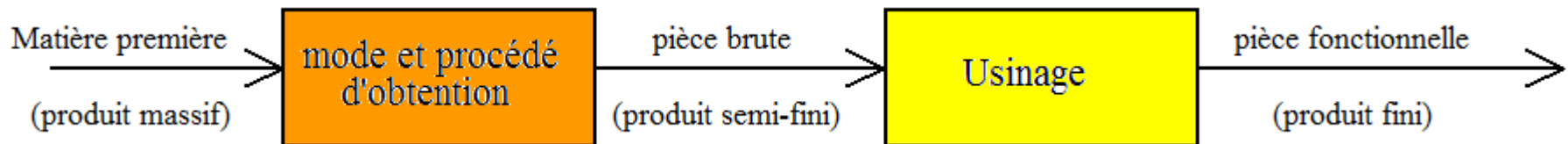


Réalisation d'une pièce mécanique :

Objectif principal :

Obtenir une pièce conforme au cahier des charges aussi bien dimensionnellement (précision) que du point de vue des caractéristiques physiques (résistance mécanique, corrosion aspect, coût...)

⇒ Différentes étapes qui lui feront subir des changements d'état et de forme.



Être compétitif signifie entre autre de réduire au maximum les coûts de production (prix de revient).

⇒ réaliser des pièces brutes qui diminuent les usinages et simplifient les assemblages terminaux.

Cela entraîne:

- la création d'outillages coûteux
- la mise en œuvre de procédés spécifiques et lourds,

Cependant:

- les procédés d'obtention permettent d'obtenir des pièces aux formes simples ou compliquées
- aux états de surface et aux caractéristiques dimensionnelles de qualité parfois suffisante pour éviter des usinages longs et coûteux.
- Il faut remarquer que certains procédés d'obtention permettent de réaliser directement des produits finis (sans usinage). **Ce qui est le cas des pièces frittées.**

Principaux types de Bruts :

2 grandes familles:

- les bruts standards
- les bruts spécifiques

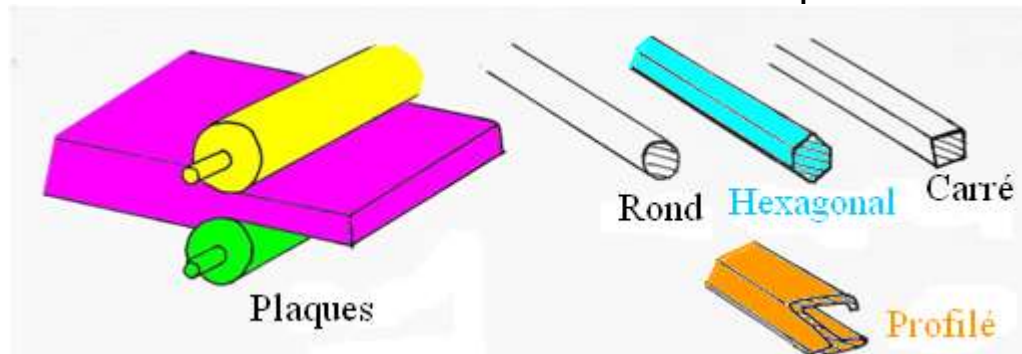
les bruts standards: disponibles chez les fournisseurs (consulter leurs catalogues; les dimensions sont standardisées)

Il existe des listes de produits référencés:

- Toutes gammes de nuances
- Toutes dimensions
- Coûts modiques (grande quantité produite)
- Cependant, volume de copeaux et temps de fabrication important si les dimensions finales sont éloignées des dimensions du brut.

Ces produits sont obtenus par laminage, à chaud ou à froid.

Un lopin de métal est entraîné entre deux rouleaux qui l'écrase en l'allongeant.



- les bruts spécifiques (**exemple pièces forgées**): réservés aux pièces de formes compliquées.
 - évitent des assemblages de pièces élémentaires
 - allègent les produits
 - réduisent les temps d'usinages.

En revanche, ils exigent une étude particulière pour le choix et la mise en œuvre des procédés d'obtention (analyse technico-économique).

4 principaux modes d'obtention des pièces brutes spécifiques :

- par "**Coulage**". → moulage
- par "**Assemblage**". → soudage, rivetage, collage
- par "**Déformations plastiques**" → pliage emboutissage, forgeage
- par "**Métallurgie des poudres**".

Choix d'un Procédé d'obtention :

Lors de l'étude de fabrication d'une pièce mécanique à un coût minimum, on devra tenir compte d'un certain nombre de critères restrictifs pour le choix définitif du mode et du procédé d'obtention.

Ces critères sont de deux ordres :

Critères "**Techniques**" liés à la pièce :

- géométrie (épaisseur, longueur)
- matériau,
- sollicitations
- durée de vie
- poids,...

Critères "**Economiques**" liés à l'entreprise :

- coût de la matière première
- nombre de pièces à fabriquer (série)
- coût des outillages et de la main d'œuvre
- compétences humaines.

A - La fonderie (Le moulage) :

- Le mode d'obtention d'un brut spécifique métallique associé au coulage d'un matériau est la "**Fonderie**".

- Une pièce de fonderie peut, suivant sa fonction et son procédé d'obtention, être utilisée directement ou avec très peu d'usinage

• Principe :

1. Elaboration d'un alliage métallique dans un four de fusion.

2. On verse le métal en fusion dans un moule contenant l'empreinte de la pièce à obtenir : c'est la "**Coulée**". (Elle peut se faire par gravité ou sous pression)

3. Après refroidissement, la pièce est démoulée (décochage) et débarrassée de ses attributs de coulée (parachèvement).

•Possibilités techniques :

- Obtenir des formes de pièces difficilement réalisables avec d'autres techniques.
- Mettre en œuvre des alliages très variés.
- Avoir des courts délais et des faibles coûts de fabrication.
- Mécaniser et automatiser une production en série.

- Il existe deux grandes familles dans les procédés de fonderie liées à la conception et la fabrication du moule :

- le "**Moulage en moule non permanent**". →le moule est détruit à chaque opération de moulage pour récupérer la pièce.
- le "**Moulage en moule permanent**". → le moule (en acier ou fonte) est réutilisé plusieurs centaines de fois.

Illustration du principe de moulage: Le Moulage au Plâtre











Exemples

De

Pièces Moulées



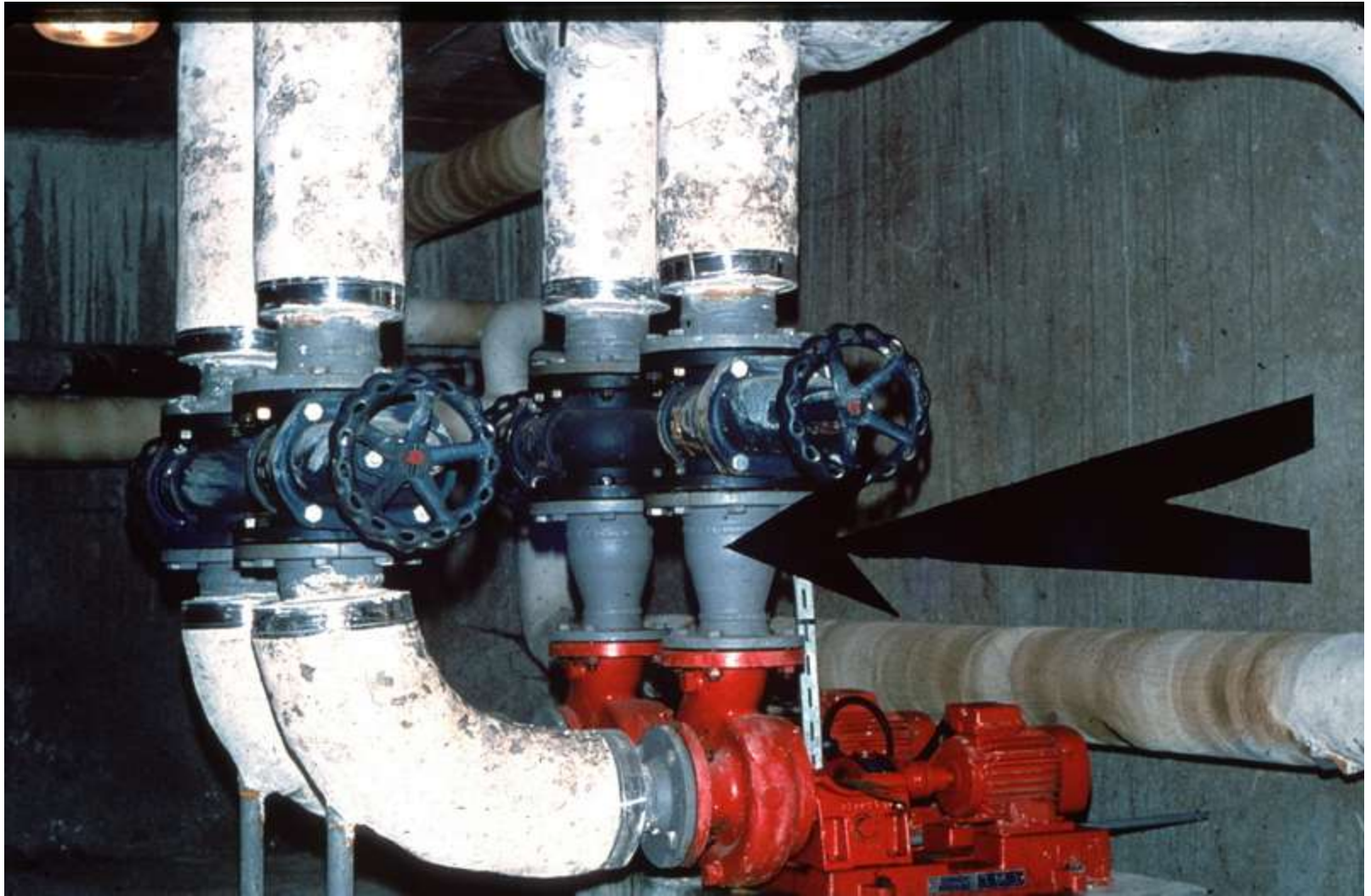


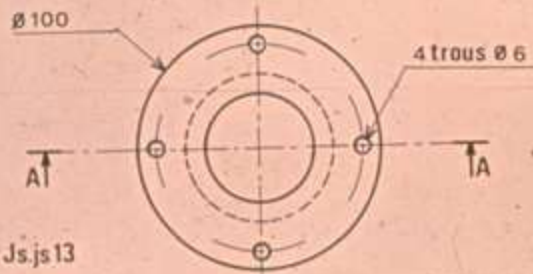
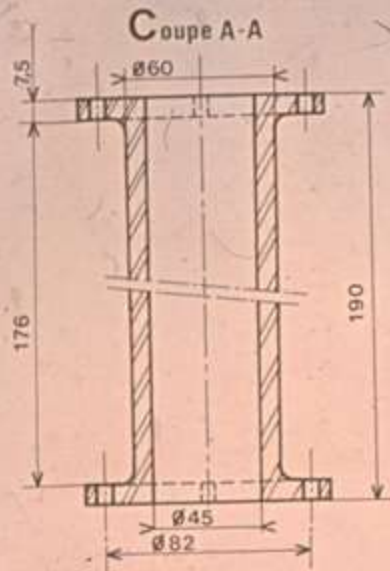


Moulage

Au Sable

D'une Tubulure





tolérance: Js.js13

Dessin de définition de la pièce

TOULOUSE

Tubulure droite

fonderie

document : 112



pièce finie

modèle



pièce finie



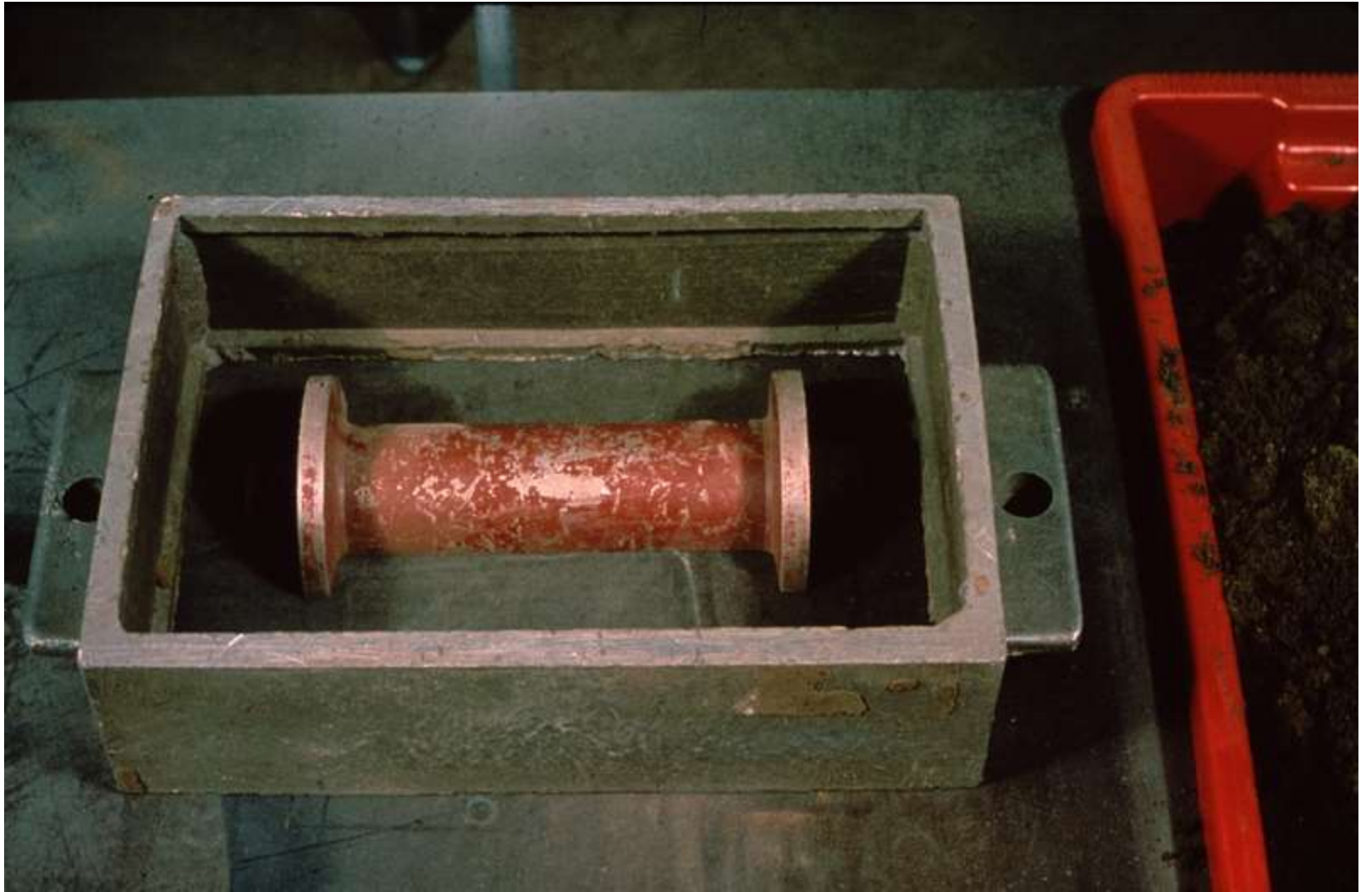
demi - modèles



pièce

















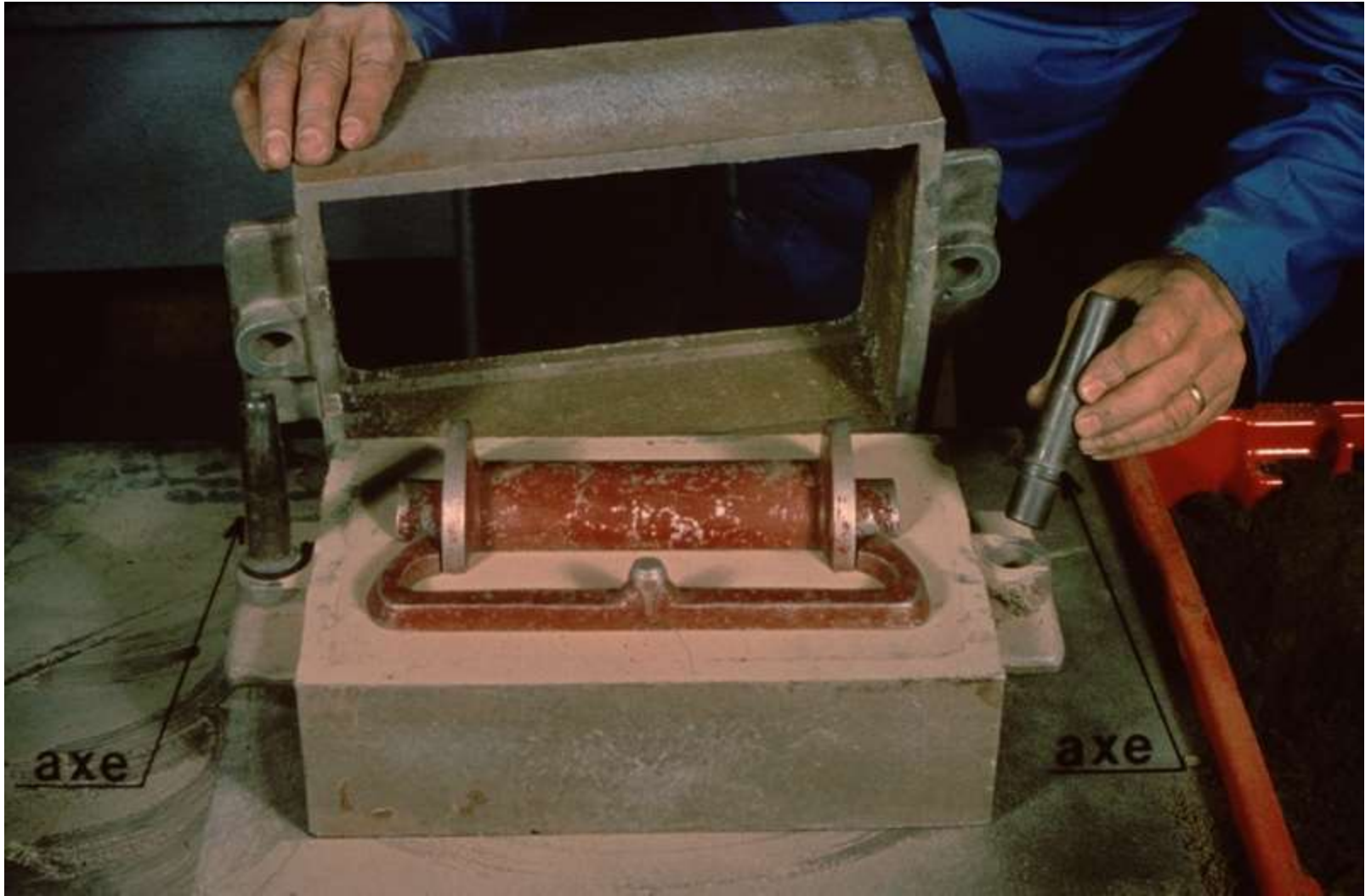








Chenal de coulée

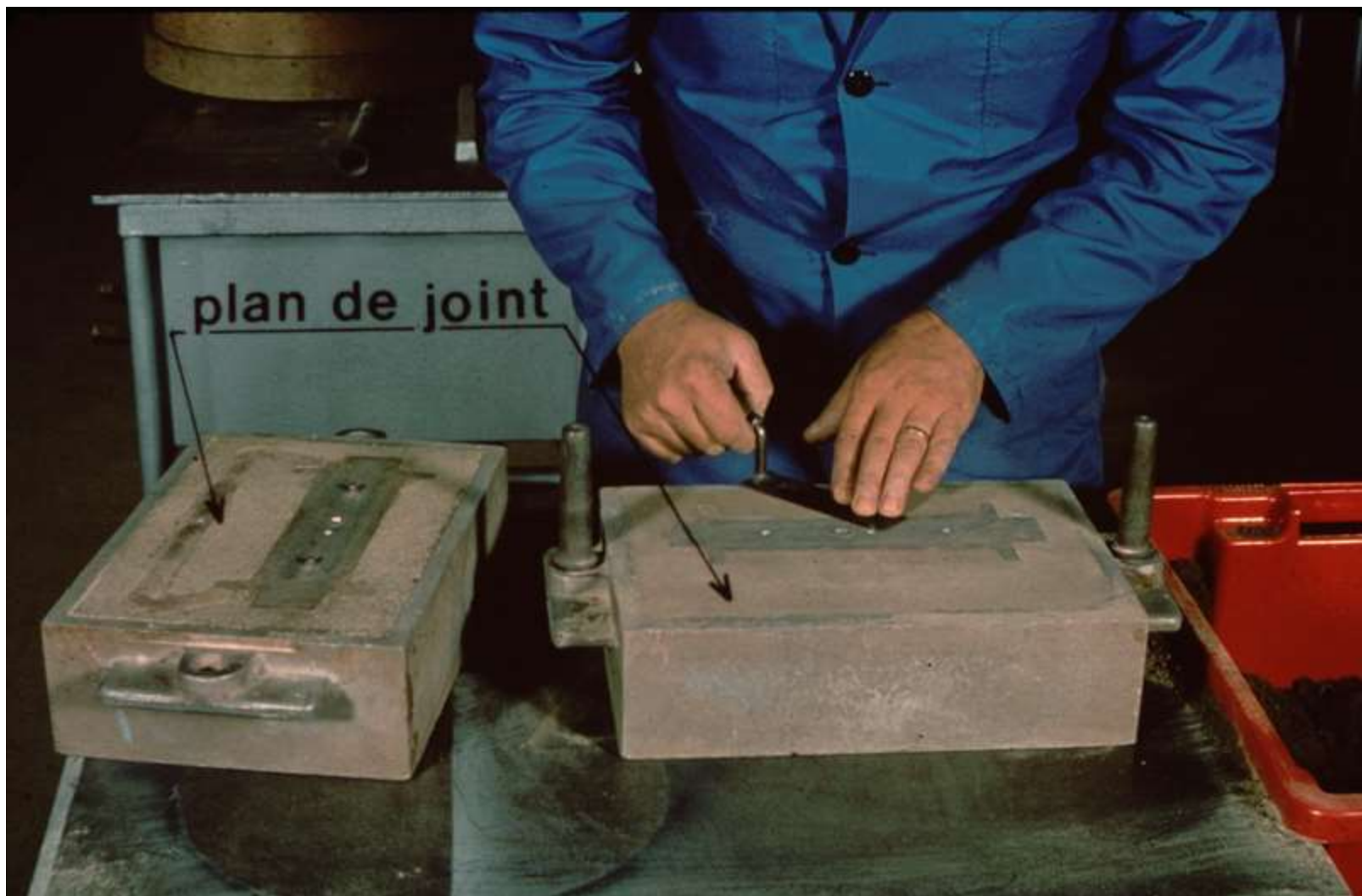


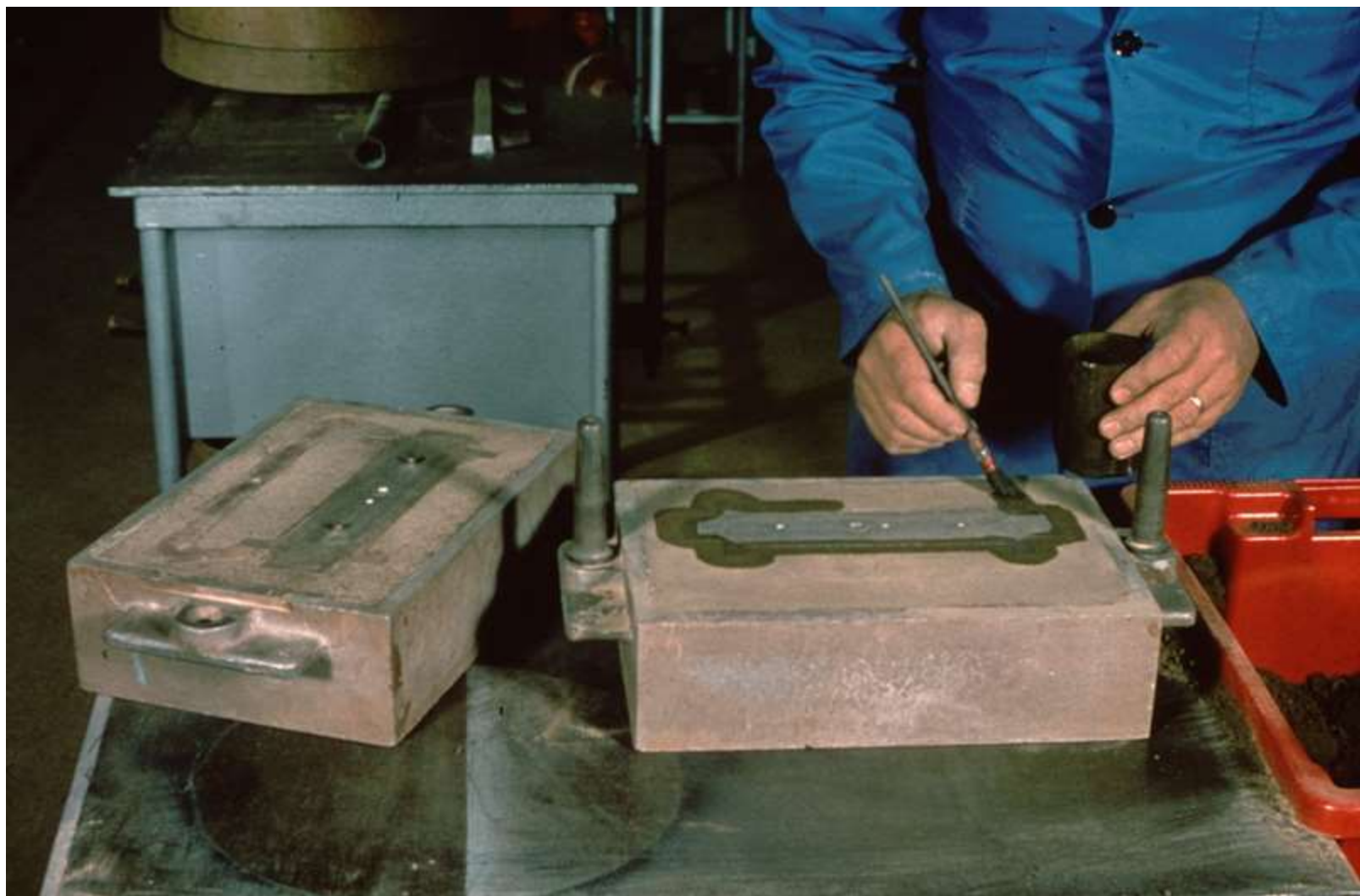






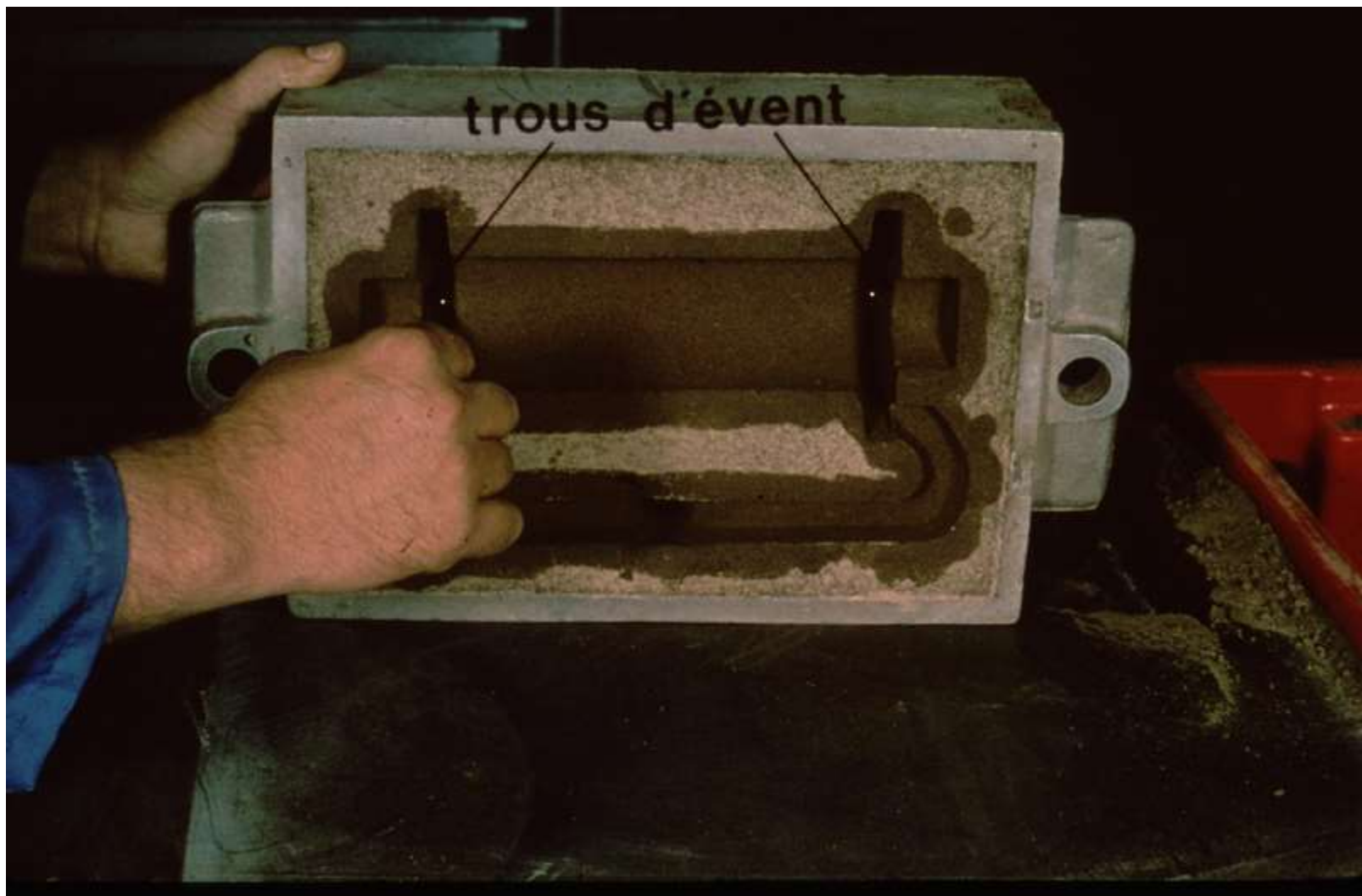








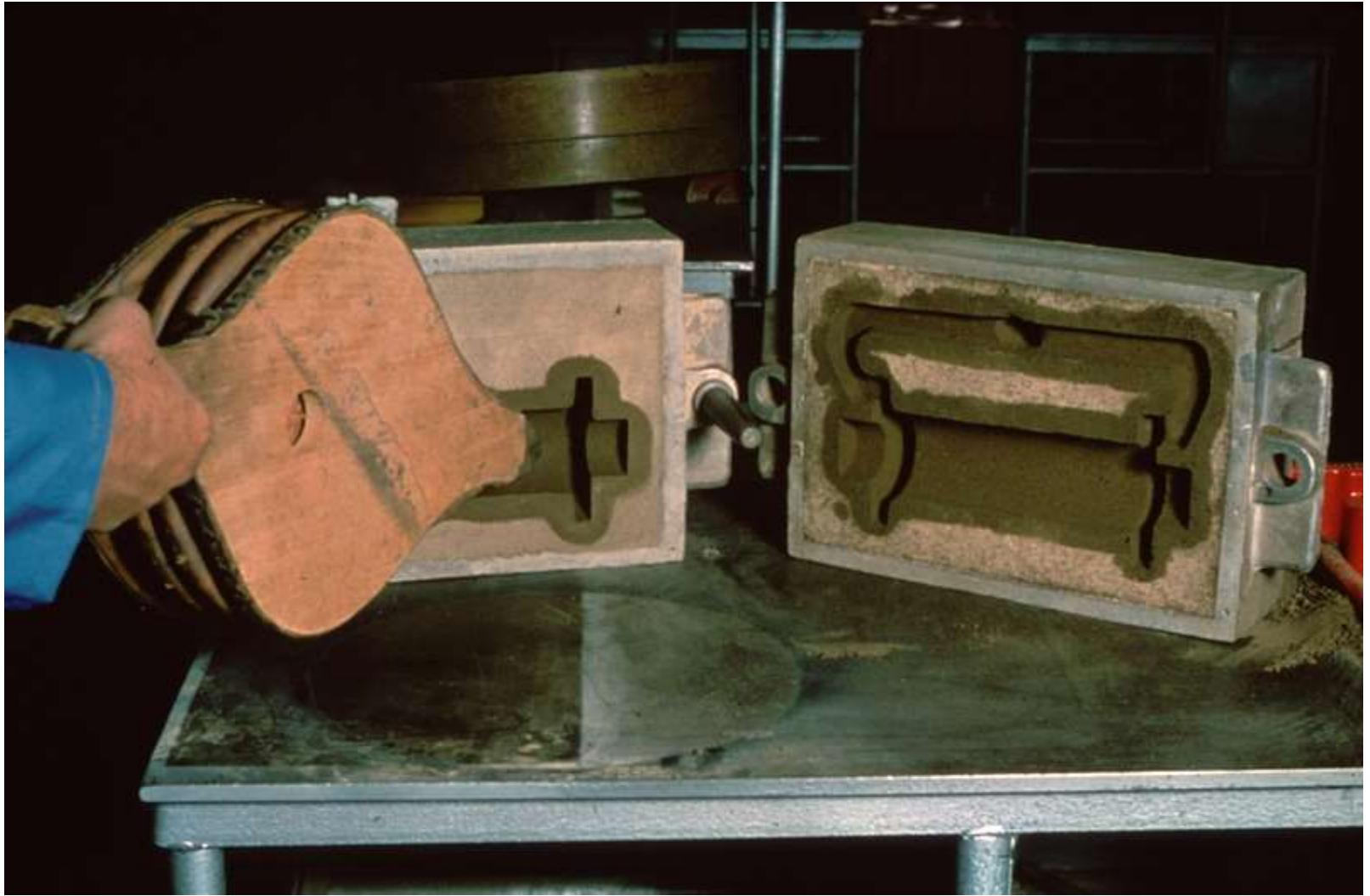
trous d'évent

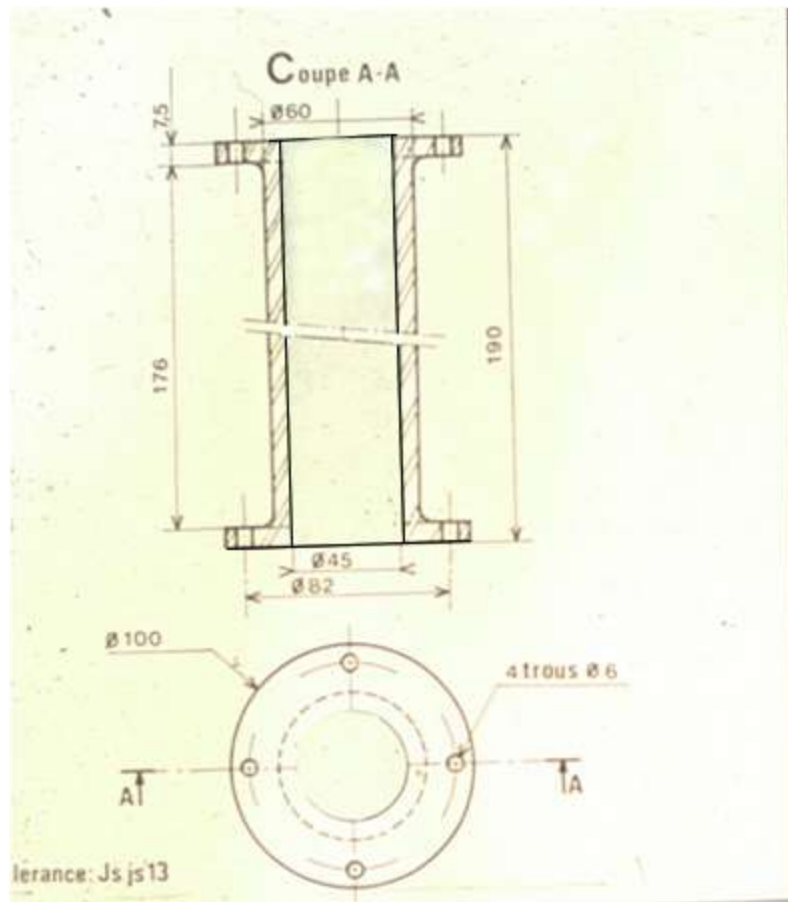












Dessin de definition de la pièce	TOULOUSE
Tubulure droite	fonderie
	document : 112

nous voulons obtenir



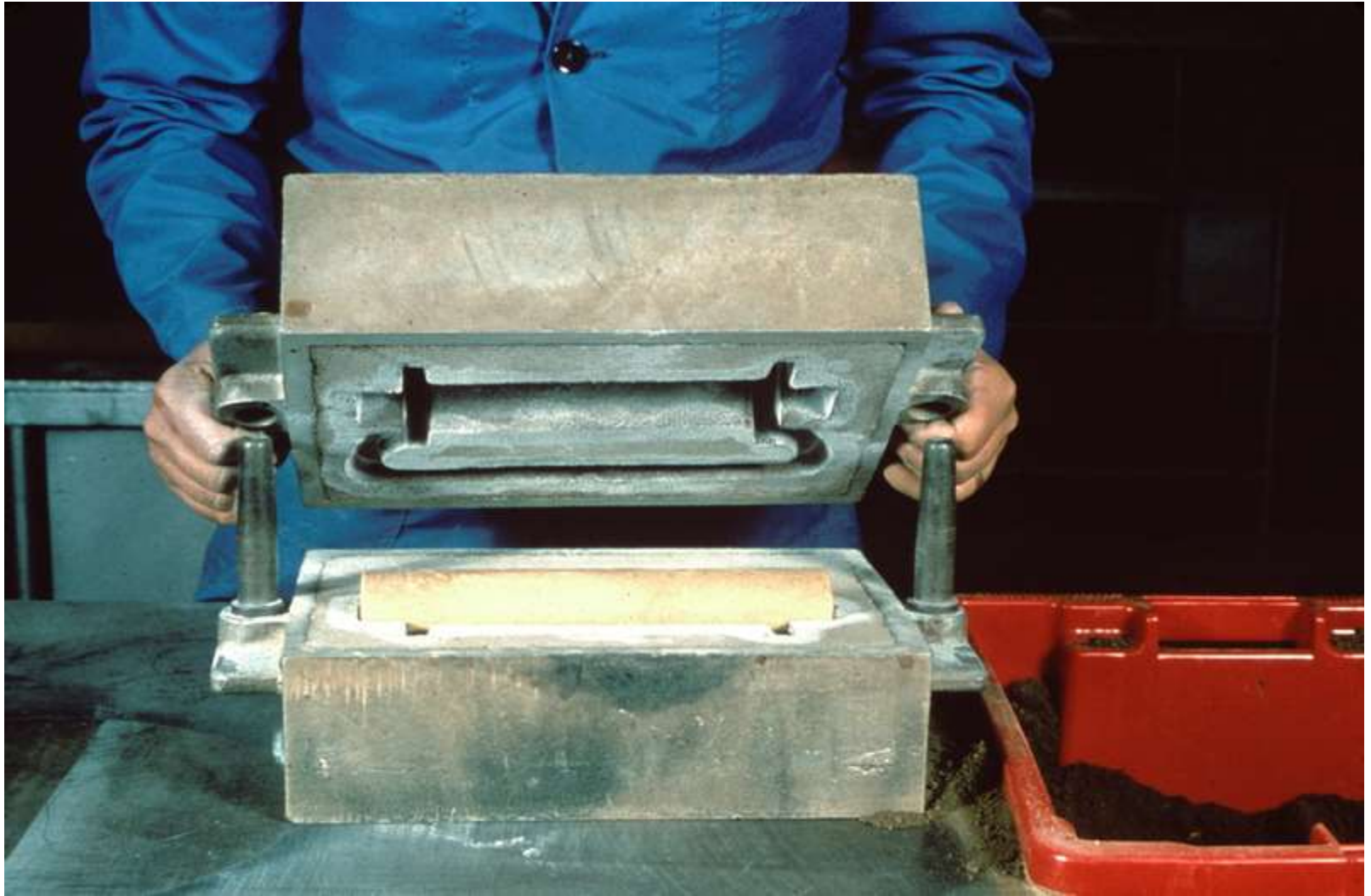
la forme intérieure

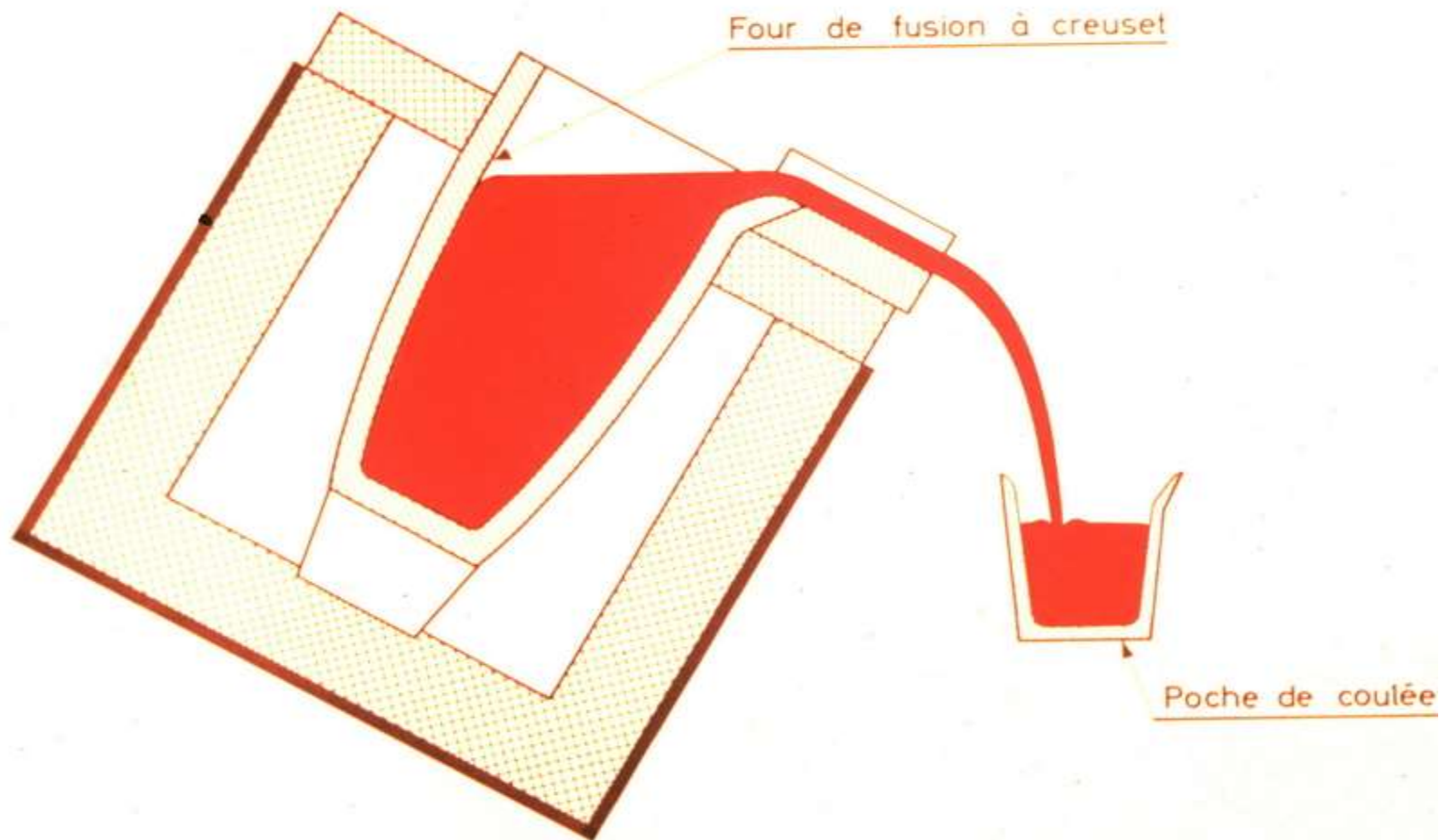
noyau



boîte à noyau













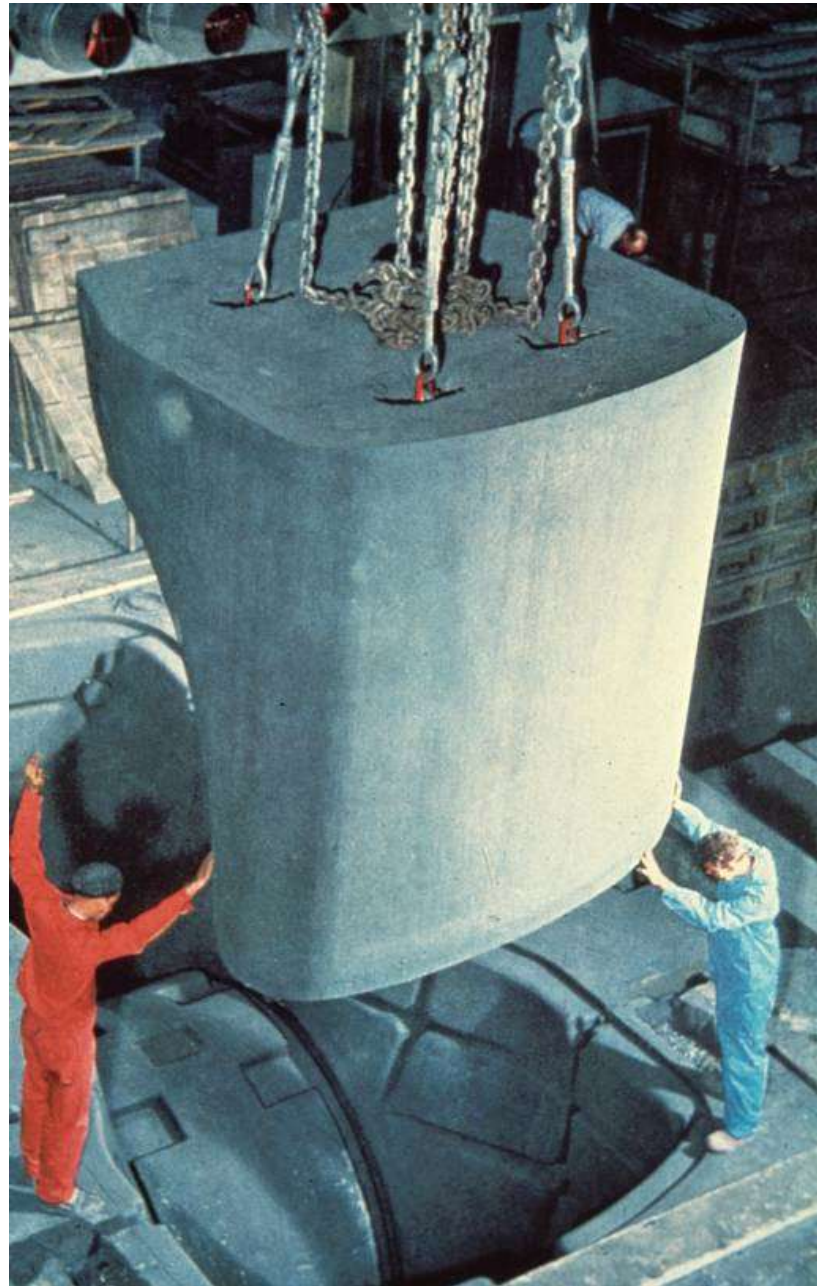




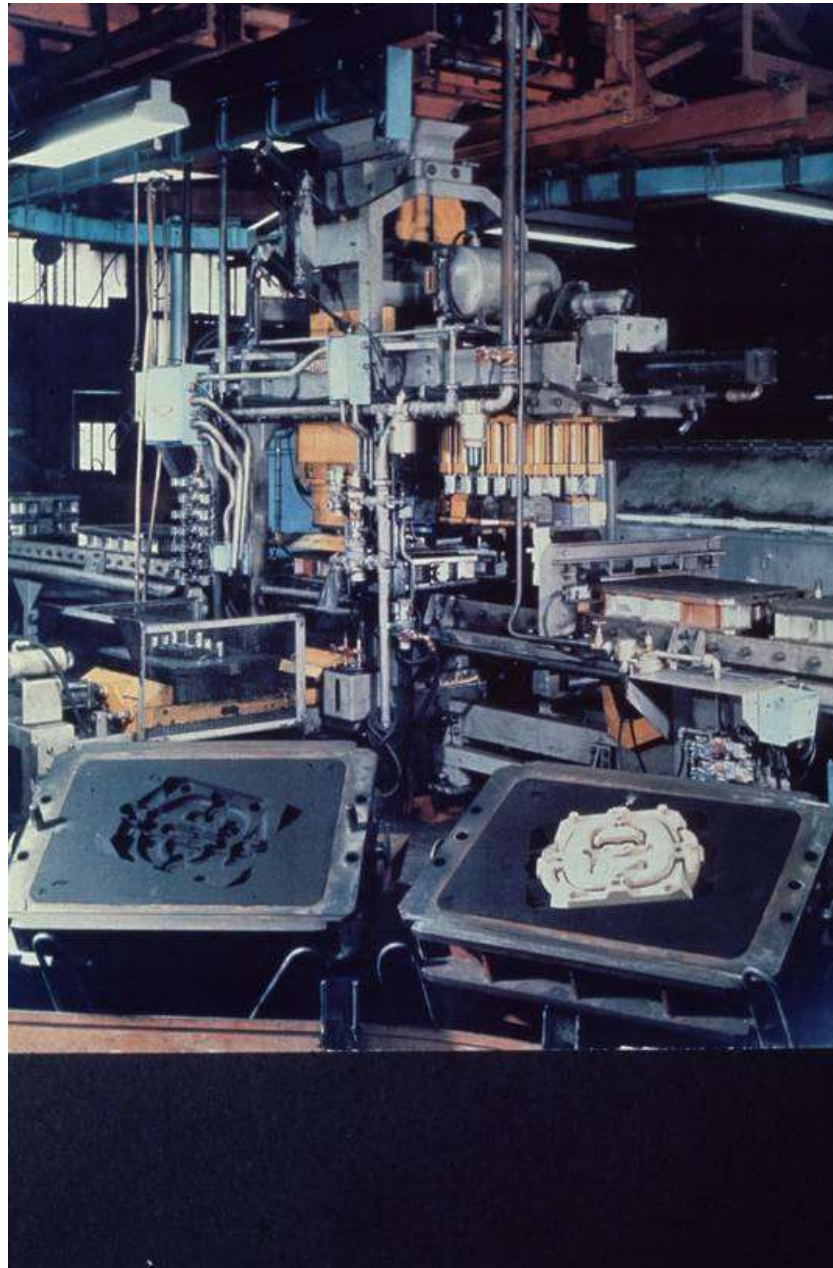


Exemple
De Grandes
Pièces Moulées











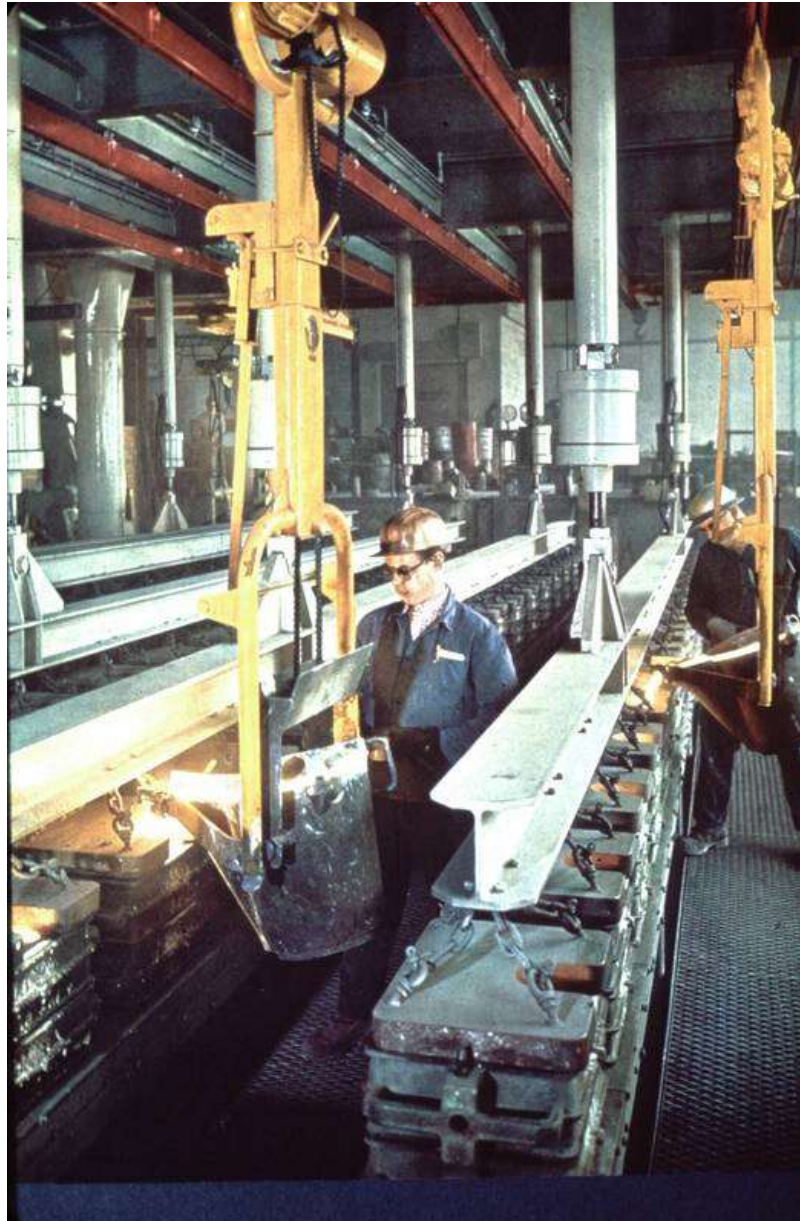
Chaînes

De

Moulage



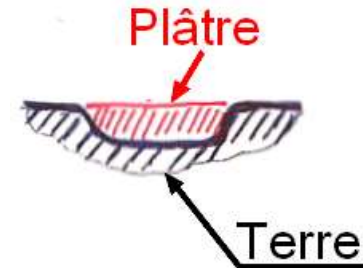






1 - Moulage en moule non permanent (sable) :

Au niveau des termes utilisés on peut se reporter à la trace de pas laissée par une chaussure dans la terre:



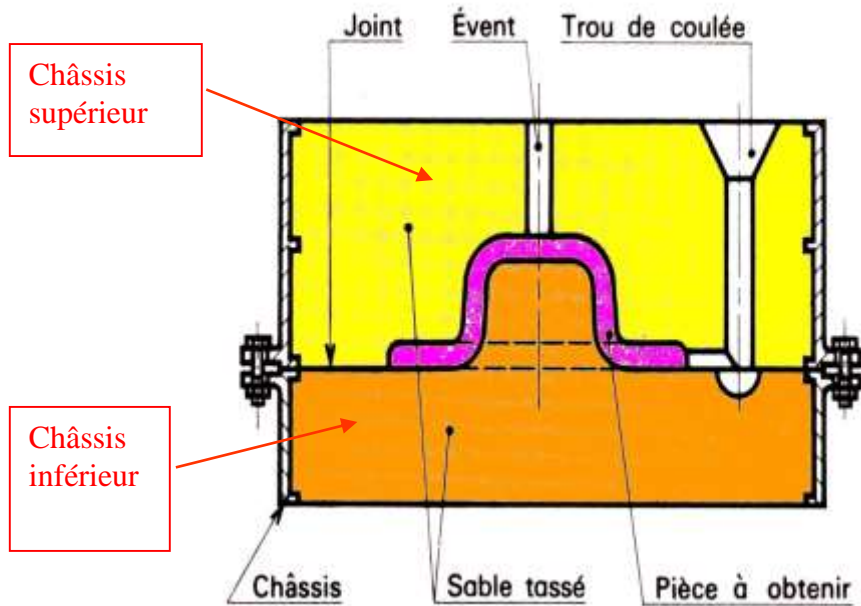
- La trace de pas dans la terre , c'est le moule
- La semelle de la chaussure , c'est le modèle
- La pièce à réaliser , c'est le plâtre que l'on peut couler dans la trace pour obtenir une semelle en plâtre .

Le moule est détruit à chaque pièce (on détruit la terre pour obtenir la semelle en plâtre).

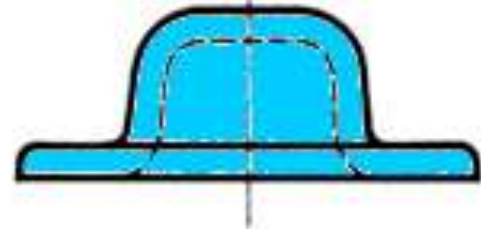
Chaque partie du moule (châssis) correspondant à une forme de la pièce constitue une empreinte partielle .

L'empreinte donne généralement les formes extérieures de la pièce , elle est obtenue par un modèle en bois ,en plastique ou en métal .

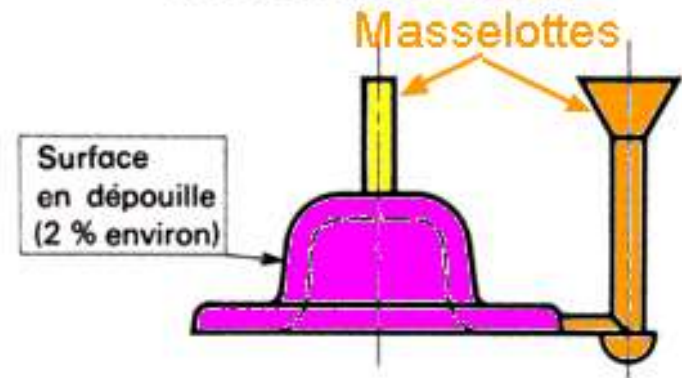
PRINCIPE DU MOULAGE EN SABLE



MODÈLE



ÉTAT DE LA PIÈCE
À LA SORTIE DU MOULE



•- Moulage sans modèle :

→ Taillage du sable de moulage par usinage .

On usine un moule à chaque fois . . → pour pièce simple et rudimentaire.

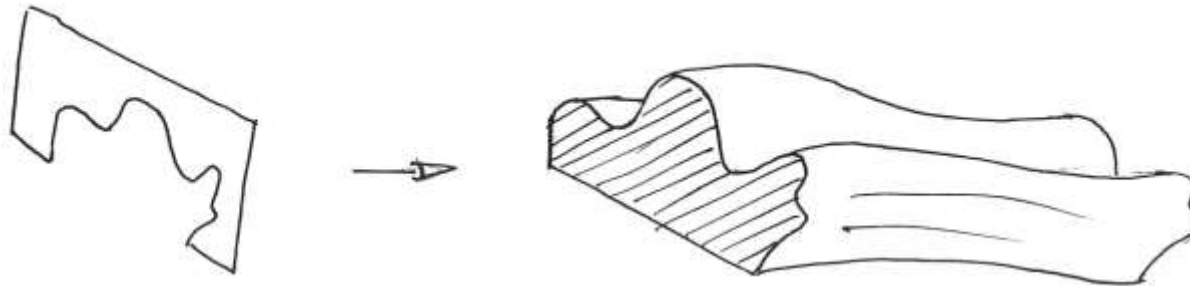
→ Moulage au trousseau :

On utilise une pièce de section constante (le trousseau) que l'on déplace dans le sable de façon rectiligne ou circulaire . → cas de la plus grosse cloche du monde coulée à Nantes



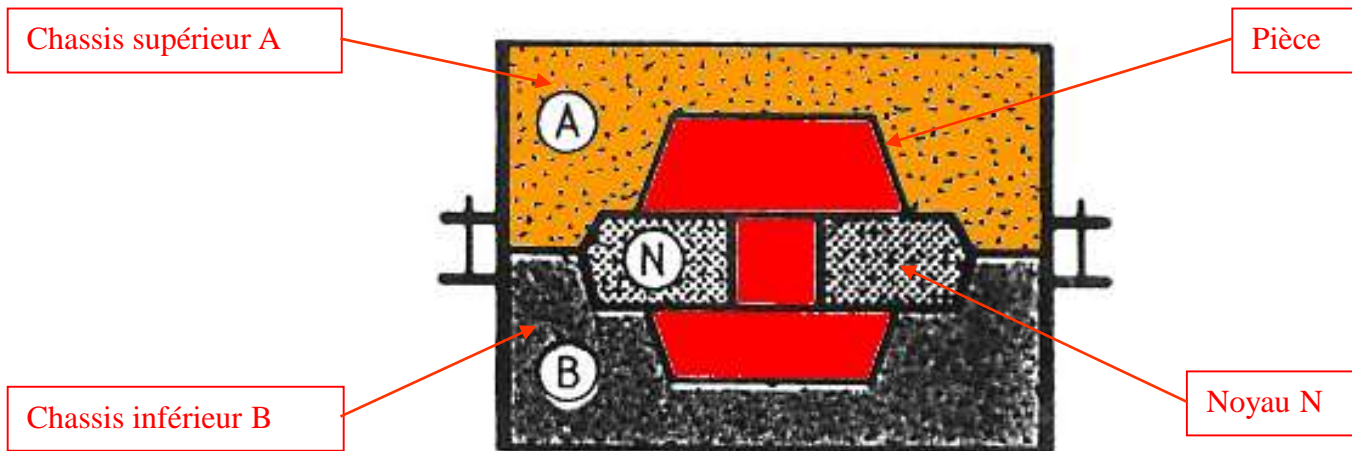
→ Sur carcasse ou sur squelette :

Le modèle est partiel (trousseau) et il permet de trousser des enveloppes complexes .



• **Moulage avec modèle :**

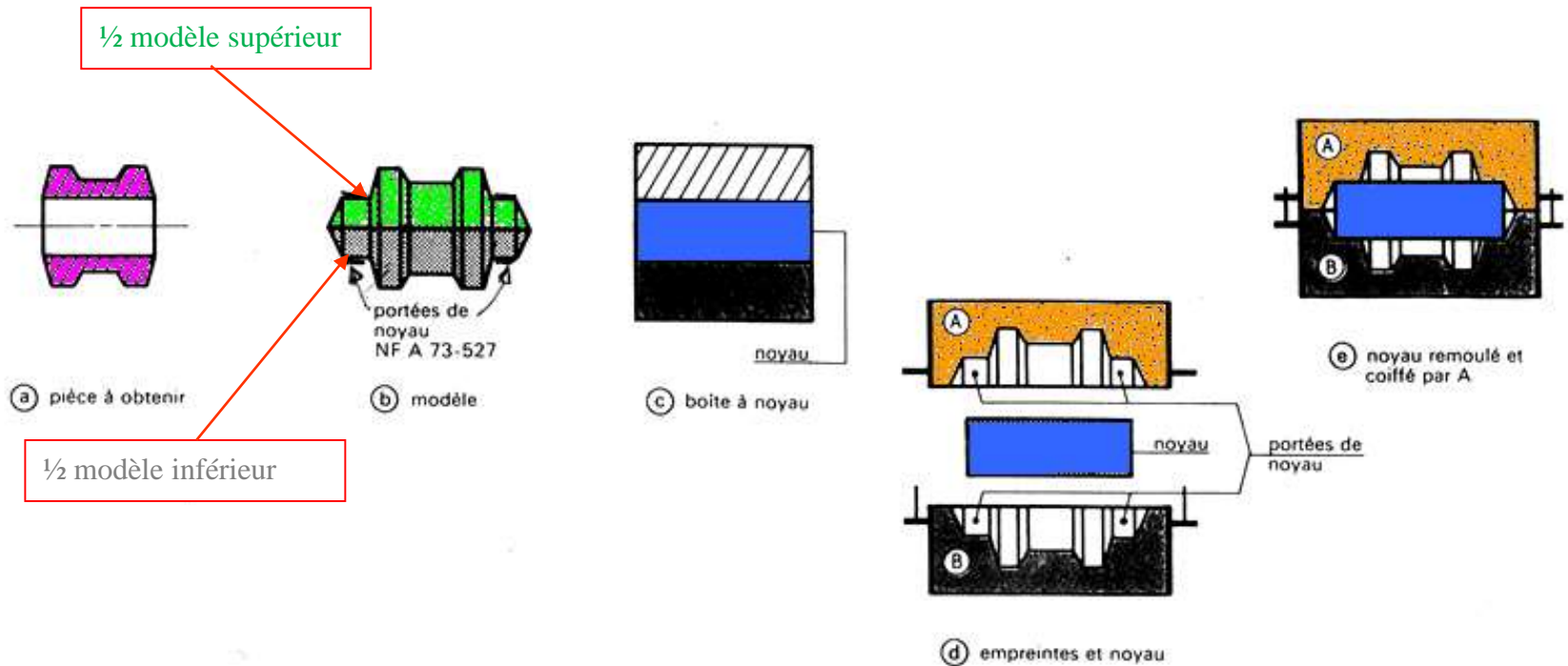
Le sable est serré contre le modèle dans un châssis ou non .
On a besoin d'un moule supérieur, inférieur et
quelque fois d'une chape (châssis intermédiaire) :



•- **Moulage avec plaque modèle :**

On crée une $\frac{1}{2}$ empreinte par un $\frac{1}{2}$ modèle et les chapes sont remplacées par des noyaux .

➔ Moulage en châssis :

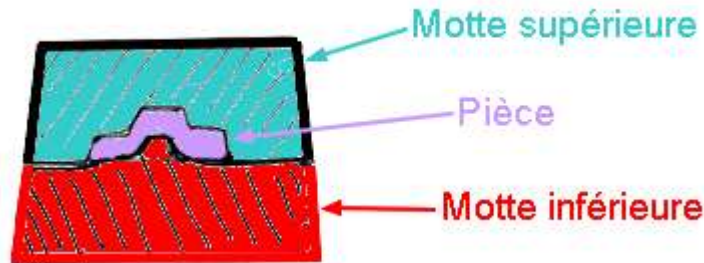


→ Moulage en motte :

On a pas de châssis .

pour pièces moyennes et petites .

C'est moins cher et pas d'entretien de châssis .



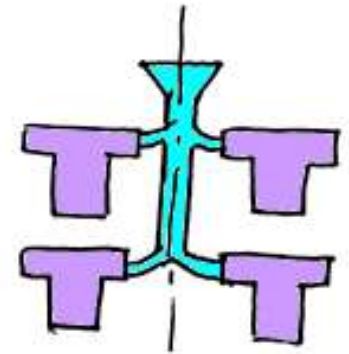
→ Moulage en grappe :

On fait plusieurs pièces dans la même coulée .

Ex : un moule pour quatre pièces .

La « mise au mille » c'est à dire le rapport de masse (pièce +accessoire) sur masse de la pièce finale diminue avec le moulage en grappe.

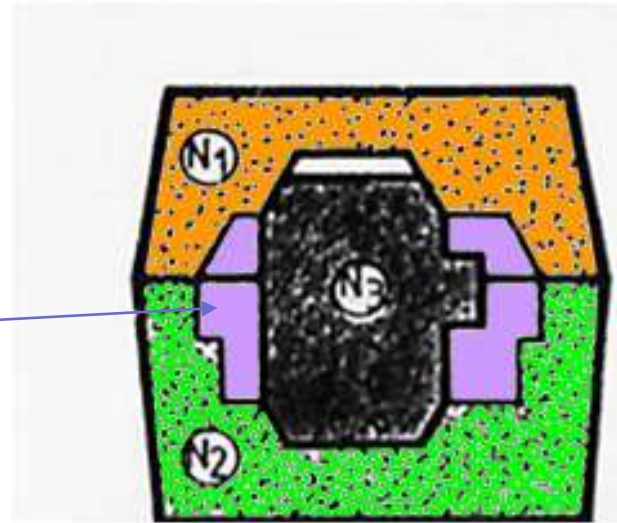
La « mise au mille » est un nombre >1



•- **Moulage avec noyau :**

Le noyau : structure en matériau de moulage donnant des reliefs correspondant à des formes intérieures ou parfois extérieures .

Pièce moulée



→ Moulage partiel (cas général)

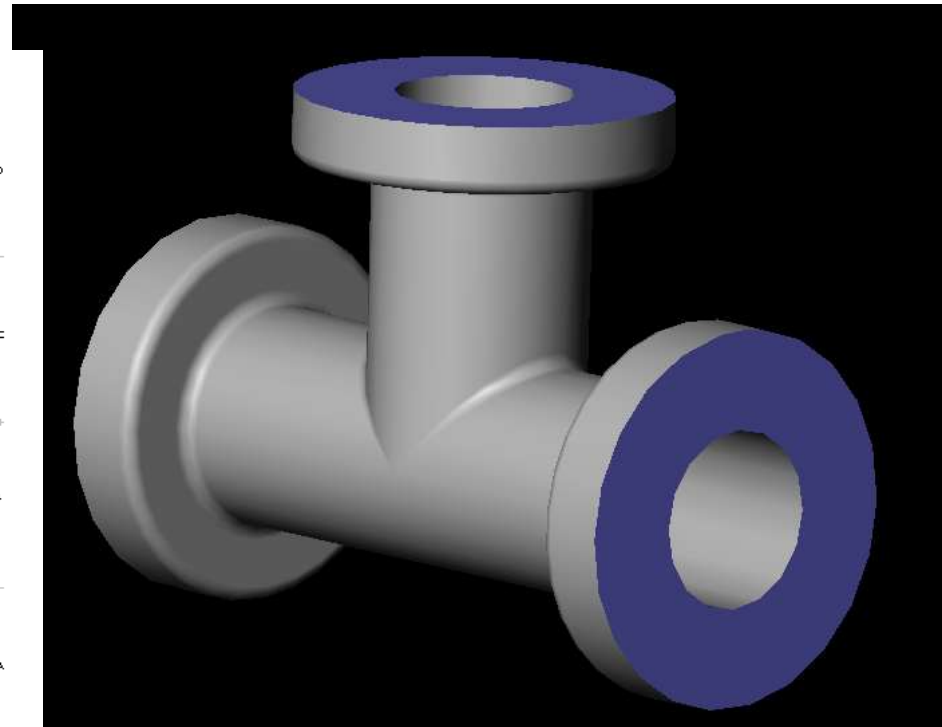
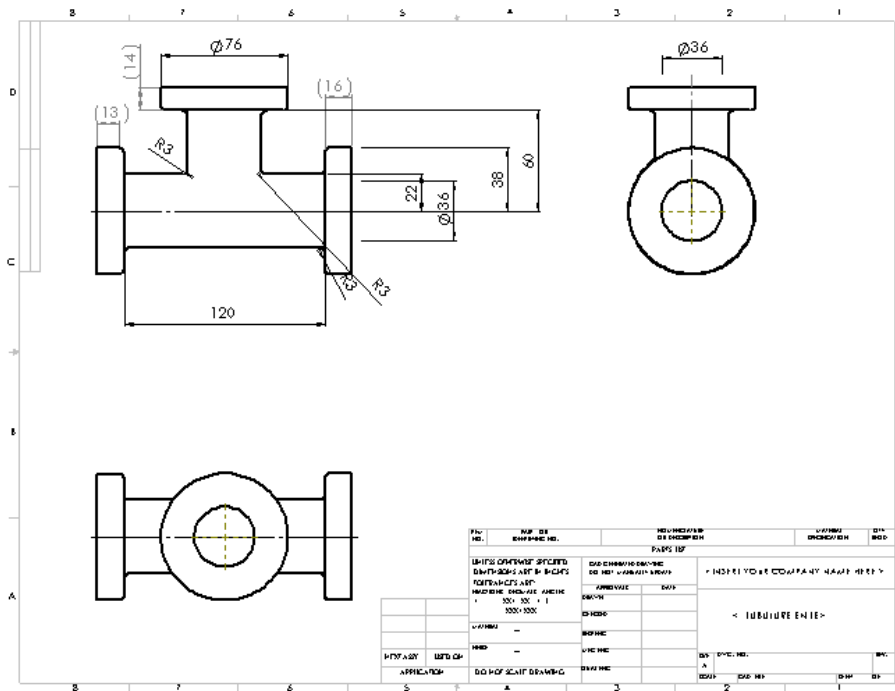
Ex : intérieur ,alésage .

→ Moulage intégral :

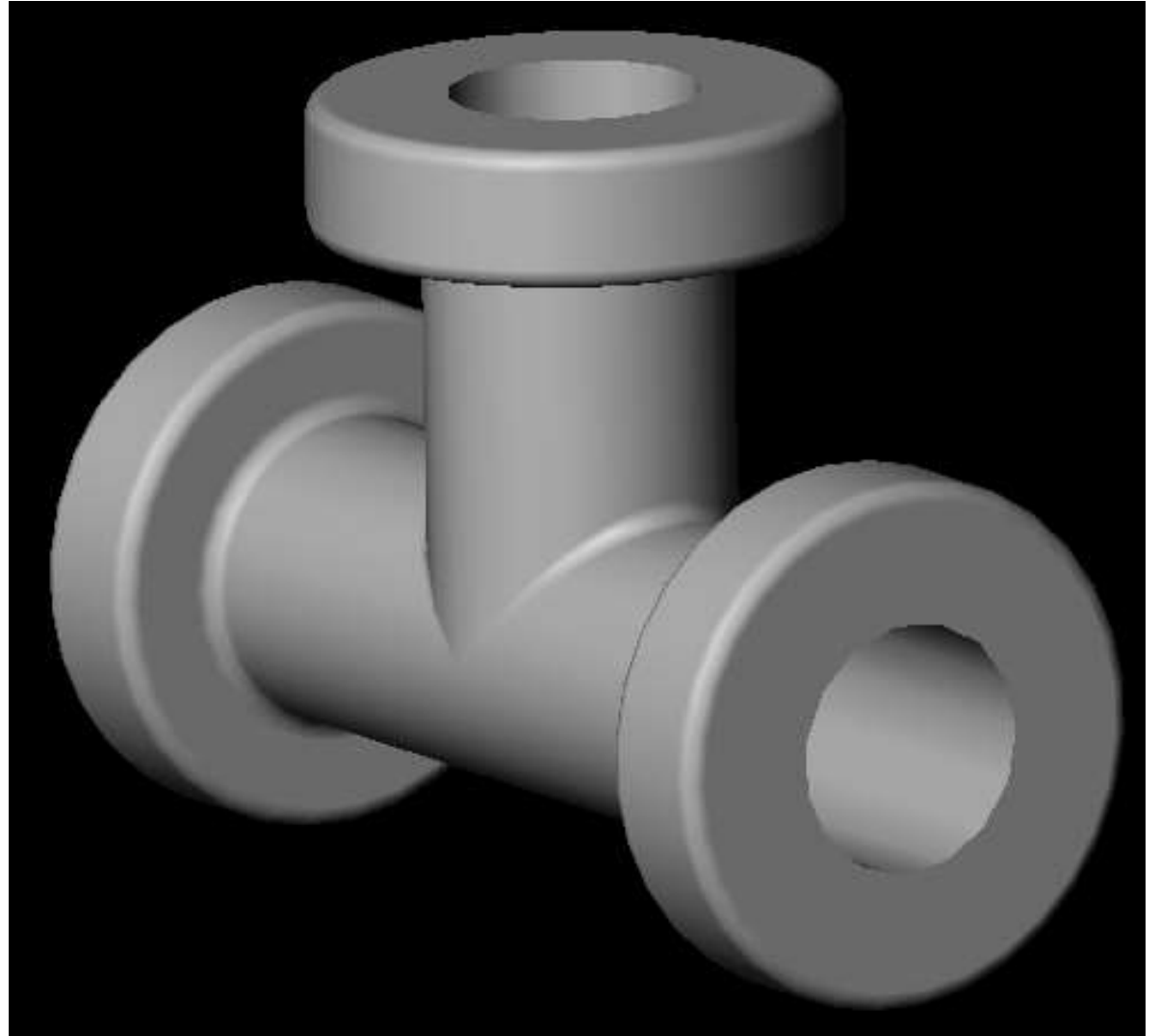
Il n'y a que des noyaux . → schéma pour trois noyaux
(N1, N2, et N3)

Moulage au sable les étapes:

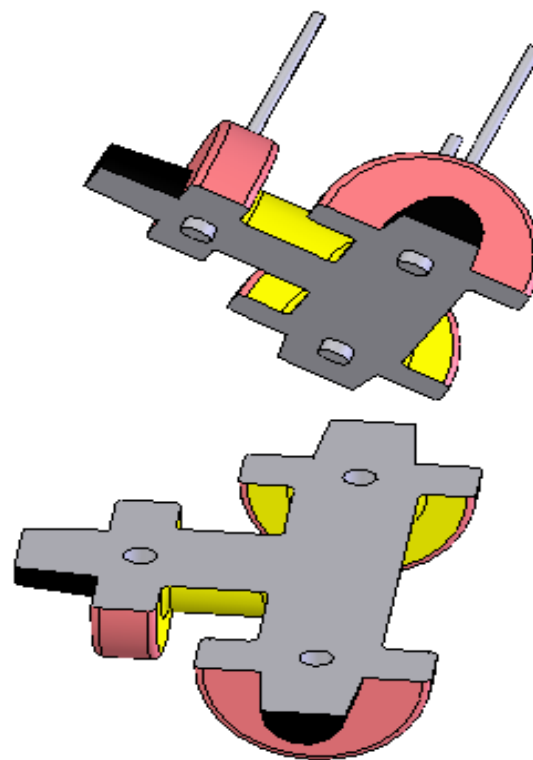
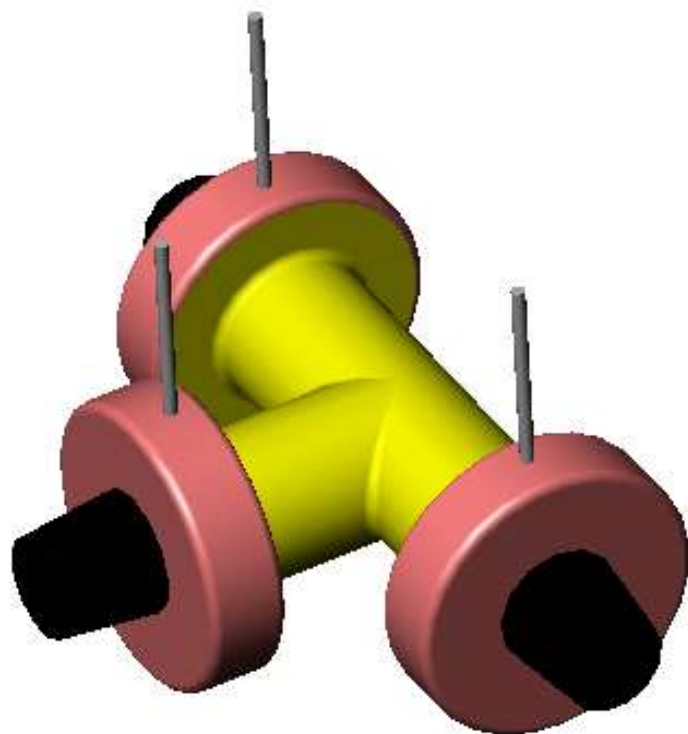
Dessin de la pièce



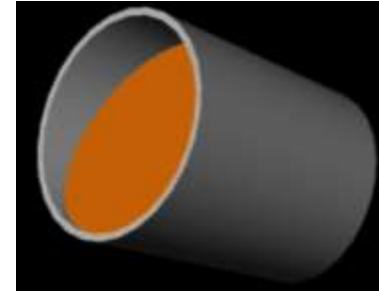
Dessin du brut



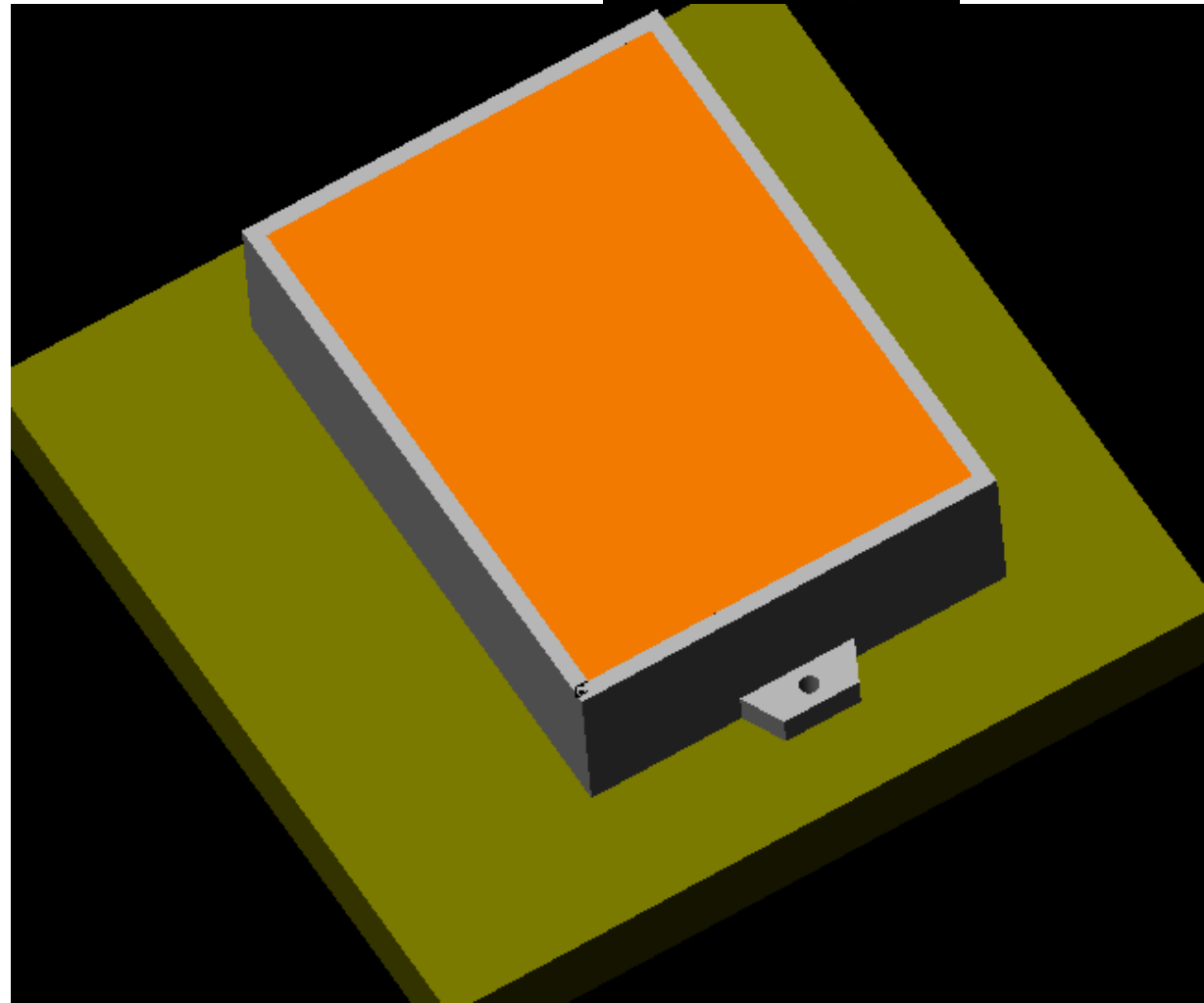
Réalisation du modèle



Châssis inférieur

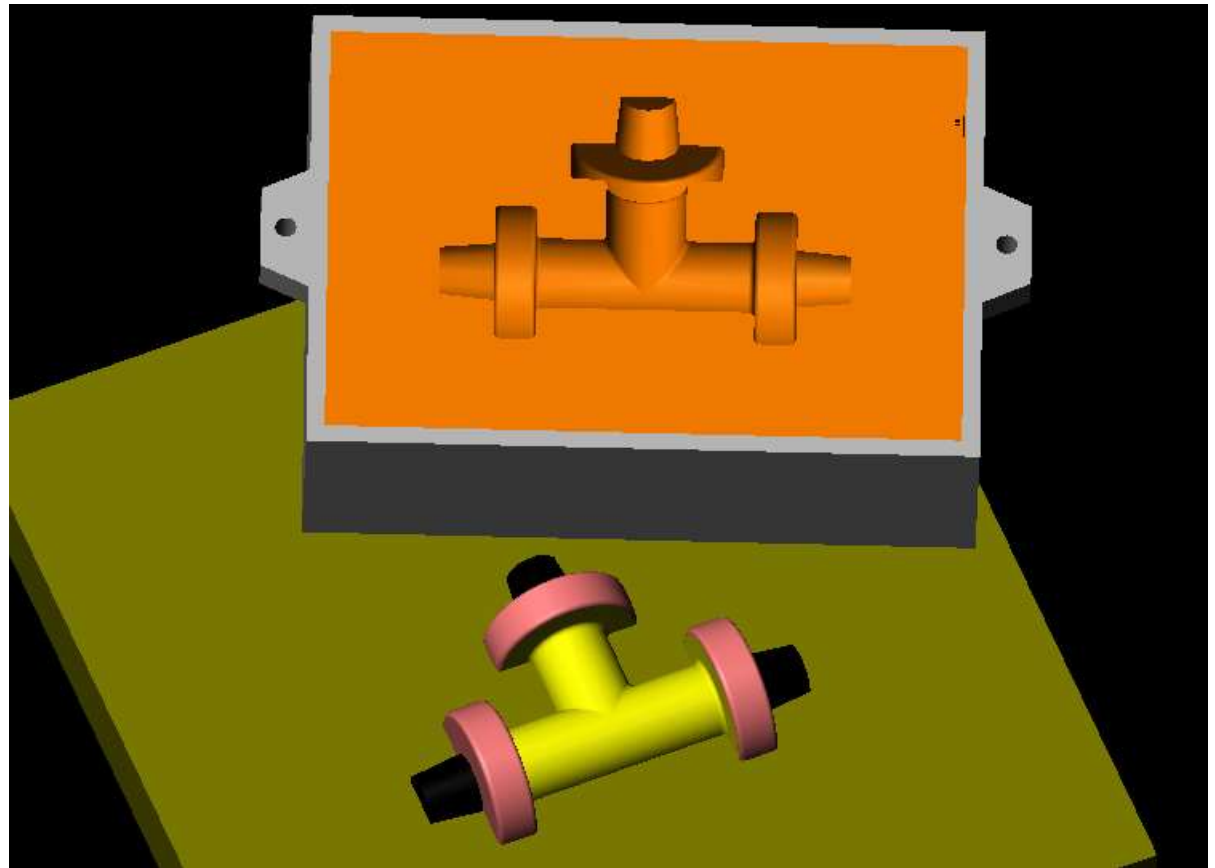


Remplissage de
sable

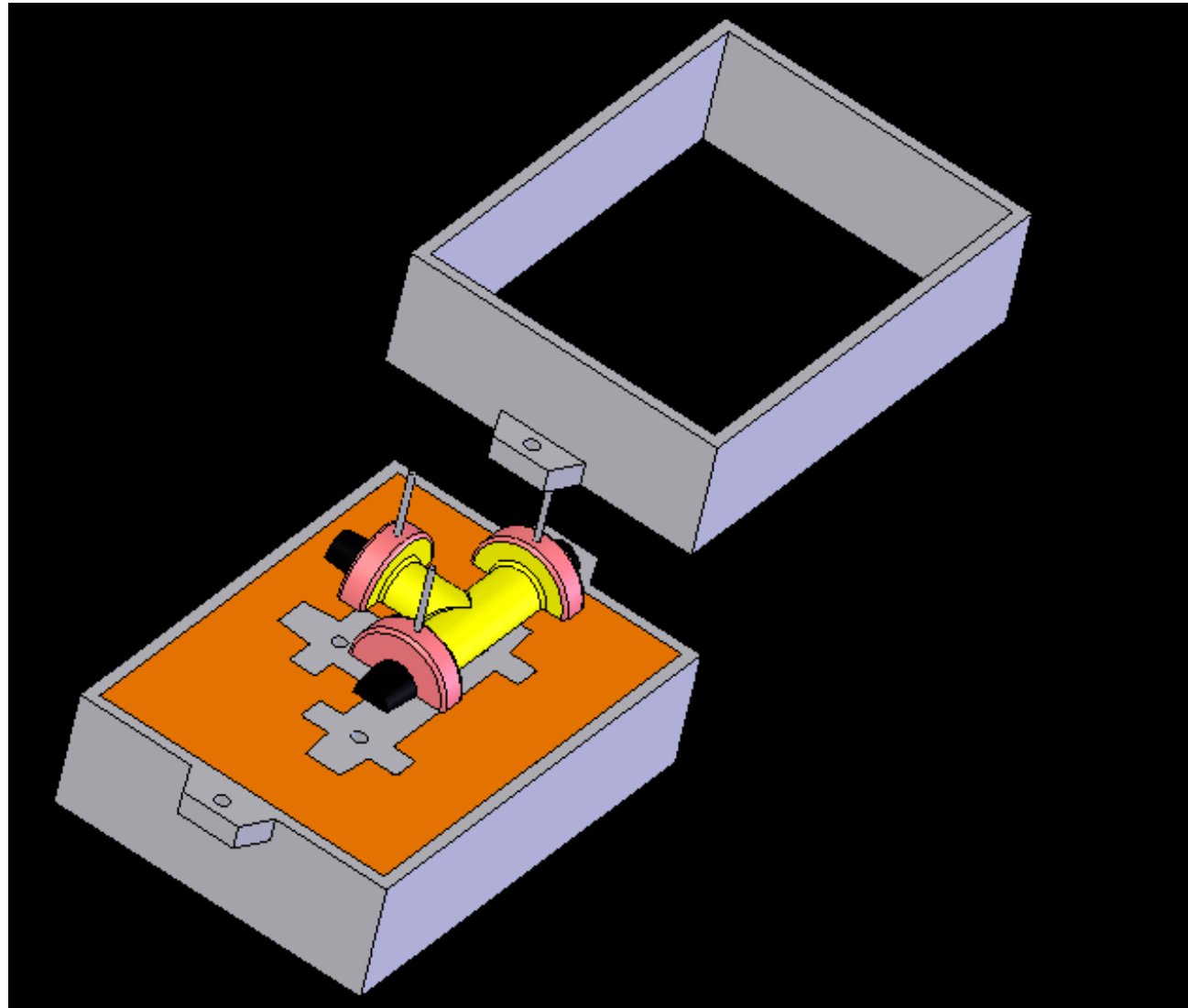


Démoulage du châssis inférieur

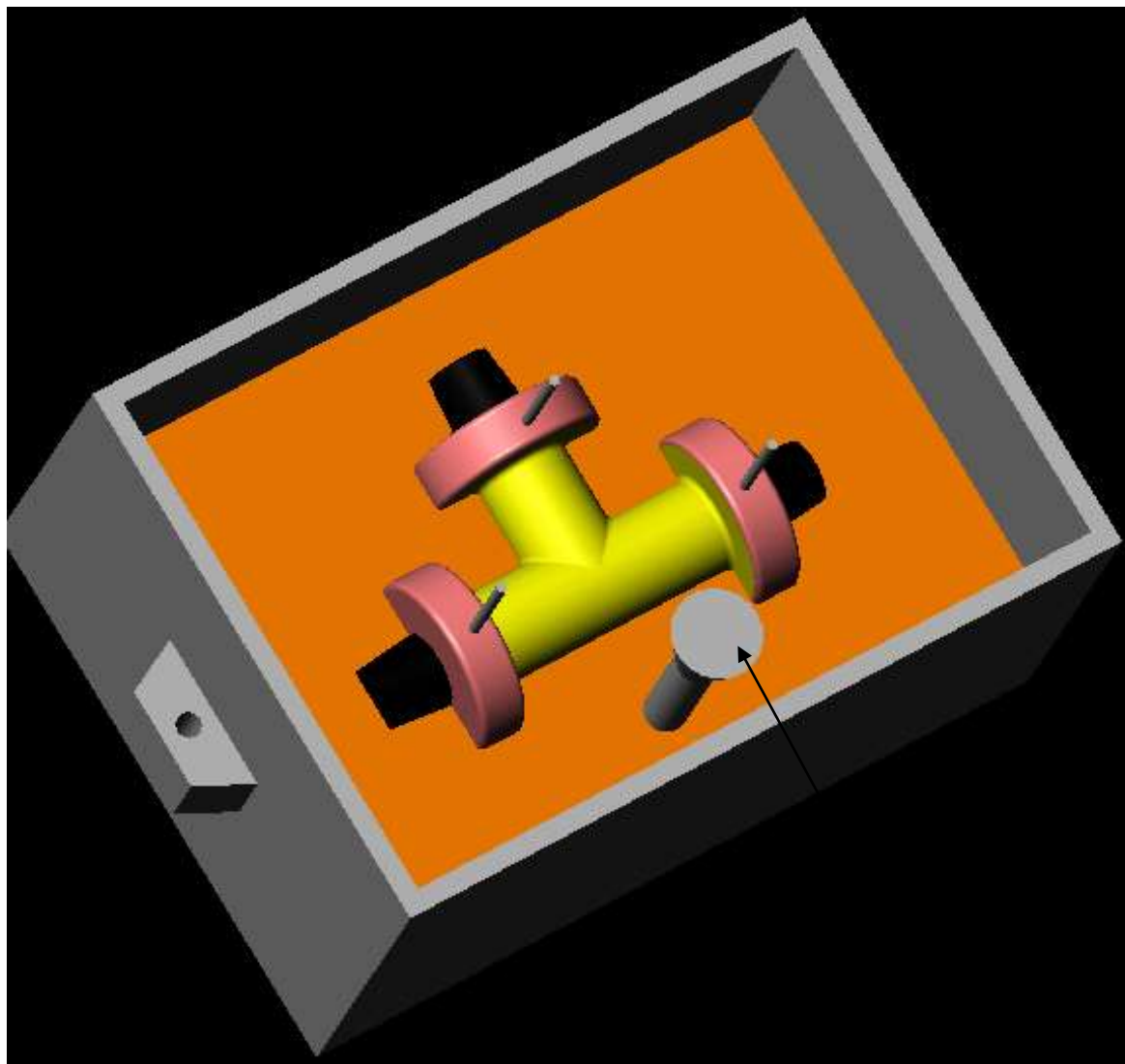
C'est dans les phases de démoulage du modèle qu'il ne faut pas de contre-dépouille



Assemblage des châssis

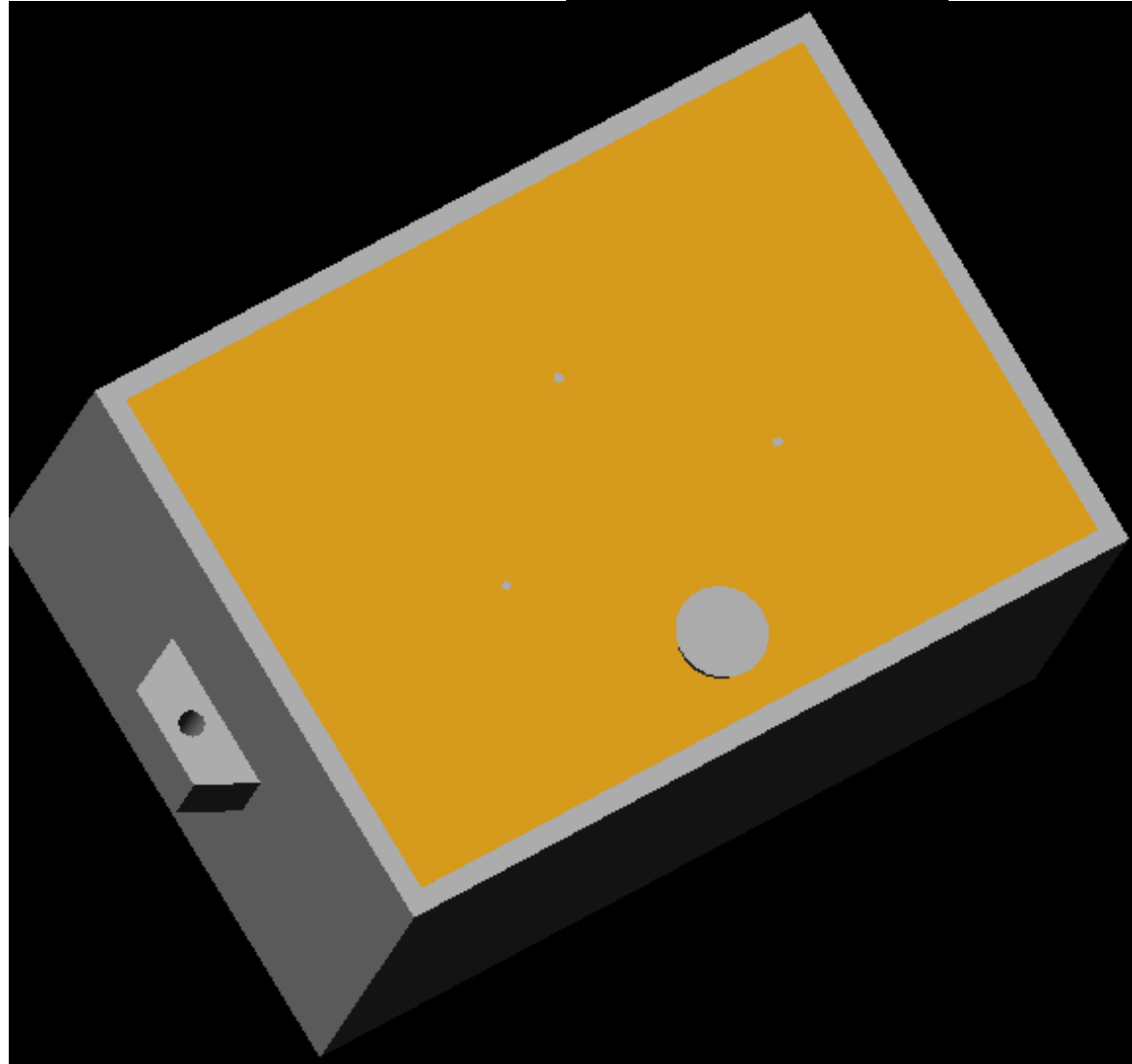
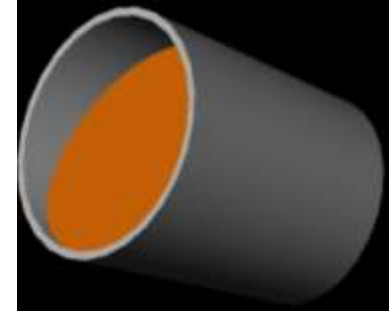


Châssis supérieur

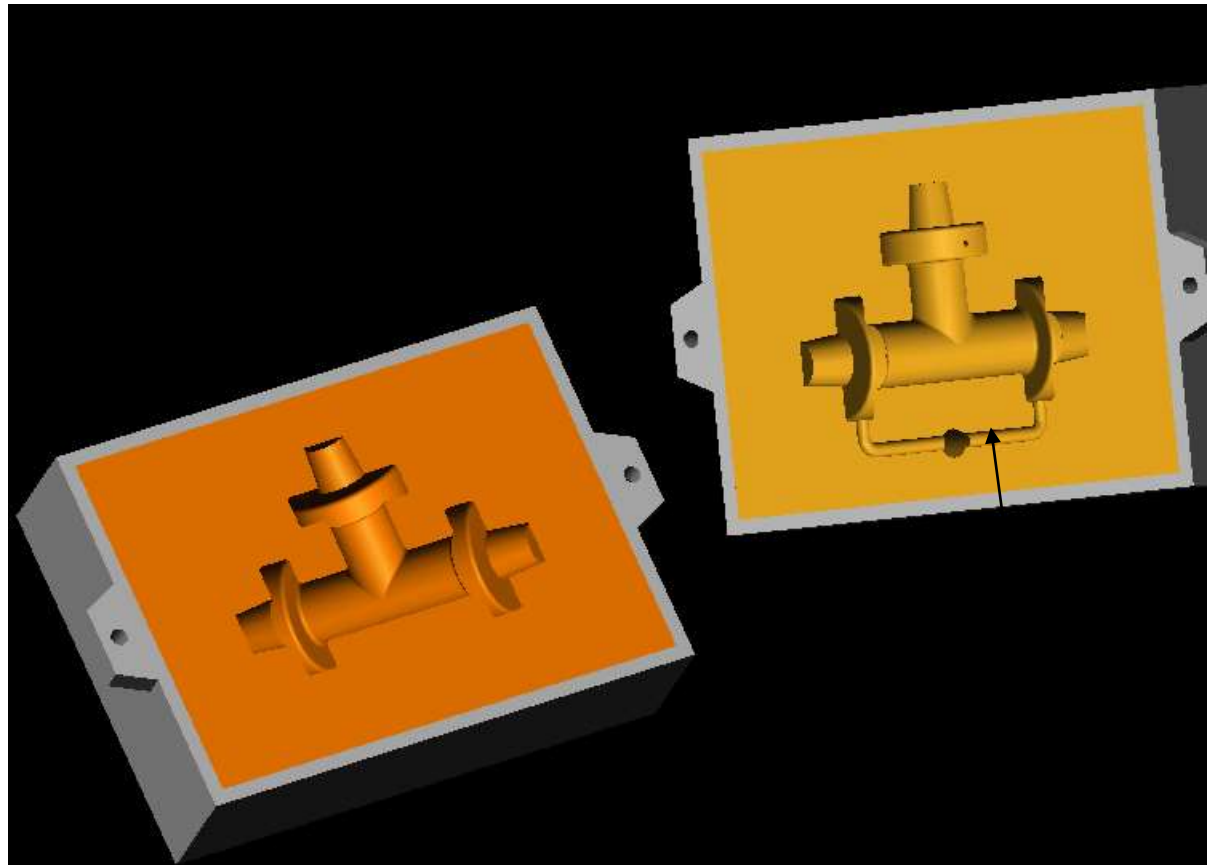


Châssis supérieur

Remplissage de
sable

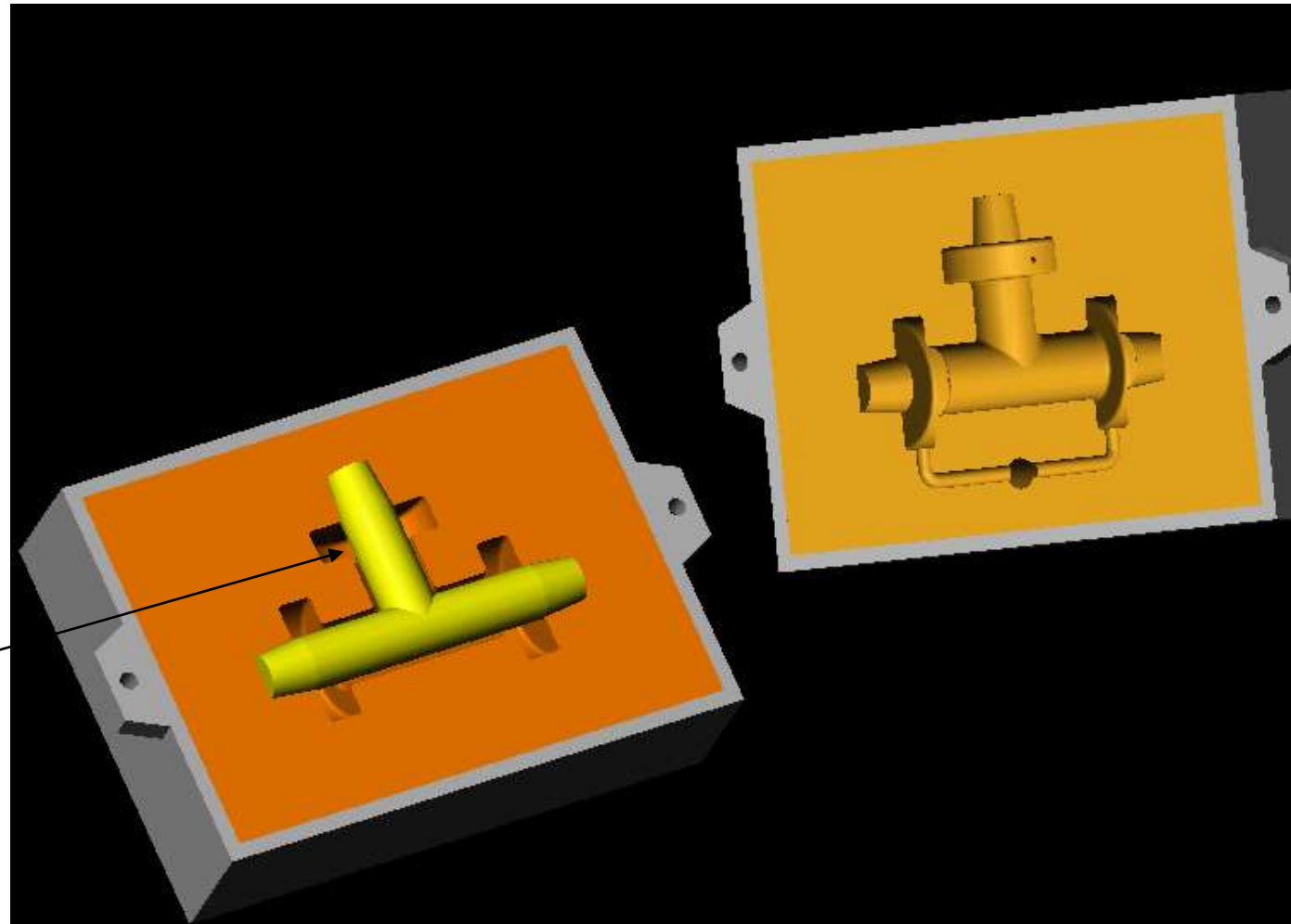


Démoulage du modèle

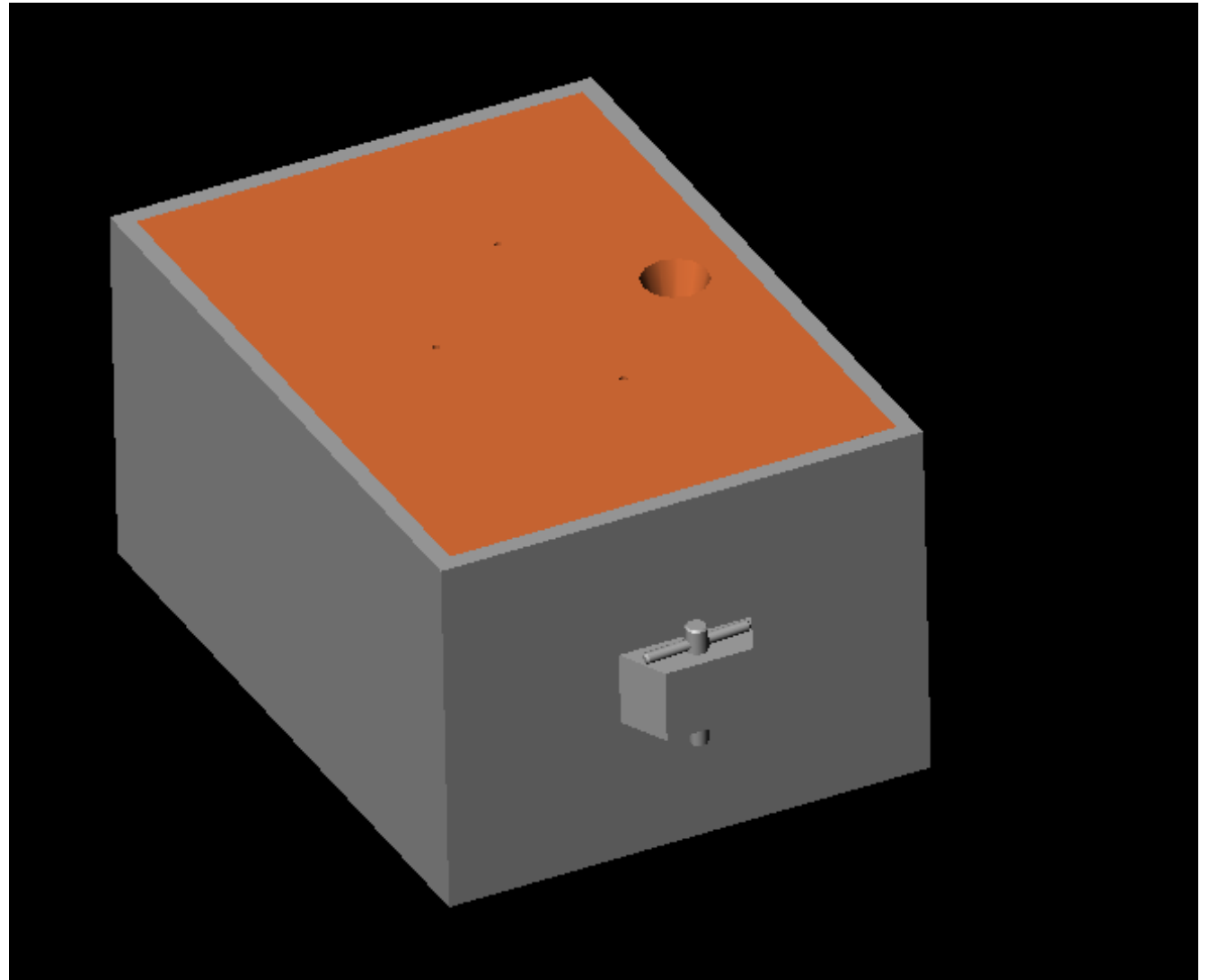


Noyautage

Mise en place du
noyau

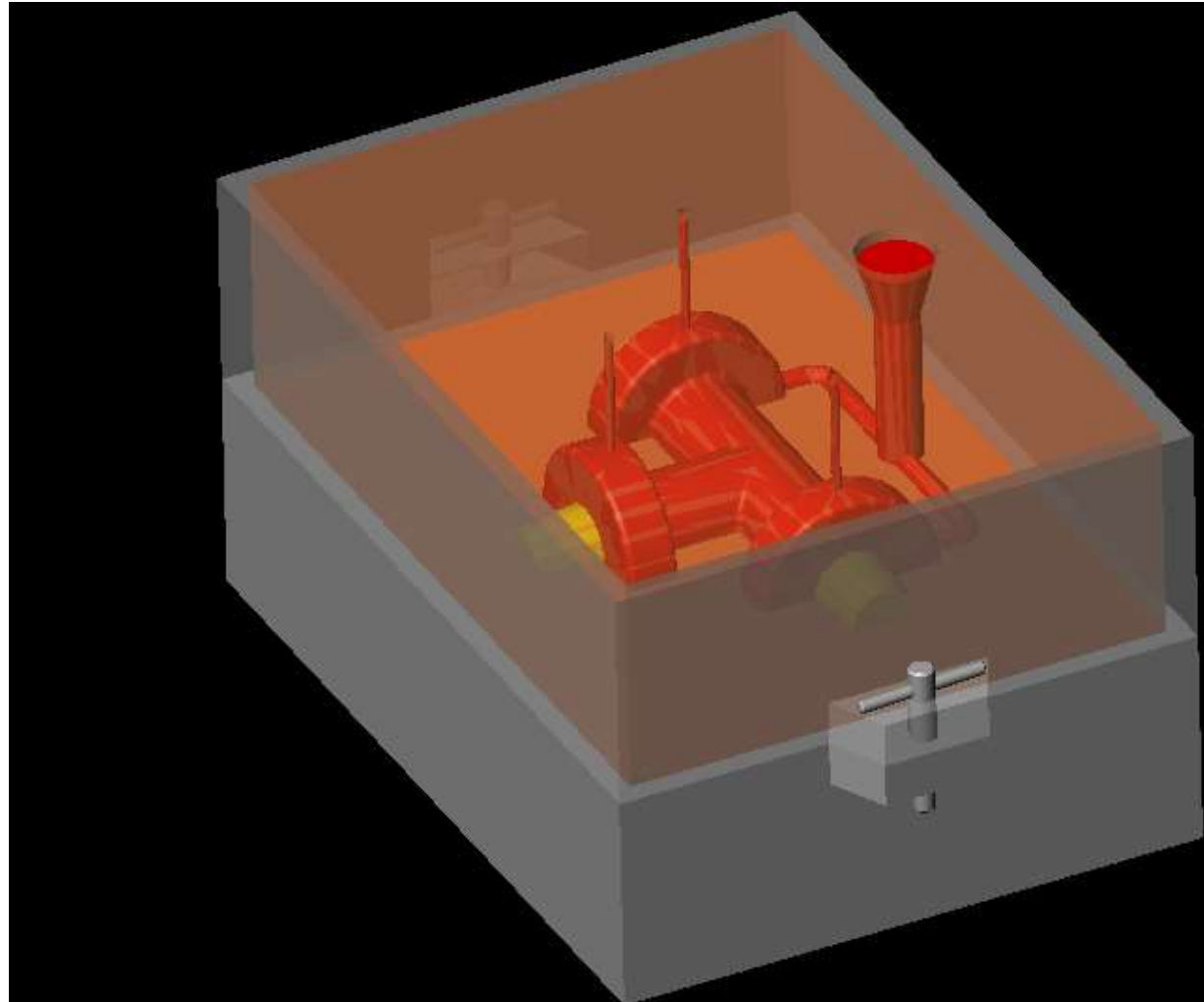
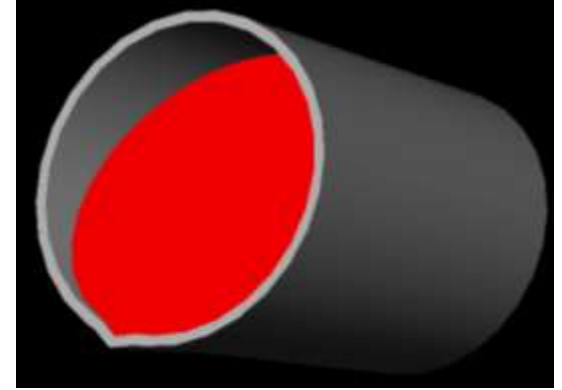


Fermeture du moule

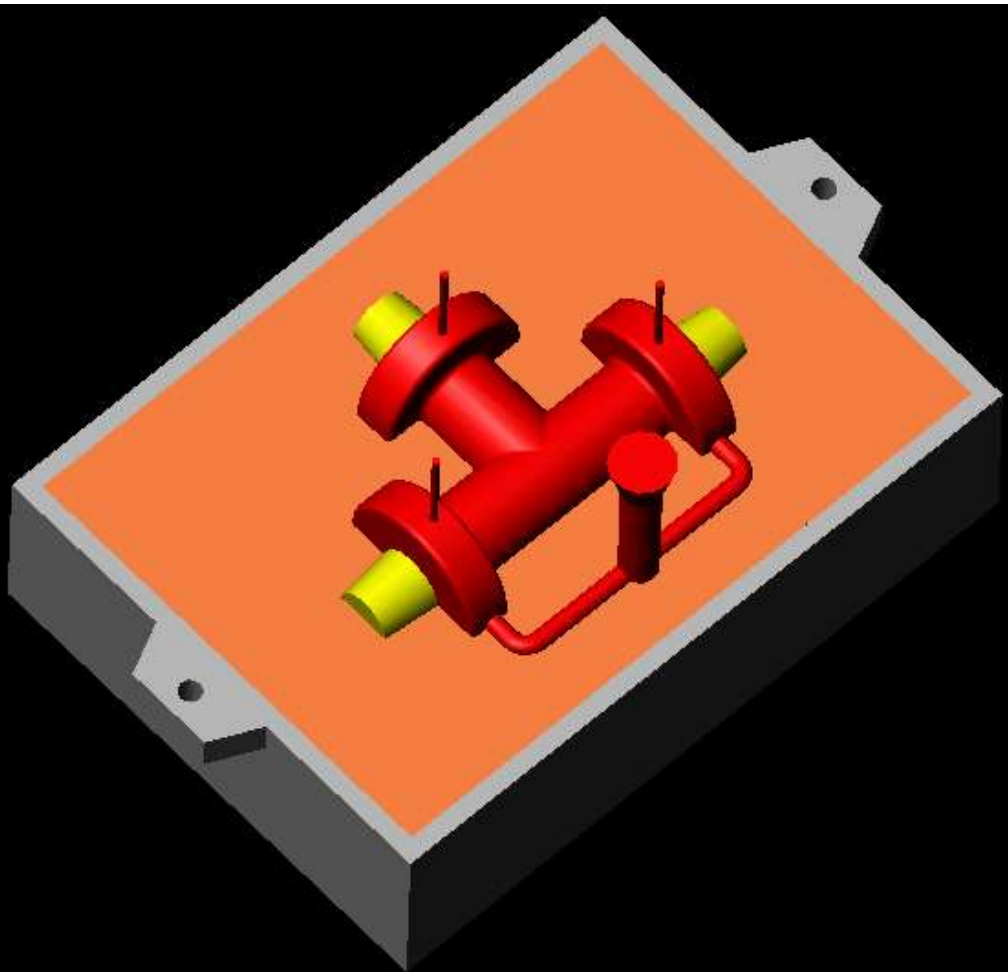


Coulée

Coulée du métal



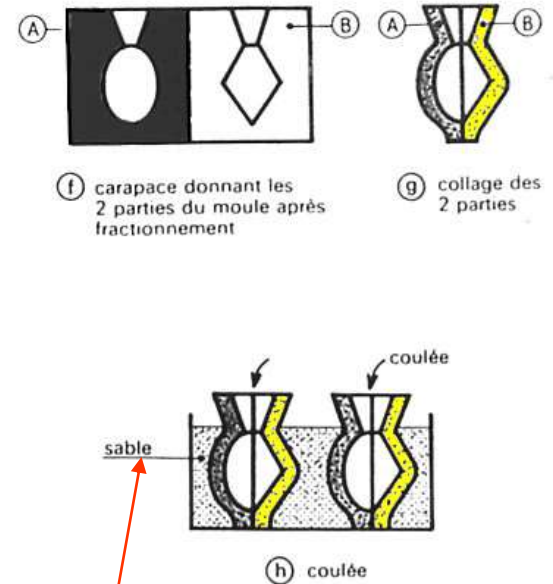
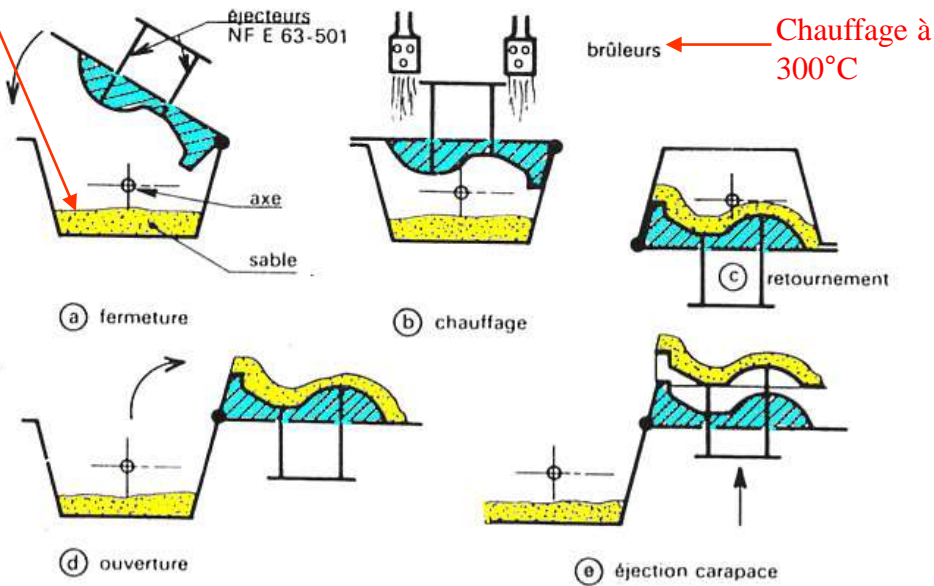
Démoulage



- Moulage en carapace : (*Procédé Kroning; permet d'obtenir une bonne précision et un bon état de surface*)

On crée des carapaces qui vont donner les parois du moule .(*carapace de 4 à 8 mm d'épaisseur*)

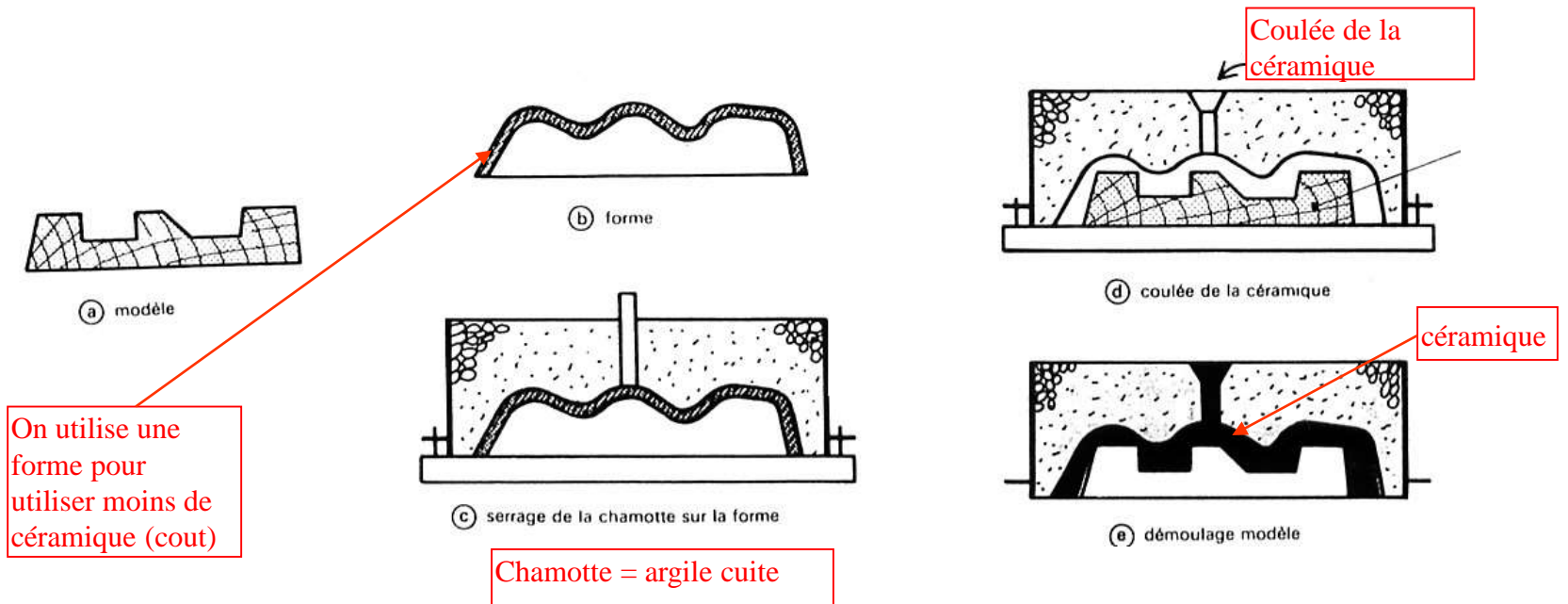
+ résine
thermodurcissable



(Pour le maintien en position des carapaces)

•- **Moulage céramique** :(procédé Shaw, Unicast..)

C'est un moulage de précision pour obtenir des empreintes et des noyaux pour des moules et non des pièces . Les moules sont ensuite utilisés pour faire des pièces .



•- ***Moulage au plâtre :***

On va trouver à la place du sable :

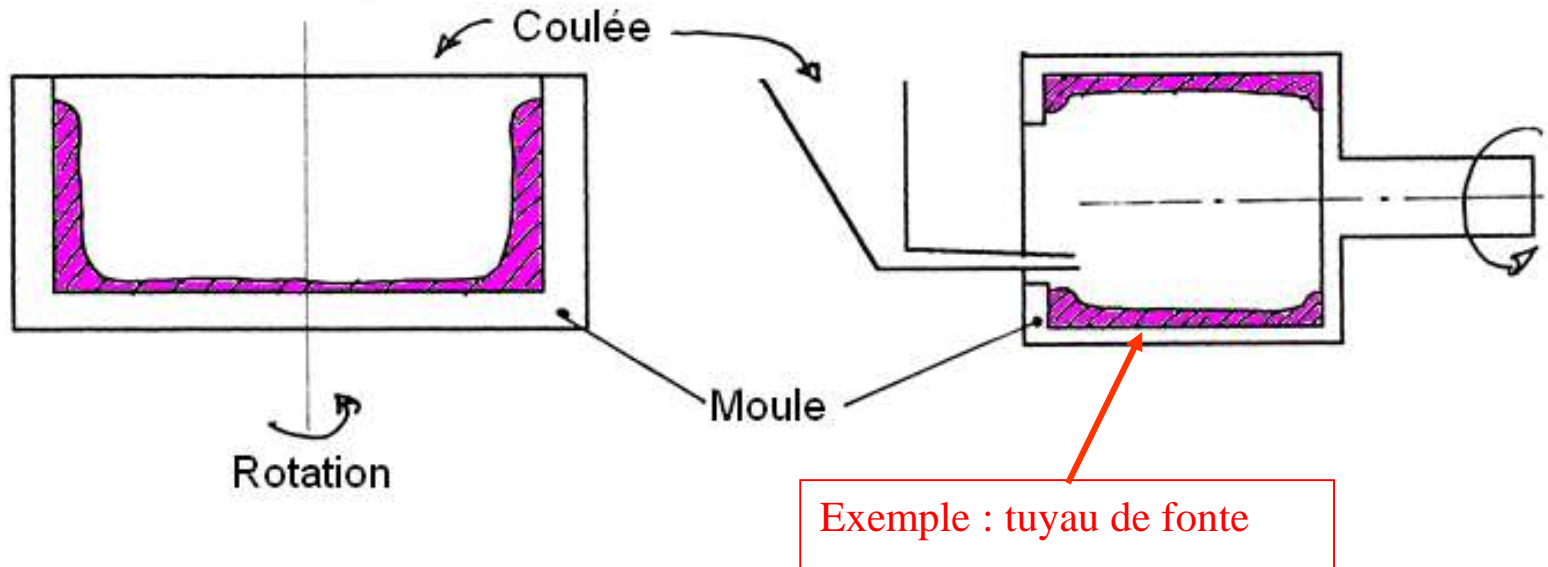
Plâtre	+	Silice	+	Talc
40 à 80 %		50à10%		10à30%

Avantage : Bon état de surface .

Inconvénient : Il faut un préchauffage du moule à cause du choc thermique .

•- **Moulage par centrifugation :**

On utilise l'inertie du métal pour le répartir dans le moule .



- **- Moulage à modèle non permanent :**

Ex : Pas de possibilité de démoulage du modèle .

Coût des plaques-modèles trop élevées .

Simplification du moule .

Les modèles peuvent être :

→ en cire perdue :

Pièces complexes de quelques grammes à 30kg

Alliage à mauvaise coulabilité (moule chaud)

Réduction du parachèvement (pas de joint , pas de bavure)

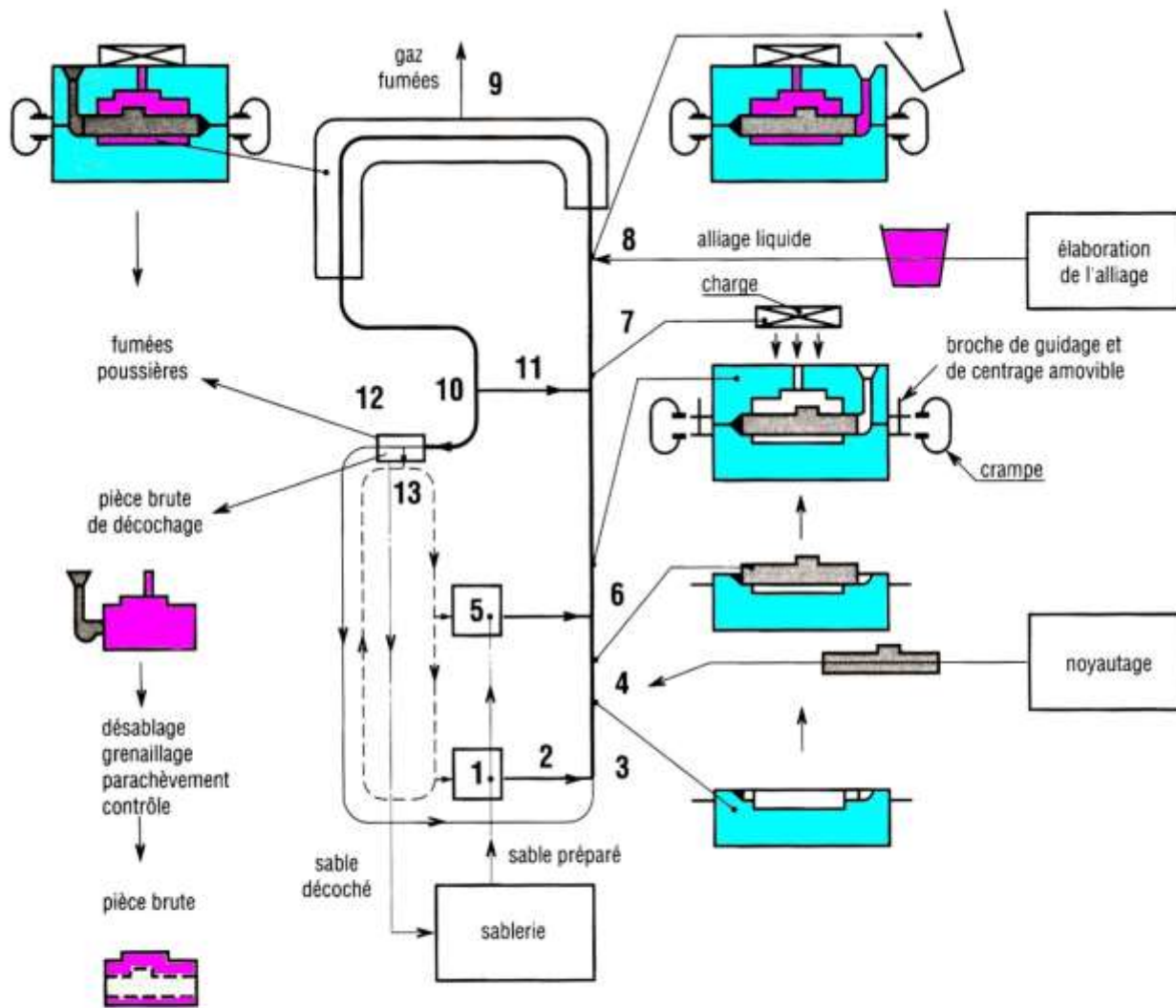
Excellent état de surface et de précision

→ gazéifiable :

Modèle en polystyrène expansé qui est éliminé pendant la coulée .

→ éliminés avant la coulée :

Alliages rigoureux . On détruit le modèle par fragmentation ou par combustion (moule en plusieurs parties) .



- circuit moules
- convoyeur principal
- transfert
- convoyeur châssis vides
- circuits annexes

- 1 serrage châssis inférieur
- 2 retournement
- 3 transfert sur convoyeur
- 4 remoulage noyau
- 5 serrage châssis supérieur

- 6 fermeture du moule et crampage
- 7 chargement
- 8 remplissage du moule
- 9 tunnel de refroidissement
- 10 déchargement

- 11 transfert des charges
- 12 décochage
- 13 retour des châssis vides

2 - Moulage en moule permanent : (en coquille)

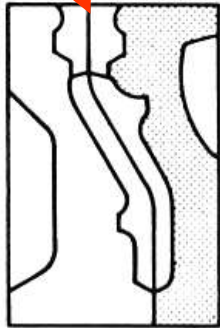
Convient aux matériaux au point de fusion inférieurs à 900° (alliages cuivreux , d'aluminium , de zinc , plastics , etc.)

•- *Coulée par gravité* :

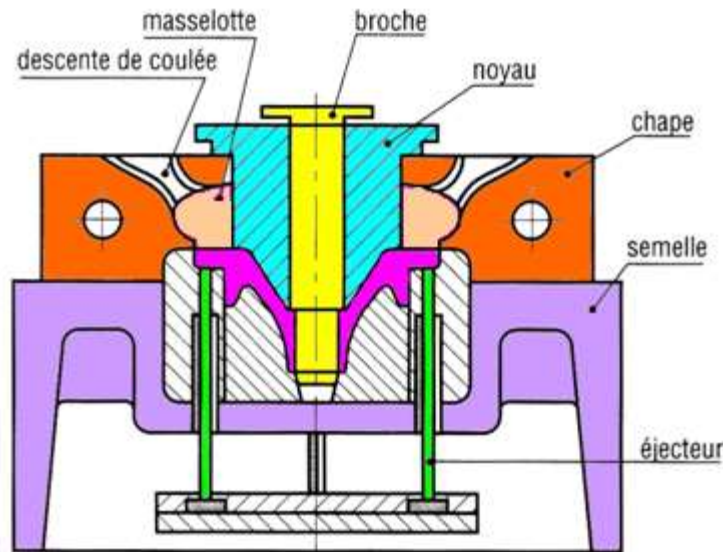
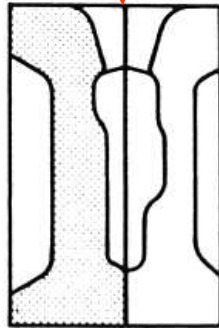
Il faut une série minimum de 2000 pièces pour que le moule soit rentable .

La coquille est entièrement métallique . Le joint est un plan ou un plan brisé , horizontal ou vertical .

Plan de joint
brisé,



Plan de joint plan



Pour démouler la pièce on retire successivement :
-la broche,
-le noyau
-la chape
puis les éjecteurs poussent la pièce.

•- *Coulée sous pression* :

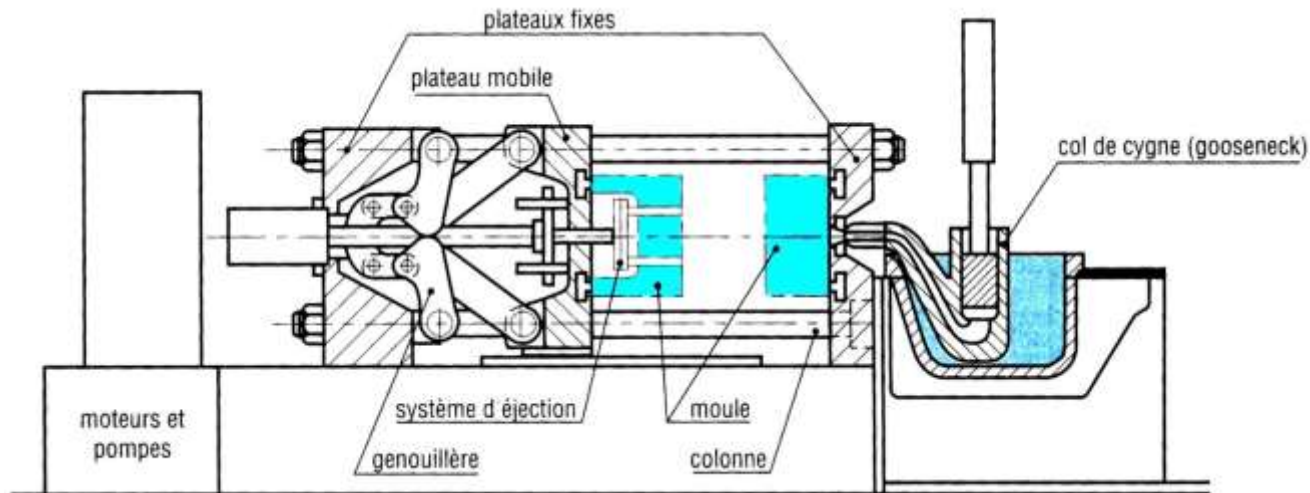
Rentable à partir de 10 000 pièces .

Le métal est injecté sous pression dans le moule .

Il est ainsi possible d'obtenir des formes complexes ou peu épaisses (remplissage difficile de toutes les parties du moule pour les autres procédés).

La précision et l'état de surface obtenus sont excellents .

On injecte , par l'intermédiaire d'un piston , en un temps très court (= 0.1 s) un alliage en fusion .

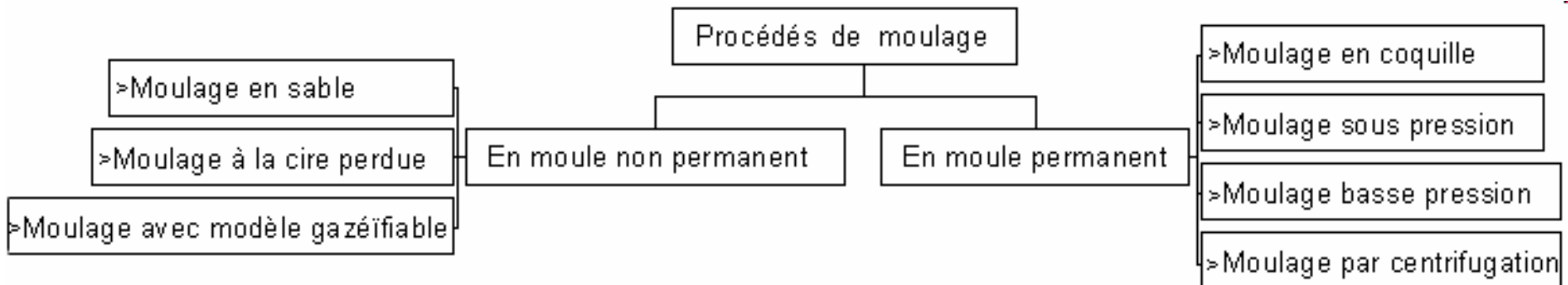




La fonderie permet de réaliser des pièces mécaniques en remplissant d'alliage liquide une empreinte - un moule - qui donne après solidification de l'alliage la forme et les dimensions souhaitées à la pièce métallique.

Les procédés de moulage peuvent être classés en deux familles :

- les procédés de moulage en moules permanents (le moule peut servir plusieurs fois),
- les procédés de moulage en moules non permanents (le moule est détruit après la coulée).



Règles de tracé des pièces de fonderie



Théoriquement, pour obtenir une pièce saine, il est nécessaire qu'elle présente une épaisseur uniforme.

Pratiquement, ce n'est jamais le cas.

Un choix judicieux des alliages et l'application de règles de tracé permettent heureusement d'obtenir un compromis satisfaisant entre la solidité de la pièce, les contraintes liées à sa fabrication et celles liées à son utilisation.

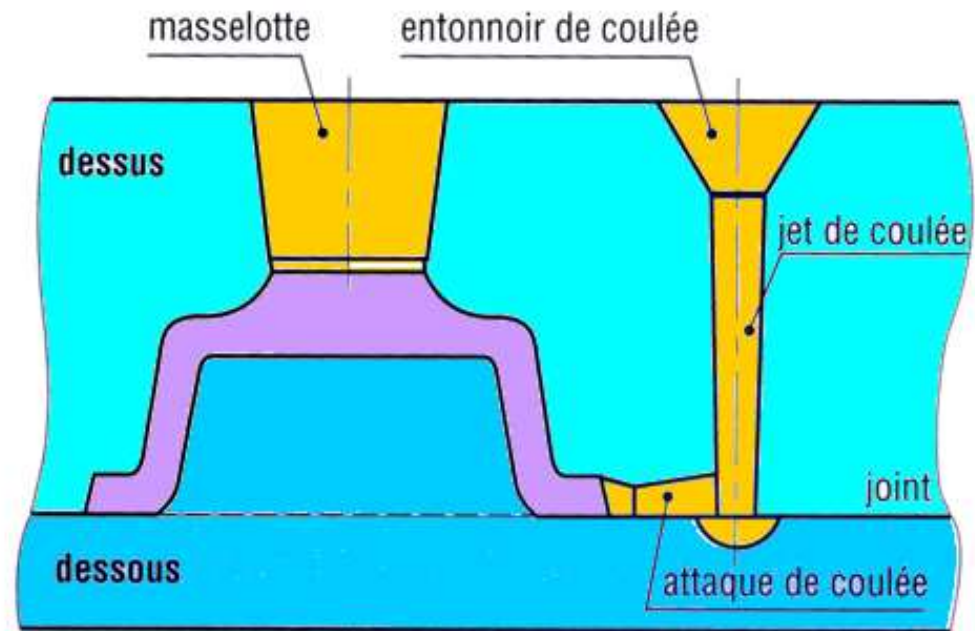
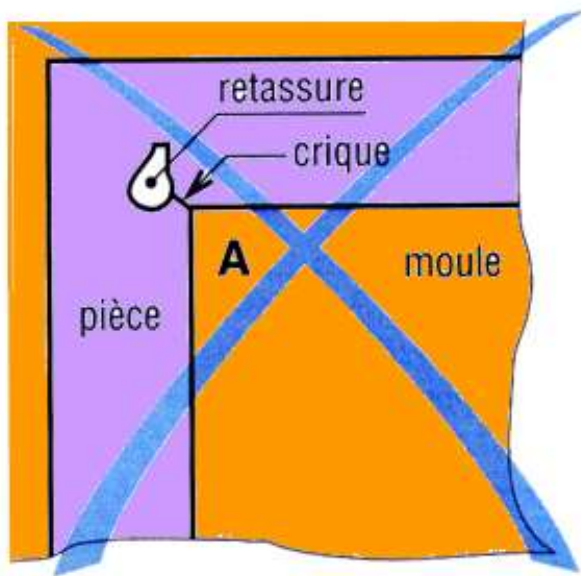
Ces règles sont dictées par deux principaux défauts de fonderie:

- **Les criques**

Ce sont des ruptures partielles qui se produisent sous l'action d'efforts résultant d'inégalités de retrait.

- **Les retassures**

Il s'agit de cavités, situées en profondeur ou en surface des masses métalliques. Elles sont dues aux variations inégales du volume entre le début et la fin de la solidification. On cherchera à ce que cette contraction de solidification s'accomplisse aux dépens des masselottes.



Bien entendu, l'étude du tracé définitif doit être menée en collaboration avec le fondeur. Les principales règles de tracé des pièces de fonderie sont regroupées en trois familles, abordant chacune un aspect à considérer dans la conception de la pièce.

1. Tracé des pièces en vue de leur solidité
2. Tracé des pièces en vue de simplifier le moulage
3. Tracé des pièces en vue de répondre aux contraintes d'utilisation

1. Tracé des pièces en vue de leur solidité

Il n'est pas possible, dans la plupart des cas, de réaliser des pièces d'épaisseur uniforme.

L'effet de masse dans une section quelconque d'une pièce est caractérisée par la surface du cercle inscrit dans cette section. On admet que le rapport des masses de métal en deux endroits différents peut être assimilé au rapport des surfaces des cercles inscrits correspondants.

En général, on cherchera à ne pas dépasser un accroissement de 60 % sur 10 mm.

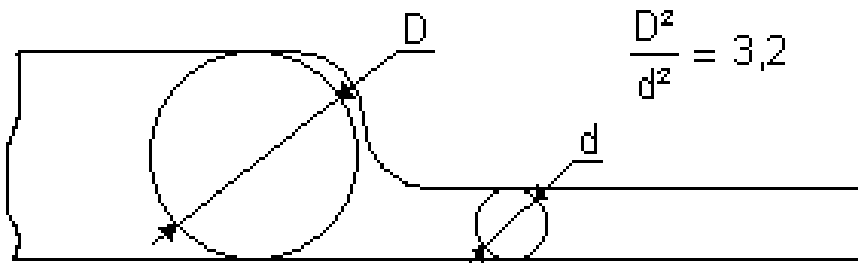
On peut distinguer 4 grands thèmes pour ces règles de tracé:

[1.1. Raccordement d'épaisseurs différentes](#)

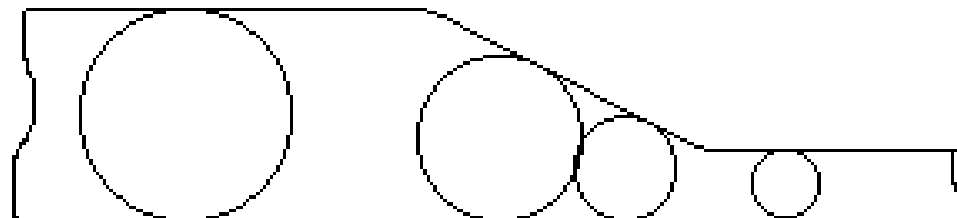
[1.2. Raccordement de parois](#)

[1.3. Allégement des parties massives](#)

[1.4. Eviter les tensions](#)



Variation brusque de masse 220%

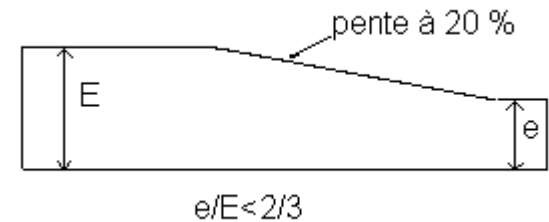
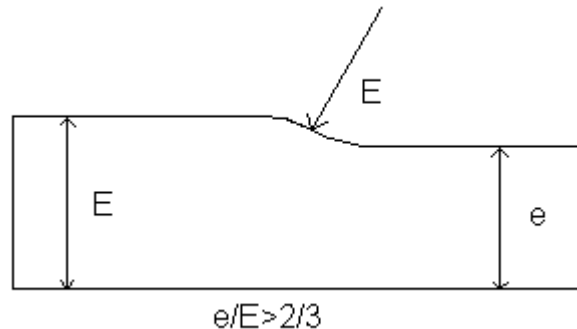
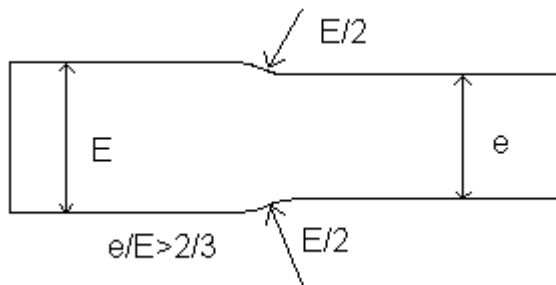


Variation progressive de la masse

1.1. Raccordement d'épaisseurs différentes

Lorsque l'écart des épaisseurs $E-e$ ne dépasse pas $E/3$ le raccordement peut se faire suivant un rayon égal à E sur l'une des faces ou sur les deux faces avec un rayon égal à $E/2$.

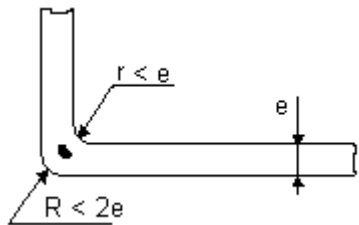
Si l'écart est plus élevé, le raccordement doit être fait avec une pente à 20%.



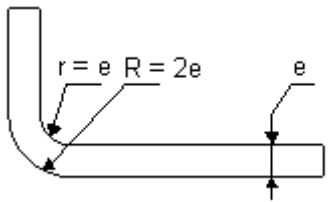
1.2. Raccordement de parois

Un raccordement en L à angle vif pose à la fois la question de la surépaisseur diagonale et celle du point chaud créé dans le moule sur l'arête intérieure.

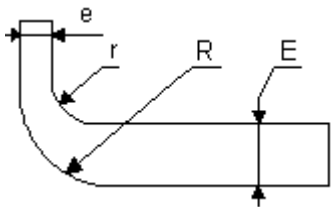
La diffusion de la chaleur du métal vers le moule est élevée vers l'extérieur et plus limitée au contraire vers l'intérieur où se produisent criques et retassures.



Un arrondi mal adapté déplace la retassure vers l'extérieur.



Raccordement en L de parois d'égale épaisseur.



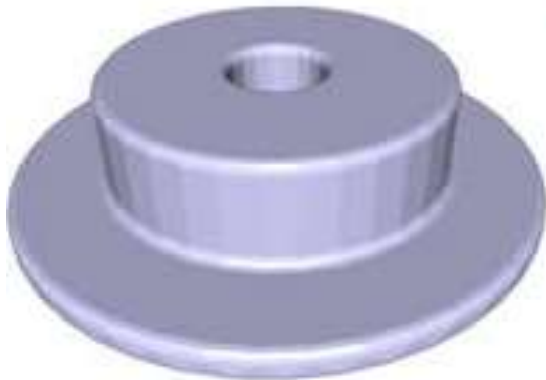
Raccordement en L de parois d'épaisseurs inégales.

$$R = E + e$$

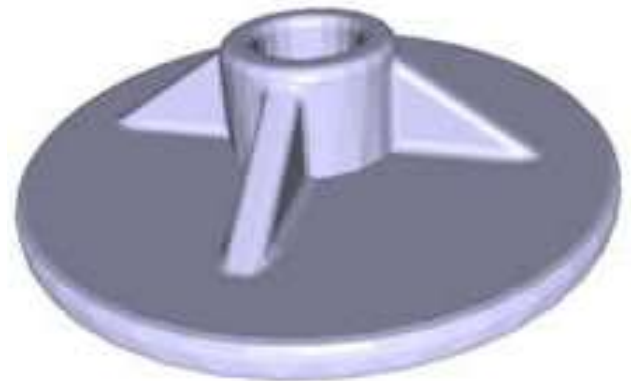
$$r = (E + e) / 2$$

1.3. Allègement des parties massives

L'allègement des parties massives est également à prendre en compte dans le tracé de la pièce pour contribuer à l'homogénéité des épaisseurs.

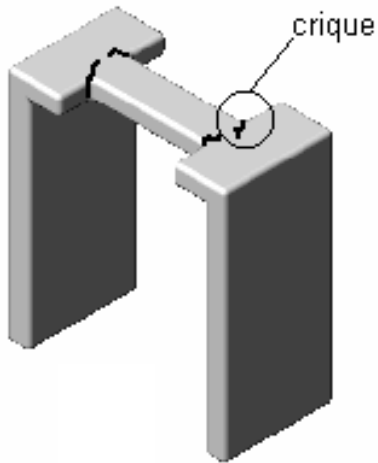


Tracé défectueux



Tracé amélioré

1.4. Eviter les tensions



- Pendant la solidification de l'alliage, on observe un phénomène de contraction, ou retrait. Ce retrait peut engendrer des tensions dans la pièce de fonderie, soit du fait des différences d'épaisseurs entraînant des différences de température et de contraction, soit à cause des formes de la pièce ou du moule.

Ces tensions se manifestent sous forme de criques, notamment aux angles vifs où s'exerce l'effet d'entaille et fragilisent la pièce, pouvant entraîner sa rupture.

Les criques se produisent à chaud, à un moment où le métal cesse d'être plastique et n'a pas encore atteint sa résistance normale.

Il est avantageux de rechercher une certaine élasticité de la pièce pour éviter les efforts directs et localisés de retrait.

Tracé défectueux



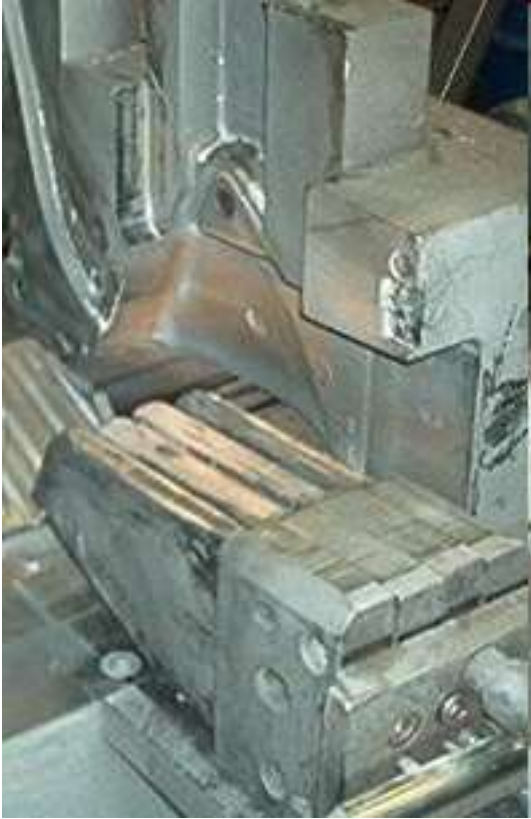
La pièce mince ne peut faire son retrait du fait de la masse du moule entre ses branches. Tous les efforts de retraits se concentrent sur une partie étroite et de faible longueur : il en résulte des criques

Tracé amélioré



Le danger de rupture est ici atténué : la section est uniforme et les efforts de retraits se répartissent sur une plus grande longueur.

2. Tracé des pièces en vue de simplifier le moulage



La simplification du tracé engendre souvent celle du modelage, du moulage et du noyautage, donc limite les risques de déformation, et entraîne des réductions du prix de revient.

Elle doit prendre en compte les risques propre à la technique, à savoir risques de criques et de retassures, ainsi que les conditions de démoulage.

[2.1. Dépouilles](#)

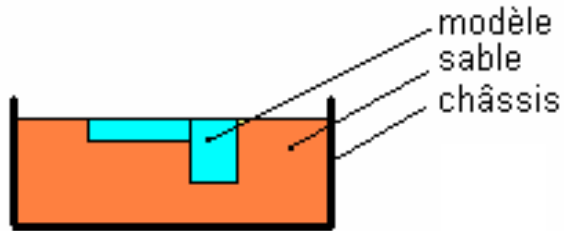
[2.2. Plan de joint](#)

[2.3. Noyaux](#)

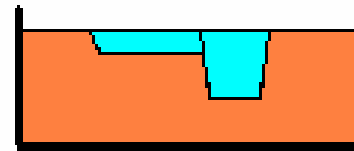
2.1. Dépouilles

Pour les moules en sable, la dépouille permet le démoulage du modèle sans détérioration de l'empreinte.

Pour les moules permanents (moulage en coquille par gravité, moulage basse pression ou moulage par pression), la dépouille est nécessaire pour extraire la pièce moulée de l'empreinte.



En l'absence de dépouille, l'empreinte est détériorée lors de l'extraction du modèle.



Avec un modèle à dépouille, l'empreinte est intacte après le démoulage

2.2. Plan de joint

En général, le démoulage s'effectue perpendiculairement au plan de joint.

Le joint du moule se situe normalement au contour apparent maximum du modèle.

Le joint plan est le plus facile à réaliser. De plus, lorsque la pièce s'y prête, il est avantageux de reporter l'empreinte dans une seule partie du moule.

La dépouille d'un seul côté est plus importante, mais le modèle en une seule partie est plus économique.



Tracé défectueux :
l'empreinte se trouve
dans les deux parties du
moule



Tracé amélioré : l'empreinte
est reportée dans une seule
partie du moule.

2.3. Noyau

Les noyaux sont généralement en sable.

Ils doivent posséder une cohésion propre, n'étant pas soutenus dans un châssis comme les moules.

Les grains de silice sont à cet effet agglomérés par un liant durci.

Le noyau doit être convenablement assujéti dans le moule. Ses assises, ou portées, demandent beaucoup de précision.



Tracé défectueux : noyau en porte à faux



Tracé amélioré : le noyau est réuni à un noyau voisin, donnant à l'ensemble trois points de fixation au lieu d'un seul

3. Tracé des pièces en vue de répondre aux contraintes d'utilisation

Outre les règles de tracé des pièces moulées imposées par les conditions métallurgiques de solidification et de retrait du métal et par la simplification du moulage, il est essentiel de prendre en compte la répartition la plus judicieuse du métal pour la résistance mécanique de la pièce.

Un privilège de la fonderie est en effet de pouvoir déposer le métal là où il est nécessaire.



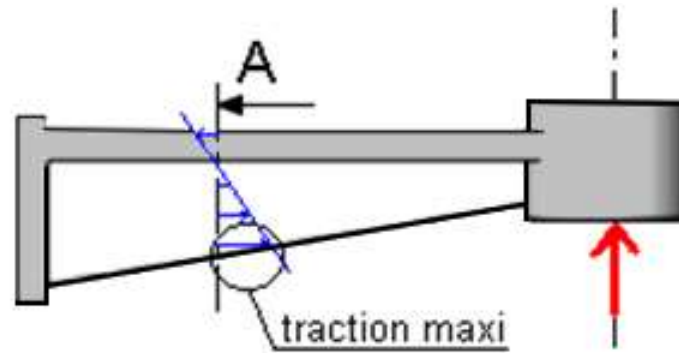
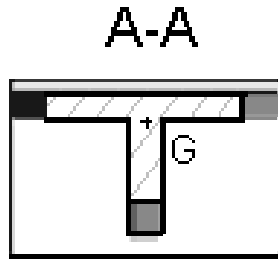
[3.1. Résistance à la compression](#)

[3.2. Surépaisseur d'usinage](#)

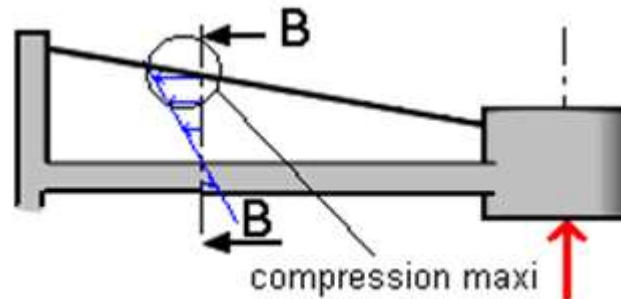
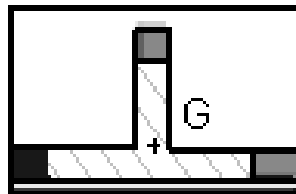
[3.3. Etat de surface](#)

3.1. Résistance à la compression

Il convient chaque fois qu'il est possible de faire travailler les pièces en fonte à la compression plutôt qu'à la traction.



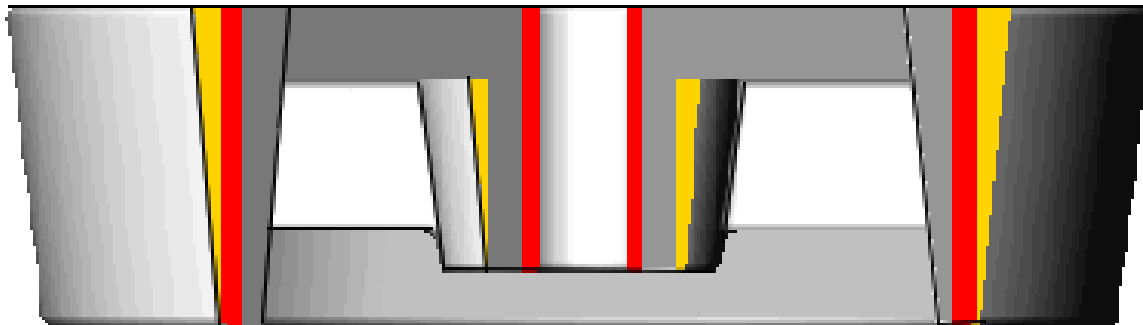
Tracé défectueux : la contrainte de traction est maximale.





Tracé amélioré : la contrainte maximale est la contrainte de compression

3.2. Surépaisseur d'usinage

Le tracé de la pièce de fonderie doit tenir compte des surépaisseurs d'usinage.
Elles garantiront la géométrie et la qualité des surfaces fonctionnelles après usinage



-  dépouille
-  sur épaisseur d'usinage

3.3. Etat de surface

L'état de surface est fonction du procédé de moulage et de l'alliage :

- matériau de moulage (composition, granulométrie),
- dispositifs modifiant localement l'empreinte du moule (enduits, couches, sables de contact)
- comportement de l'alliage à l'interface moule-alliage,
- conception du moule (bavures, défauts de surface).

La rugosité d'une surface brute n'est spécifiées que sur des surfaces fonctionnelles, elle peut conditionner le choix d'un procédé de moulage.

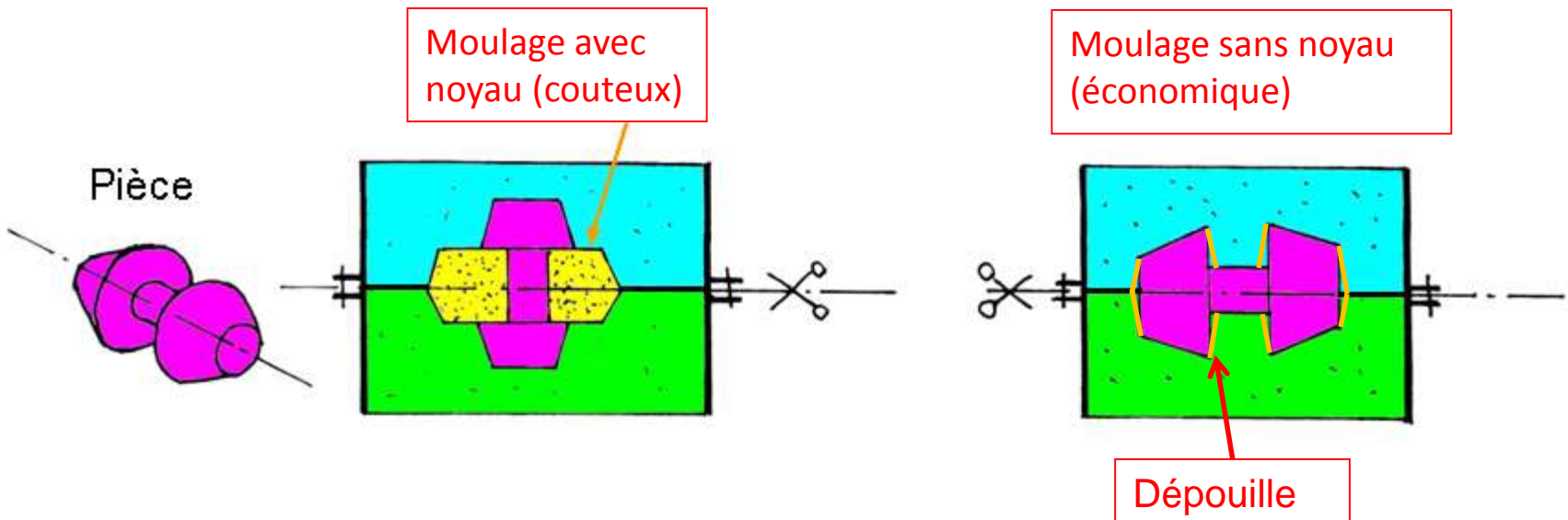
Souvent, l'usinage constitue le moyen d'obtention le plus économique de l'état de surface désiré.



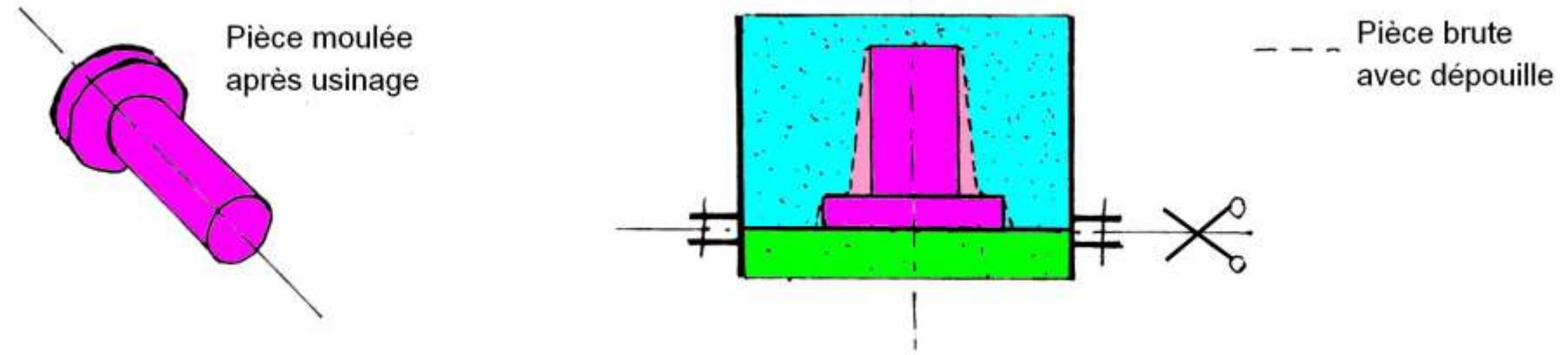
Méthodologie pour passer d'une pièce usinée à une pièce moulée.

1) Repérer les surfaces fonctionnelles.
(surfaces d'appui ou surfaces de guidage)

2) Choisir le ou les plans de joint. Un bon choix de plan de joint peut éviter l'utilisation de noyau.



- 3) Prévoir les dépouilles sur les parois extérieures et intérieures de la pièce qui sont orthogonales au plan de joint .
(il faut pouvoir démouler le modèle sans arracher le sable)

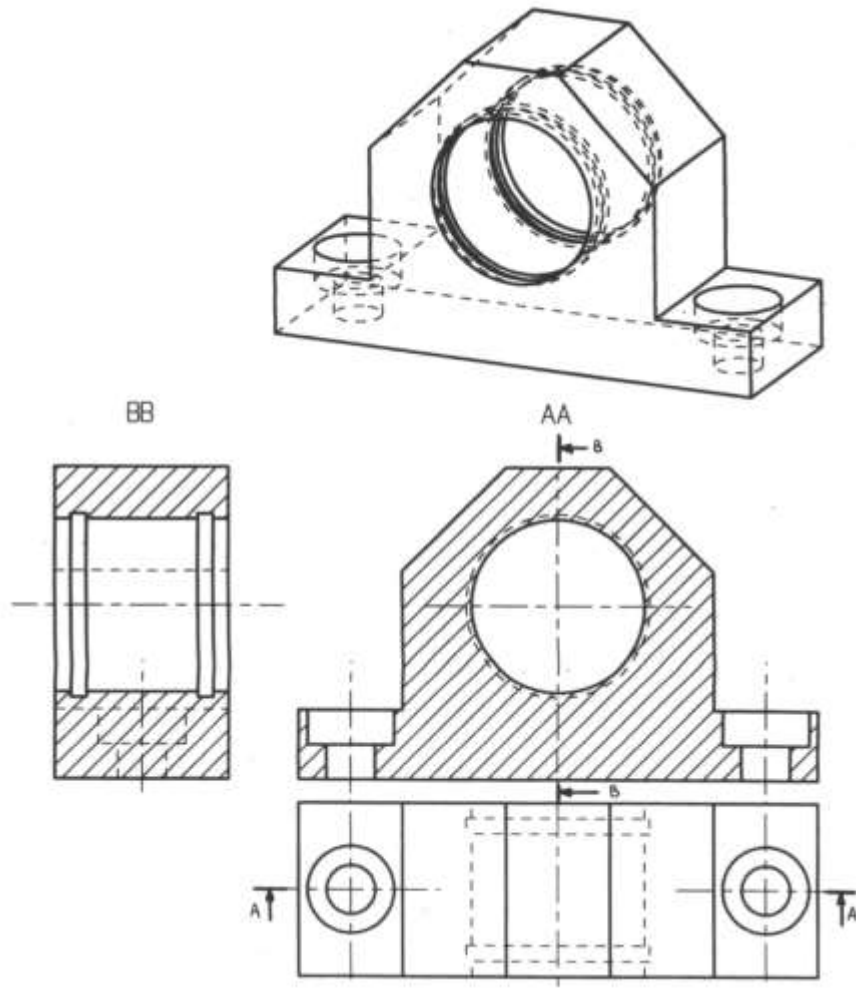


4) Eviter les angles vifs (créer des arrondis)

5) Conserver une épaisseur constante (ou régulièrement variable)

6) Eviter les accroissements de masse (éviter les criques et retassures)

Exemple: transformation d'une pièce usinée en pièce moulée



Surépaisseur d'usinage

Dépouille

Plan de joint

