



Renaud Costadoat  
Lycée Dorian



## Introduction

Savoir

Vous êtes capables :

- donner certaines caractéristiques d'un matériau.

Problématique

Vous devez être capables de choisir un procédé de fabrication en fonction:

- de la géométrie d'une pièce,
- de son matériau,
- de la production associée à la pièce.

## Plan

1. Introduction
2. Moulage en sable
3. Autres procédés
4. Injection plastique
5. Règles de tracé

## Propriétés et définitions

### Définition

Le **moulage** ou **fonderie** consiste à réaliser des pièces brutes par coulée du métal en fusion dans un moule (représentant l'empreinte de la pièce à obtenir). Le métal en se solidifiant, reproduit les contours et dimensions de l'empreinte du moule.

### Remarque

- **Utilisation:** Cette technique permet de produire des pièces de formes complexes, la série des pièces est identique et elle permet l'obtention de pièces massives telles que bâties, volants, etc...
- **Matériaux:** La majorité des matériaux (métalliques et non métalliques) peuvent être moulés.

## Types de fonderies

Dans la spécialisation de la fonderie, on distingue pratiquement les fonderies suivantes :

- La nature des métaux et alliages :
  - ▶ Fonderie de fonte,
  - ▶ Fonderie d'acier,
  - ▶ Fonderie d'aluminium et ses alliages,
  - ▶ Fonderie de cuivre. Bronzes, laitons, etc.
- Selon l'utilisation :
  - ▶ Fonderie d'art,
  - ▶ Fonderie d'ornement (bijoux),
  - ▶ Fonderie de mécanique industrielle.
- Selon le procédé de moulage :
  - ▶ Moulage en sable (manuel ou mécanique),
  - ▶ Moulage en carapaces,
  - ▶ Moulage à la cire perdue,
  - ▶ Moulage en coquilles (moule permanent).

## Types de moule

### Le moule non permanent (sable):

- Utilisé une seule fois. Pour extraire la pièce, il faut le détruire. L'empreinte est obtenue par moulage du matériau constitutif autour d'un modèle réalisé en bois ou en métal.

### Le moule permanent :

- Peut servir un grand nombre de fois, il est réalisé en plusieurs parties pour faciliter l'extraction de la pièce. Il est utilisé surtout lorsque la quantité de pièces à couler est importante.

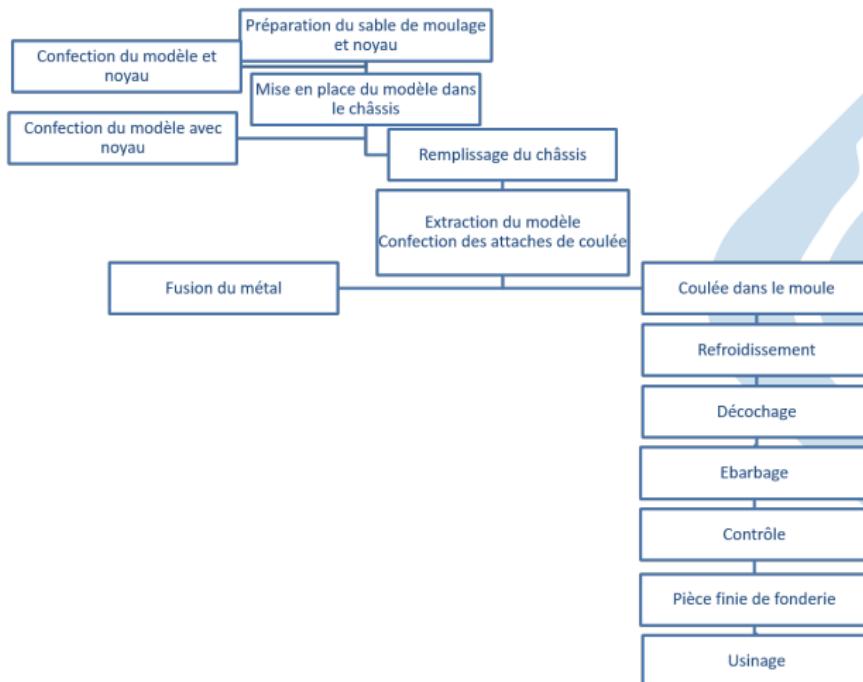
## Les procédés en fonction des métaux

<ul style="list-style-type: none"><li>Fontes : 1100 à 1250 °C</li><li>Aciers : 1200 à 1500 °C</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Moulage en sable avec ou sans noyau,</li><li>Moulage en carapace : procédé Croning,</li><li>Moulage à la cire perdue</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Moulage impossible sans détériorer les coquilles</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Laiton : 940 °C</li><li>Alpax(Al Si 13) : 610 °C</li><li>Zamack(Zn Al Cu 4 1) : 610 °C</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Moulage en sable : Grosses pièces, petites séries. Exemples :<ul style="list-style-type: none"><li>Cloches en bronze,</li><li>Hélices de bateaux.</li></ul></li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Moulage en coquille :<ul style="list-style-type: none"><li>Pour les grandes séries.</li></ul></li><li>Par gravitation ou sous pression. Exemples :<ul style="list-style-type: none"><li>Carters (alpax),</li><li>Corps de carburateur (zamack).</li></ul></li></ul>

## Plan

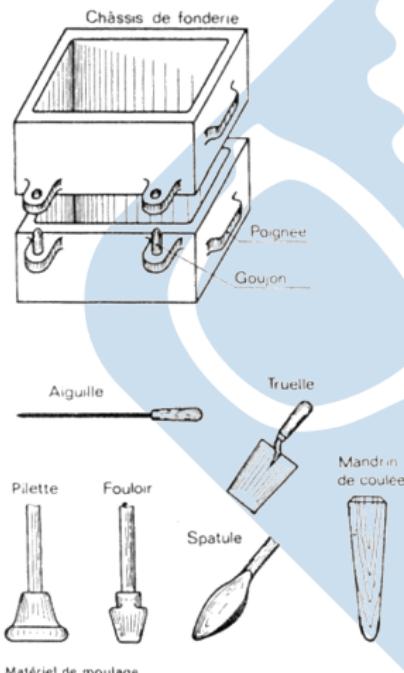
1. Introduction
2. Moulage en sable
3. Autres procédés
4. Injection plastique
5. Règles de tracé

## Moulage en sable



## Moulage en sable: Outilage

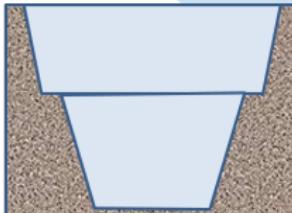
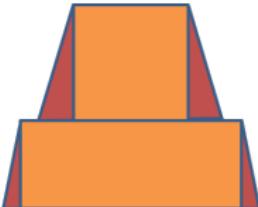
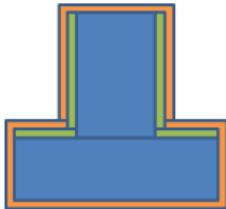
- Modèle et noyau,
- Châssis,
- Sable de moulage,
- Métal liquide,
- Aiguille (pour la confection de trous d'air),
- Truelle (pour rendre lisse la face de joint du moule),
- Pillette et fouloir (pour le compactage du sable),
- Spatule (pour rendre lisse les différentes surfaces du moule après démoulage),
- Mandrin de coulée (pour la confection du trou de coulée),
- Marbre (sur lequel s'effectue la préparation du moule).



## Moulage en sable: Le modèle

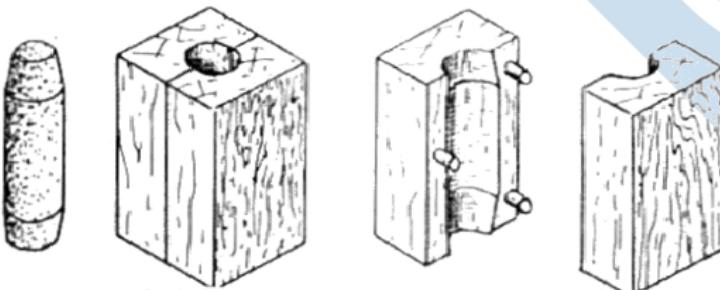
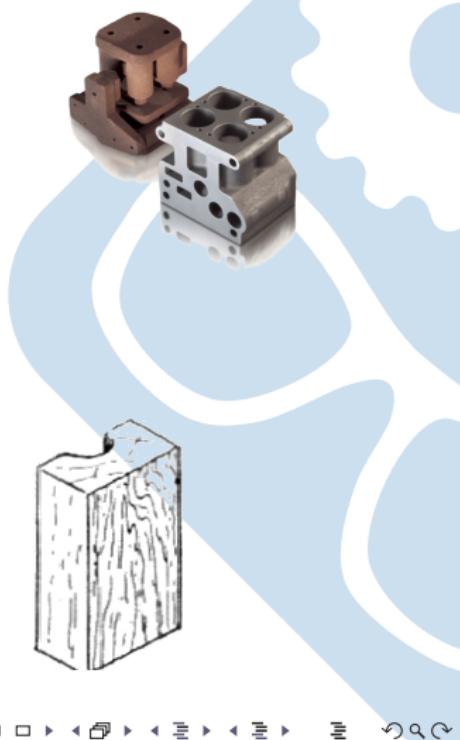
Il est construit à partir de la géométrie à réaliser. Il doit tenir compte de:

- 1. L'usinage:** Dans ce cas, la pièce brute doit comporter des surépaisseurs qui seront enlevées durant l'opération d'usinage,
- 2. Le retrait:** Lors du refroidissement, le métal se contracte, le retrait est la valeur de cette contraction.
- 3. La dépouille :** Les formes du modèle doivent permettre son extraction du sable sans dégradation du moule.  
(Angles 3 à 10%)



## Moulage en sable: Noyau et boîte à noyau

Pour obtenir le contour intérieur de la pièce, des noyaux sont placés dans le moule. Ce type de moulage s'impose lorsque les pièces présentent des évidements qu'il serait difficile ou même impossible d'obtenir à partir du moule principal.

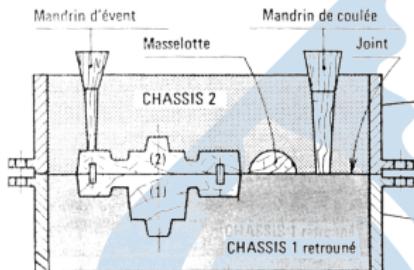


## Moulage en sable: Le châssis

Cadre rigide (en fonte, en acier ou en aluminium), sans fond, destiné à contenir et à soutenir le sable constituant le moule. Un châssis complet comprend au moins deux parties.



Châssis supérieur et modèle supérieur



Châssis inférieur et modèle inférieur

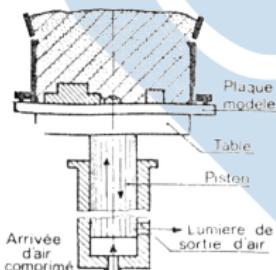
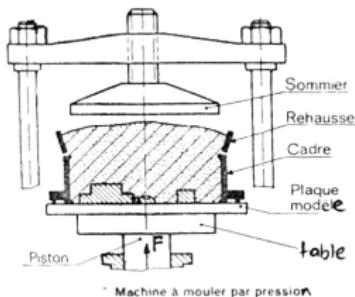
## Moulage en sable: Les différents types de moule

Moule à un élément	<p>A cross-sectional diagram of a one-piece sand mold. It shows a central vertical core labeled 'Noyau' and a horizontal channel system above it labeled 'Système de coulée'. The mold is surrounded by a textured pattern representing the sand.</p>
Moule à deux éléments	<p>A diagram showing a two-piece sand mold. It consists of a top frame labeled 'Châssis supérieur' and a bottom frame labeled 'Châssis inférieur'. Both frames are positioned above a layer of sand labeled 'Lit de sable'. The mold is shown in an open state.</p>
Moule à plusieurs éléments	<p>A diagram showing a three-element sand mold. It includes an upper frame labeled 'Châssis supérieur', a central core labeled 'chape', and a lower frame labeled 'châssis inférieur'. The mold is shown in an open state.</p>

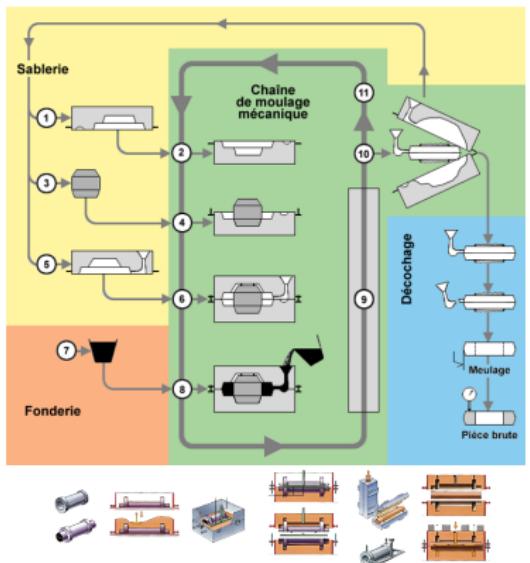
## Fabrication des moules à la machine

Il existe différents types de moulage à la machine:

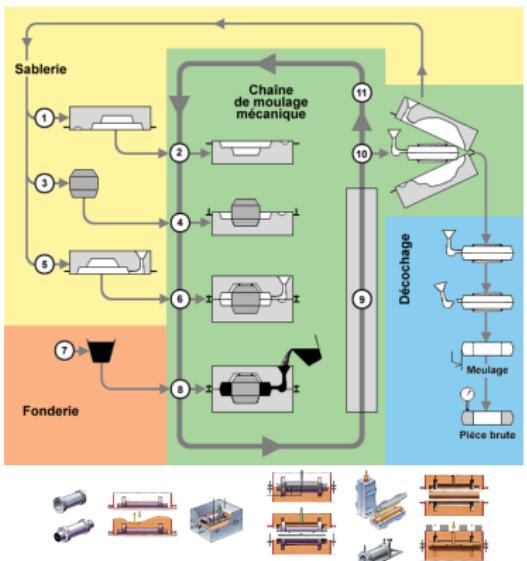
- Moulage par pression,
- Moulage par secousses,
- Moulage par secousses et pression.



## Moulage en sable: Les étapes du moulage



## Moulage en sable: Les étapes du moulage



1. Fabrication moule inférieur,
2. Mise en position moule inférieur,
3. Fabrication des noyaux,
4. Mise en position des noyaux,
5. Fabrication moule supérieur,
6. Mise en position moule supérieur,
7. Fonte du métal,
8. Coulée du métal,
9. Refroidissement,
10. Démoulage de la pièce,
11. Recyclage.

## Plan

1. Introduction
2. Moulage en sable
3. Autres procédés
4. Injection plastique
5. Règles de tracé

## Moulage avec moule métallique

### Moulage en coquille

- Le moulage en coquille est un procédé qui permet de couler par gravité le métal en fusion directement dans un moule métallique en fonte ou en acier appelé coquille.
- Ce type de moulage est destiné pour la réalisation de pièces complexes en métaux et alliages ferreux (fonte grise et acier) et alliages non ferreux à point de fusion relativement bas, bronzes (10 à 13% Zinc), Al-Si possédant de bonnes propriétés de fonderie, Al-Si-Cu, Al-Cu (4 à 12% Cu).



### Moulage sous pression

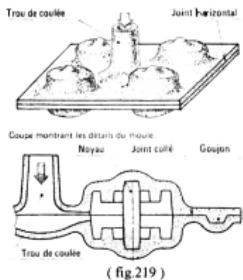
Dans ce procédé, le métal liquide est injecté dans le moule de la machine à mouler sous pression (30 à 100 MPa). Ce procédé permet d'obtenir des pièces ayant une configuration très complexe avec des dimensions très précises, ce qui permet de supprimer partiellement ou totalement les opérations d'usinage.

## Moulage en carapace: Procédé Croning

Le moulage en carapace ressemble au moulage mécanique en sable, dans ce cas, le métal liquide est coulé dans un moule constitué de deux coquilles appelées carapaces ou masques.



### Fabrication d'une carapace :



1. Préparer du sable de moulage (séchage, additions),
2. Chauffer de la plaque modèle (réversible),
3. Verser sur la plaque-modèle chauffée, un mélange de grains de silice (sable) et de résine thermodurcissable,
4. Retourner l'ensemble caisson et plaque modèle,
5. Placer la plaque modèle et la carapace dans un four.

## Moulage à la cire perdue



Fabrication d'une carapace :

Ce procédé permet de s'affranchir du démoulage du modèle et des contraintes qui vont avec.

Principe du moulage à la cire perdue:

- Le moule est construit autour d'un modèle en cire, lequel ensuite est éliminé par fusion pour libérer l'empreinte formée,
- Il faut donc dans ce cas un modèle par moule,
- Les modèles en cire sont moulés ou bien fabriqués par prototypage rapide.

## Les défauts du moulage

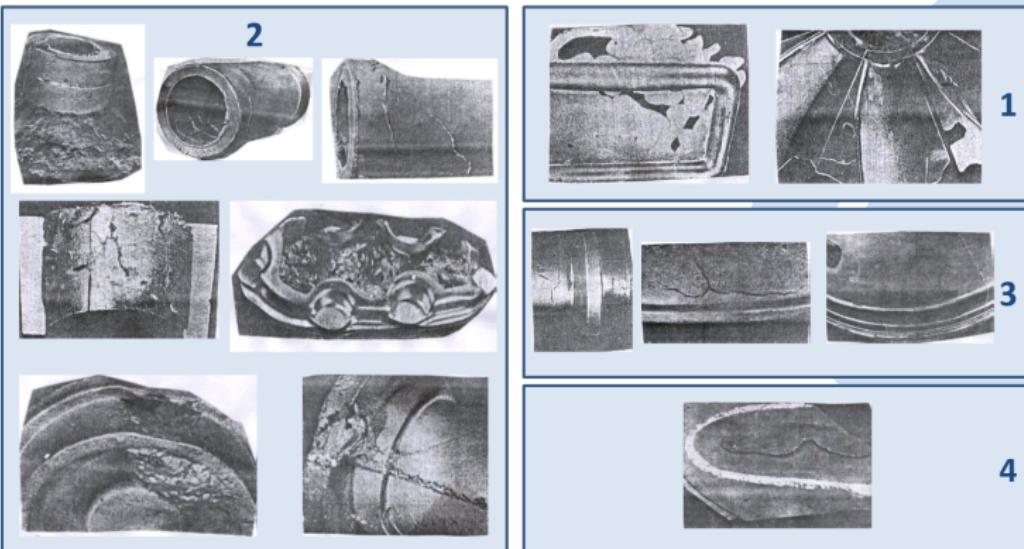
### ● Défauts affectant la surface

1. Défauts: Bavures, épaissements, saillies (dans le plan de joint)
2. Causes: décollement (détachement) dans le moule, fissuration du sable, arrachements de sable, écrasement du moule.
3. Les criques, félures et ruptures sont dues aux tensions internes provenant des retraits de refroidissement
4. D'autres types de défauts pouvant exister sur les pièces moulées sont :
  - ▶ Rugosité superficielle.
  - ▶ Différence de forme et de dimension.
  - ▶ Pièce moulée incomplète,
  - ▶ Brûlures du sable (haute température)

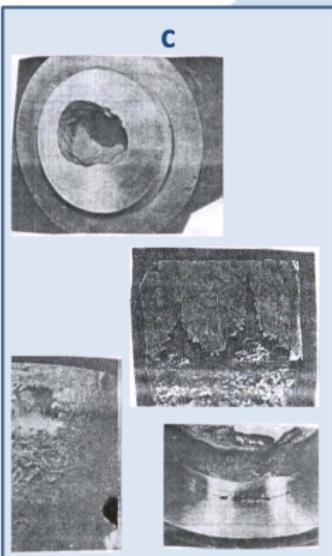
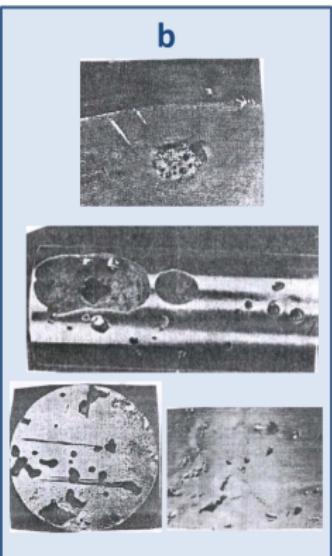
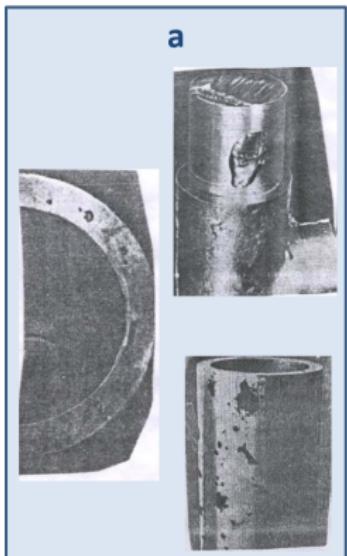
### ● Défauts affectant la masse ou le volume

- a. Les inclusions d'air,
- b. Les soufflures,
- c. Les retassures.

## Les défauts du moulage



## Les défauts du moulage

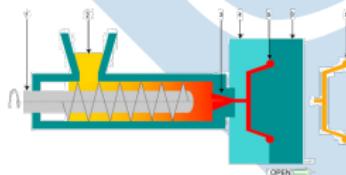


## L'injection plastique: Principe



L'injection des polymères permet d'obtenir en une seule opération des pièces finies, de formes complexes, dans une gamme de poids de quelques grammes à plusieurs kilogrammes.

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



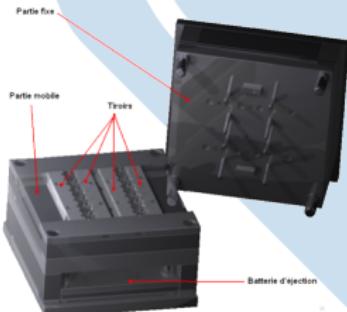
## L'injection plastique: Outilage



Un moule, doit remplir plusieurs fonctions :

- fonction mise en forme,
- fonction alimentation,
- fonction régulation,
- fonction refroidissement de la pièce,
- fonction éjection.

1. Le moule,
2. Les éjecteurs,
3. Les plaques dévêtisseuses.



## Problématiques liées à l'injection plastique

### Défauts des pièces injectées

- Retassures,
- Jet libre,
- Défauts en ligne de soudure,
- Cernes et sillons,
- Entrainement d'air,
- Sous-dosage et surdosage,
- Bulles et effets fontaine,
- Commutation précoce et commutation tardive,
- Conséquence d'une commutation décalée,

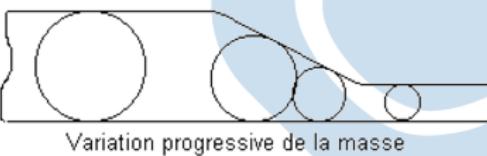
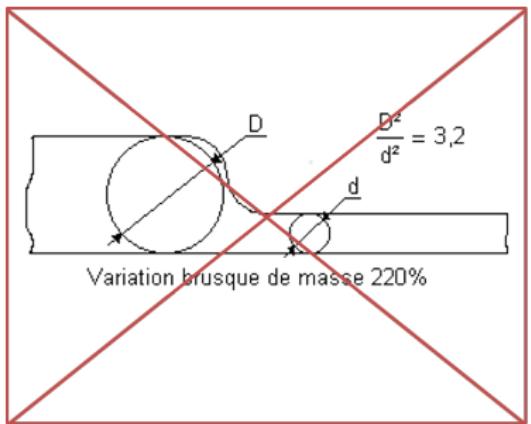
- Défauts dimensionnels,
- Matière humide avant transformation,
- Incorporation d'éléments étranger et mauvais mélange,
- Combustion ou effet diesel - carbonisation.

### Problèmes de démoulage

- Marquage des éjecteurs,
- La pièce reste coincée dans le moule ? dégradation mécanique de la pièce,
- Tirage de fil.

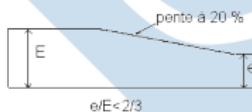
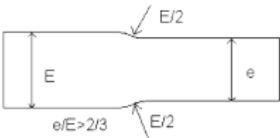
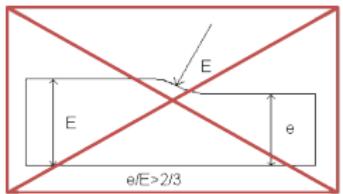
## Variations d'épaisseur

- Ne pas dépasser un accroissement de 60 % sur 10 mm.



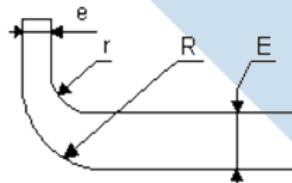
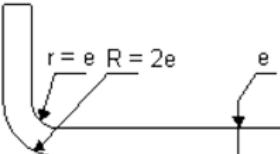
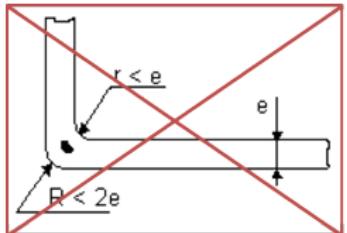
## Raccordement d'épaisseurs différentes

- Lorsque l'écart des épaisseurs  $E - e$  ne dépasse pas  $\frac{E}{3}$  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  $\frac{E}{2}$ ,
- Si l'écart est plus élevé, le raccordement doit être fait avec une pente à 20%.



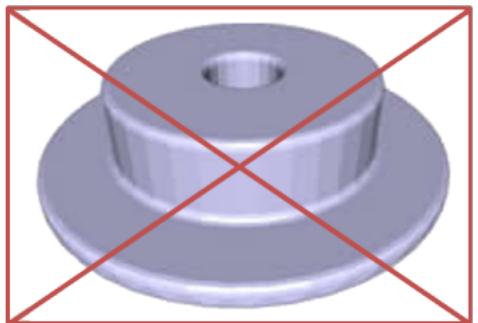
## Raccordement de parois

- 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,
- $R = E + e$ ,
- $r = \frac{E + e}{2}$



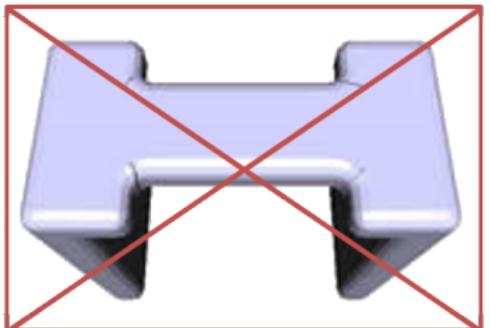
## Allègement des parties massives

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



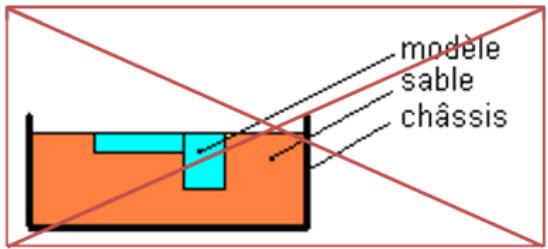
## Éviter les tensions

- Le 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.



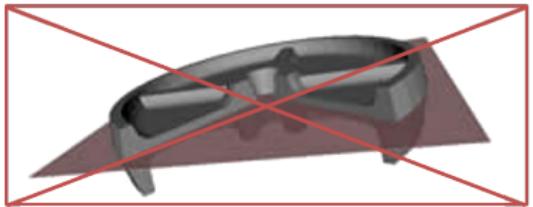
## Dépouilles

- 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.



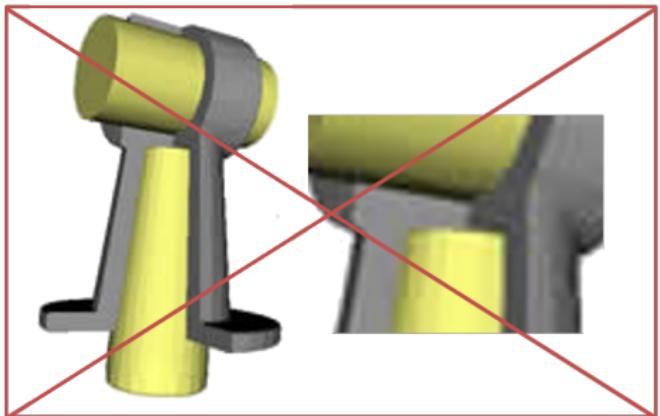
## Plan de joint

- En général, le démoulage s'effectue **perpendiculairement** au plan de joint. La géométrie de la pièce doit permettre ce démoulage,
- 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.



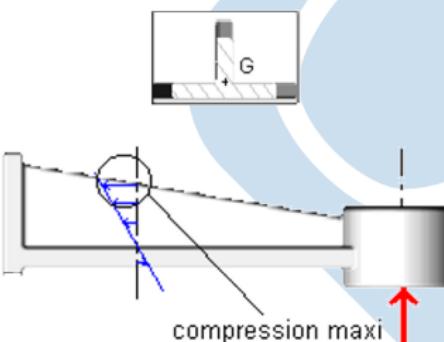
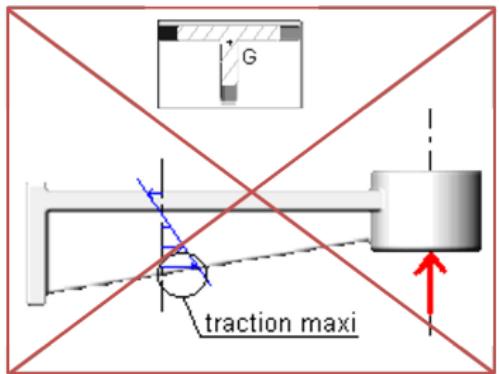
## Noyau

- Le noyau doit être convenablement mis en place dans le moule. Ses assises, ou portées, demandent beaucoup de précision.



## Résistance à la compression

- Imposer que la contrainte maximale soit celle de compression.



## Surépaisseur d'usinage

- Le tracé de la pièce de fonderie doit tenir compte des surépaisseurs d'usinage. Elles apparaissent sur les surfaces fonctionnelles.



■ dépouille  
■ sur épaisseur d'usinage

## 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 spécifiée que sur des surfaces fonctionnelles, elle peut conditionner le choix d'un procédé de moulage.



## Conclusion

Savoir

Vous êtes capables :

- de concevoir une pièce moulée,
- de représenter les éléments de moulage.

Problématique

Vous devez être capables :

- de concevoir une pièce moulée.