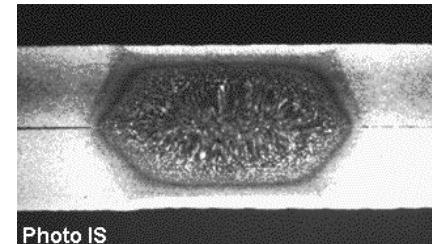
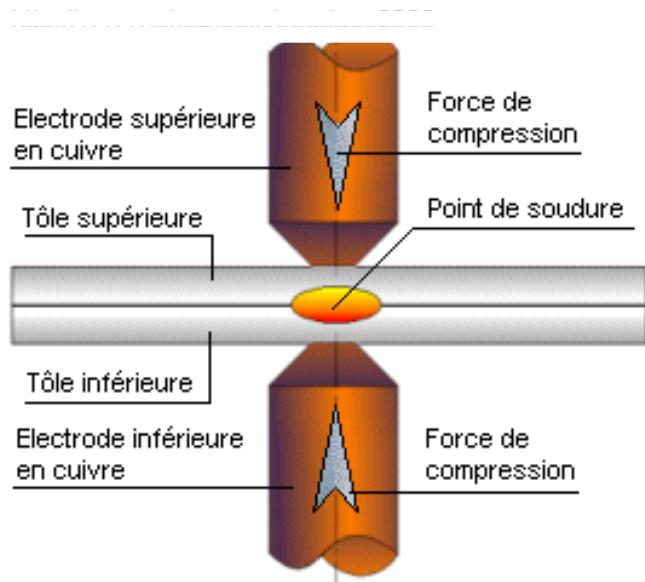


Photo IS



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

SOUDAGE PAR RESISTANCE

Soudage par points :

Chaleur dégagée

$$Q = R \cdot I^2 \cdot t \quad [J]$$

$$R = R_e + R_{e2} + R_{m1} + R_{m2} + R_{c1} + R_{c2} + R_c$$

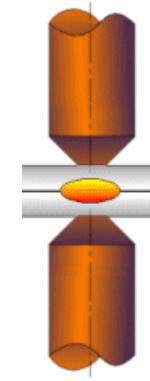
R_e : Résistance ohmique des électrodes

R_m : Résistance ohmique des pièces

R_{ci} : Résistance de contact pièce électrode

R_c : Résistance de contact pièce

Avec $R_c \ll R_{c1}+R_{c2}$





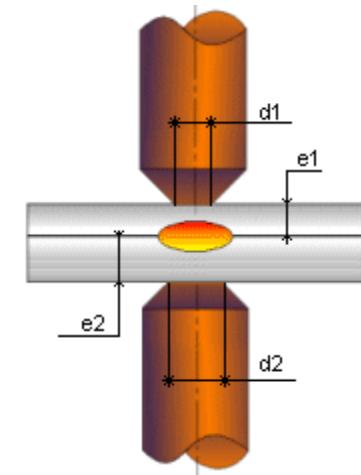
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

SOUDAGE PAR RESISTANCE

Soudage par points :

Réglage de la machine : Il est lié à la plus mince des épaisseurs à souder

ACIER NON-ALLIES				
Epaisseur e1 ou e2 (mm)	Intensité de courant (A)	Temps de soudage (s)	Effort F (daN)	Diamètre d (mm)
0.5	6000	0.1	100	3.5
1	9000	0.2	200	5
1.5	12000	0.25	330	6
2	14000	0.28	450	7
2.5	16000	0.32	500	8
3	18500	0.4	600	8.5

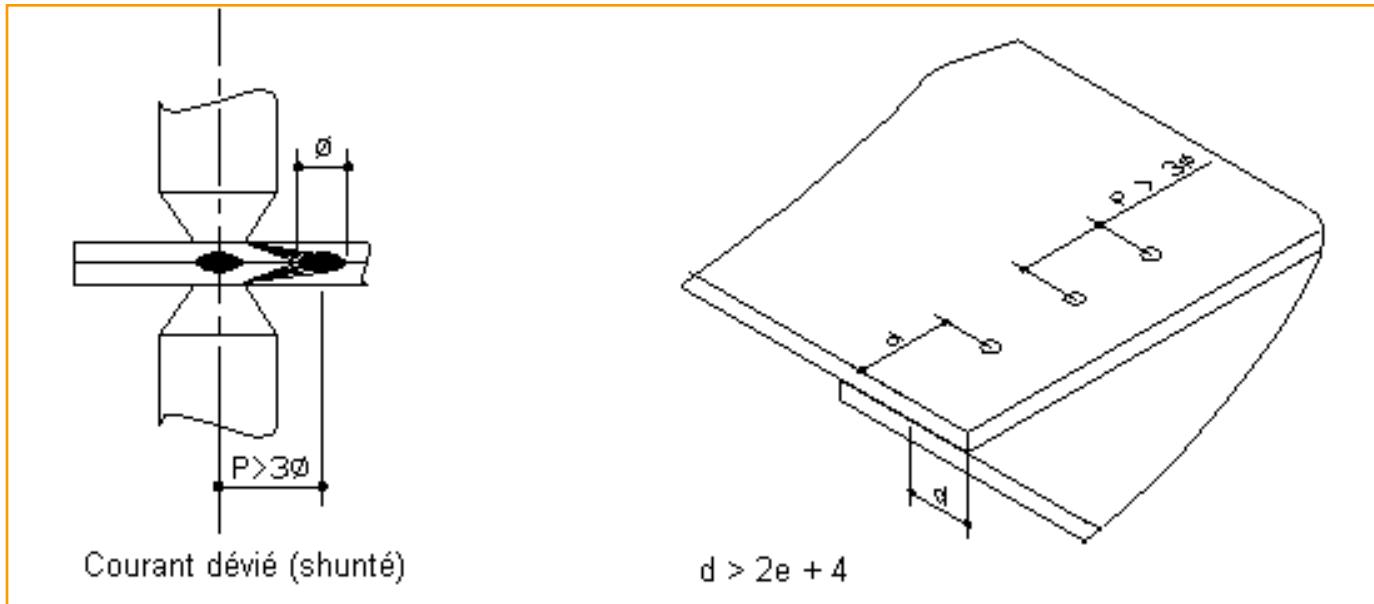




- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

SOUDAGE PAR RESISTANCE

Soudage par points :





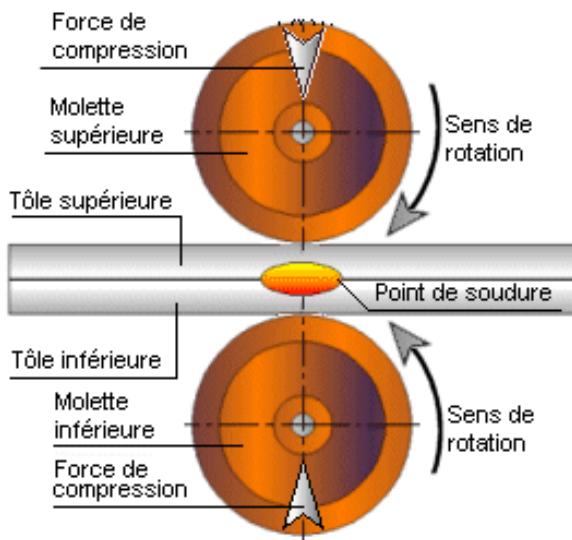
- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

SOUDAGE PAR RESISTANCE

Soudage à la molette :

Les pièces à souder sont superposées et sont serrées localement entre deux molettes en alliage de cuivre.

L'ensemble pièces / molettes est traversé par un courant de soudage qui provoque une élévation de température par effet Joule et la fusion localisée des deux pièces dans la zone de positionnement des deux molettes.



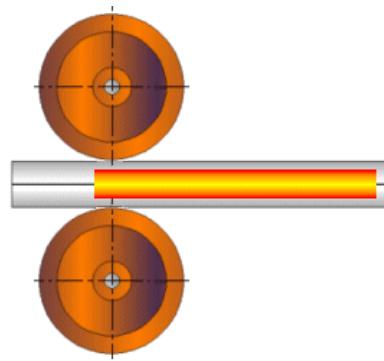


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

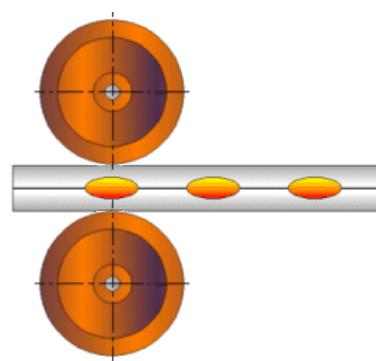
SOUDAGE PAR RESISTANCE

Soudage à la molette :

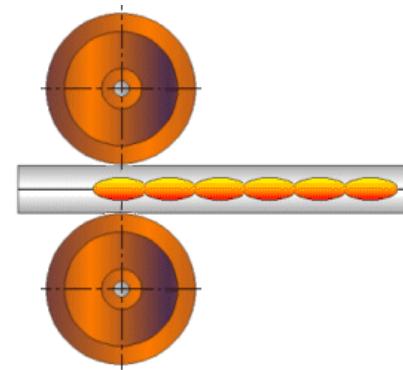
Les différents types de soudures



Soudure continue



Soudure avec points espacés



Soudure avec points superposées



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

SOUDAGE PAR RESISTANCE

Soudage à la molette :

Paramètres de soudage a la molette

ACIERS NON ALLIES (Documentation SCIAKY)			
e(mm)	Vitesse (m/min)	Intensité (A)	Pression (daN)
0,5	2,3	10 600	250
0,8	2,1	13 000	350
1,0	1,9	15 000	400
1,5	1,9	17 500	525
2,0	1,5	21 000	675
2,5	1,3	26 000	800
3,0	1,1	30 000	950

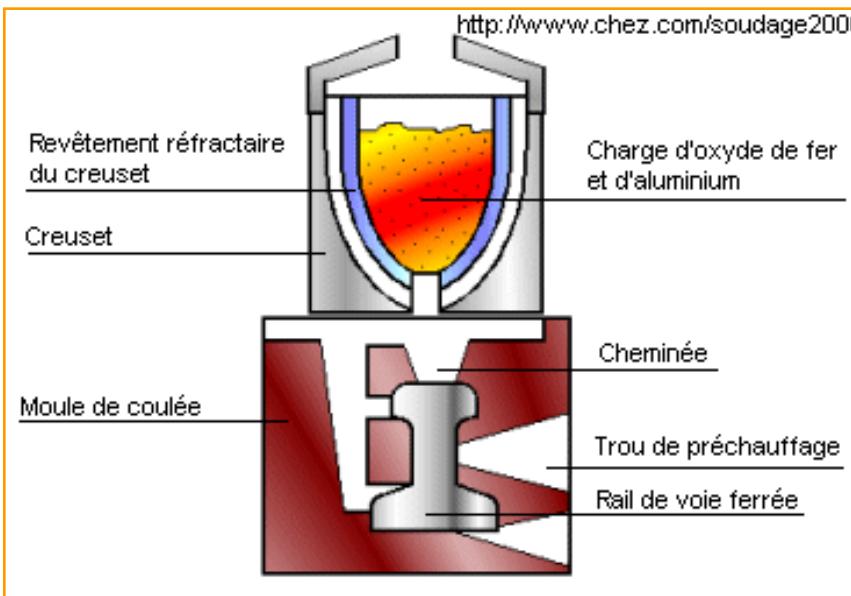


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Soudage aluminothermique

Le soudage aluminothermique est un procédé de soudage par réaction chimique exothermique dans un creuset et par coulée de métal en fusion.

La chaleur nécessaire à la fusion des abouts de rails est obtenue par la réduction de l'oxyde de fer par l'aluminium suivant la réaction chimique suivante :





- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

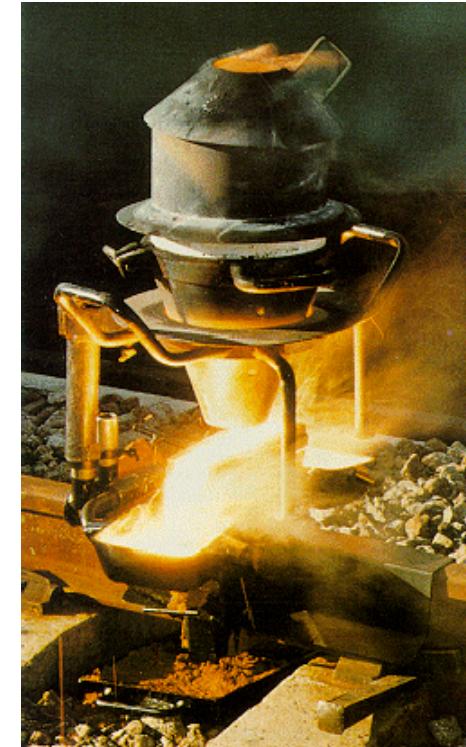
Soudage aluminothermique

La réaction chimique se produit lorsque le mélange est porté à une température de 1300° Celsius. La fusion est réalisée dans un creuset à partir d'une charge d'oxydes métalliques et ferriques et d'une fine poudre d'aluminium.

L'acier liquide fait fondre les abouts de rail et après refroidissement forme une soudure homogène.

Il est nécessaire de préchauffer les abouts des pièces à souder pour éviter un refroidissement trop rapide du métal fondu lors de la sortie du creuset.

La durée de la réaction dure entre 30 et 90 secondes.

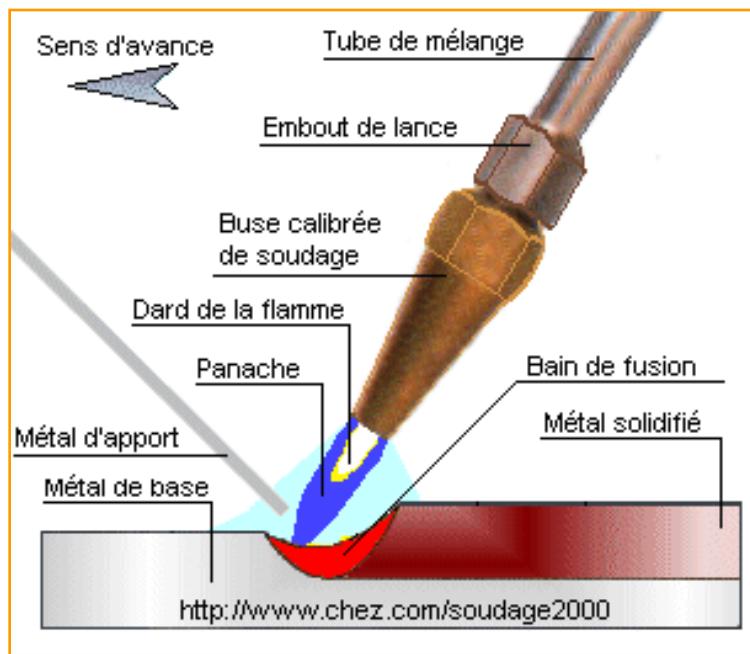




- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Soudage Oxyacétylénique

L'énergie calorifique nécessaire au soudage est fournie par une flamme oxyacétylénique (oxygène O₂ + acétylène C₂H₂).





- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

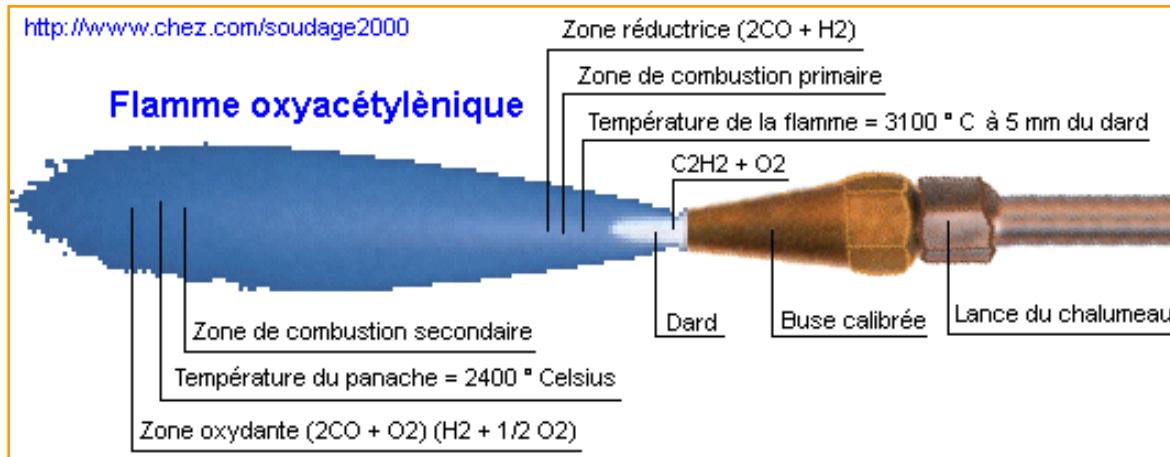
Soudage Oxyacétylénique

Combustion primaire:



Le monoxyde de carbone et l'hydrogène sont des gaz réducteurs qui protègent le métal en fusion

Combustion secondaire :





Soudage Oxyacétylène

Alimentation en gaz

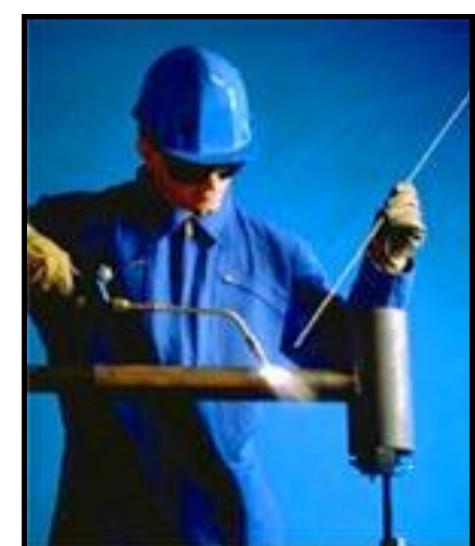
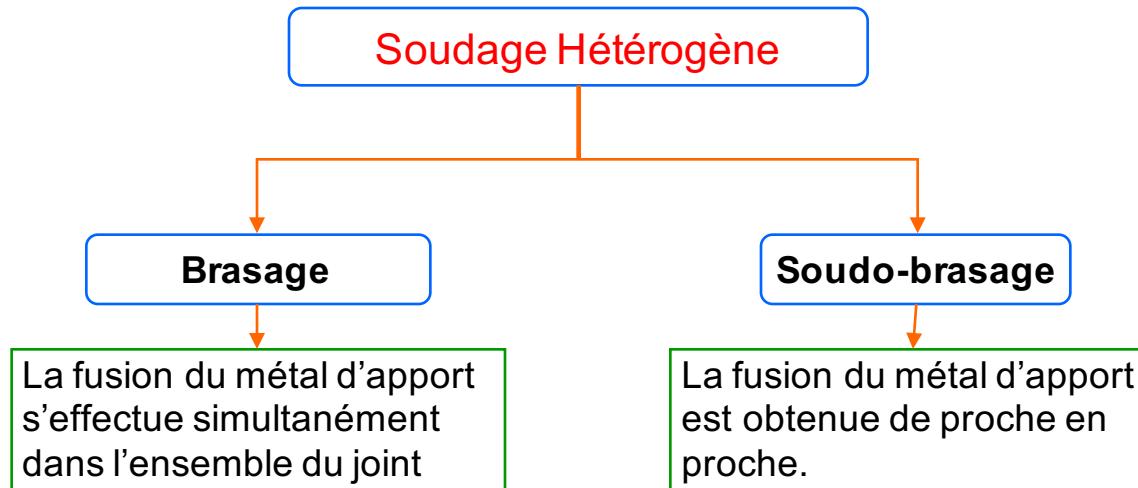


- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels



- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels

Soudage



Procédés d'élaboration des pièces mécaniques

- Elaboration des métaux
- Fonderie
- Mise en forme par enlèvement de matière
- Mise en forme par déformation plastique
- Techniques d'assemblages : Soudage
- Traitements et revêtement superficiels