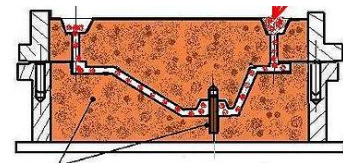
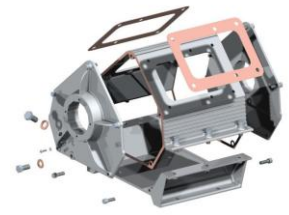


Cycle 2: Concevoir, étudier et réaliser des architectures et solutions technologiques

Chapitre 2 – Procédés d’obtention des pièces moulées (moulage au sable en moule non permanent)

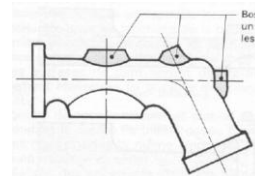
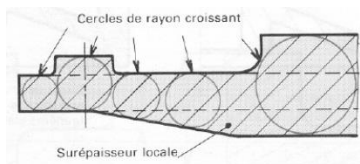
Quelles solutions utilisent les industriels pour réaliser des pièces moulées complexes ?

Nous allons voir dans ce chapitre les étapes d’élaboration d’une pièce moulée au sable en moule non permanent, la technique de remmoulage ainsi que les règles de tracé des pièces de fonderie.



Problématique

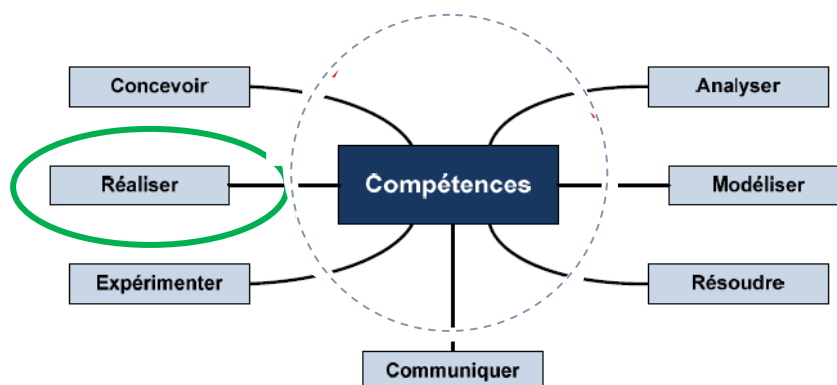
Quels sont les principaux procédés d’obtention des pièces moulées ? Comment mouler une pièce au sable en moule non permanent ? Quelles sont les règles de tracé des pièces de fonderie ?



Savoir

F. Réaliser :

- Etudier l’incidence du procédé de moulage sur la conception des pièces
- Evaluer la capacité des procédés à réaliser les pièces
- Lire et justifier les étapes de réalisation d’une pièce moulée





Procédés d'obtention des pièces moulées

1. Introduction

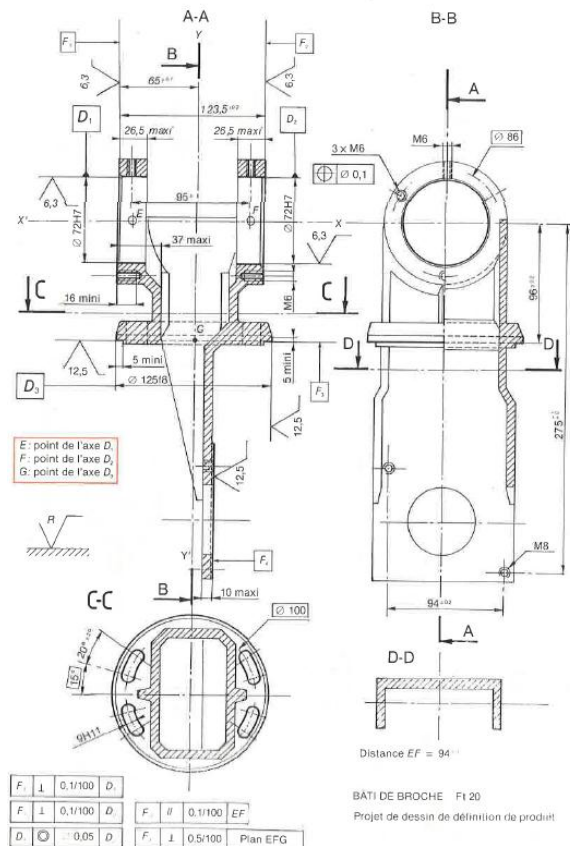
Parmi les créations humaines, l'utilisation des métaux et plus encore la possibilité de les fondre, marque une étape décisive appelée **âge du bronze** (3000 ans avant Jésus-Christ) dans la maîtrise de la matière et la préparation au règne de la métallurgie.

Dès l'origine, la fabrication consiste à **couler un métal ou un alliage en fusion** dans un **moule**, afin d'obtenir, après solidification, une pièce dont les **formes reproduisent celles de l'empreinte du moule**.

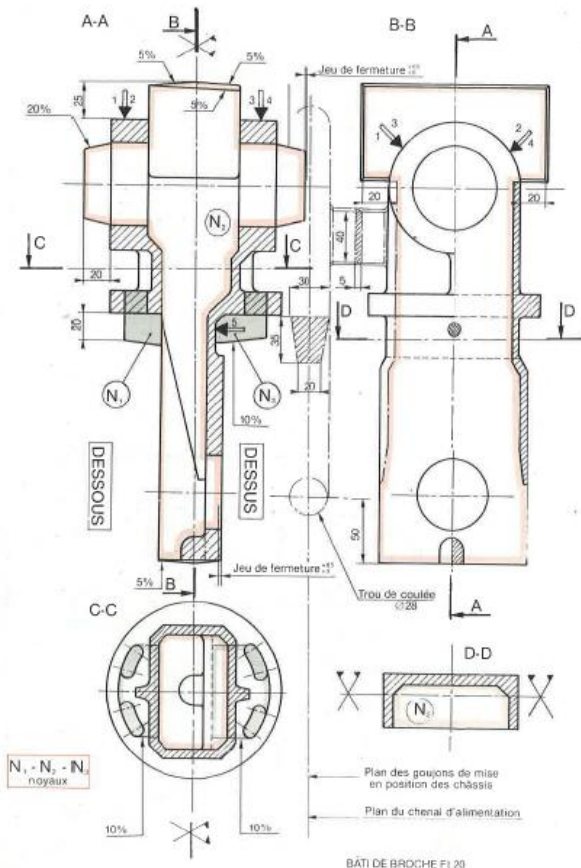


2. Le plus court chemin entre l'idée et la forme...

La fonderie constitue le plus court chemin entre la conception d'une pièce et sa réalisation. Ils permettent d'obtenir des **pièces BRUTES** aux **caractéristiques techniques élevées** et aux **grandes précisions dimensionnelles**, en **économisant de la matière**. La pièce brute sera ensuite **reprise en usinage** pour réaliser les **surfaces fonctionnelles précises**.

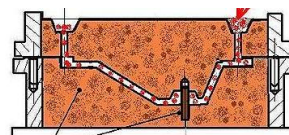


*Dessin de définition d'un bâti de broche
(brut moulé et repris en usinage)*



*Etude de moulage réalisée par le BM
(formes extérieures + noyaux...)*

MOULAGE



Procédés d'obtention des pièces moulées

3. Les familles de procédés

En fonction des **formes**, de la **masse**, de la **précision dimensionnelle**, de l'**état de surface** recherché et des **quantités** à couler, plusieurs procédés de moulage sont possibles :

- **Moules NON PERMANENTS** : le moule est détruit au **démoulage**
 - avec un modèle permanent (bois, métal...)
 - avec un modèle perdu (polystyrène, cire...)
- **Moules PERMANENTS** : le moule est **métallique** et **réutilisable** plusieurs fois.
- **Procédés spéciaux**

4. Les procédés de moulage avec moule NON PERMANENT

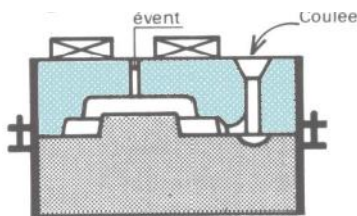
UTILISATION : petites séries, pièces complexes, pièces lourdes, alliages avec points fusion élevés, état de surface rugueux

Lors d'un moulage en **moule non permanent**, celui-ci est **utilisé qu'une seule fois**. Pour extraire la pièce, il faut le **détruire**. C'est une structure réalisée en matériaux de moulage (sable+résine), composée d'une ou plusieurs parties (châssis) et offrant après assemblage un évidement appelé : **empreinte**.

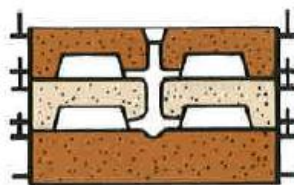
Cette empreinte correspond à la pièce brute (en tenant compte du retrait) et aux systèmes de remplissage et d'alimentation. Après la coulée de l'alliage, **cette structure est détruite** (décochage) pour extraire la pièce brute.

Exemples de procédés :

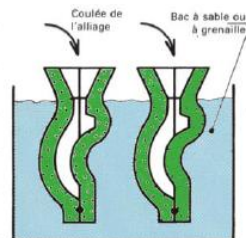
- | | | | | |
|-------------------------|---|--|---|---|
| Modèle permanent | { | - Moulage au sable (avec plaque modèle, avec noyaux...) | ➔ | Réalisation de pièces brutes |
| | | - Moulage en grappe (plusieurs moules pour 1 seule coulée) | | |
| | { | - Moulage céramique : moulage de grande précision | ➔ | Réalisation des empreintes et noyaux |
| | | - Moulage en carapace (connu sous nom de procédé Croning) | | |
| Modèle perdu | { | Moulage en cire perdue (petites pièces, prototype, pièces complexes, très bonne précision, grappes) | | |



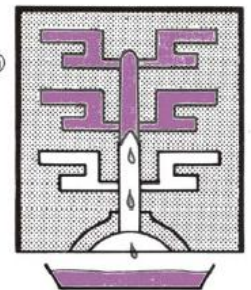
Moulage au sable



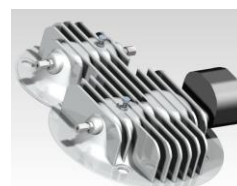
Moulage en grappe



Moulage en carapace



Cire perdue



Procédés d'obtention des pièces moulées

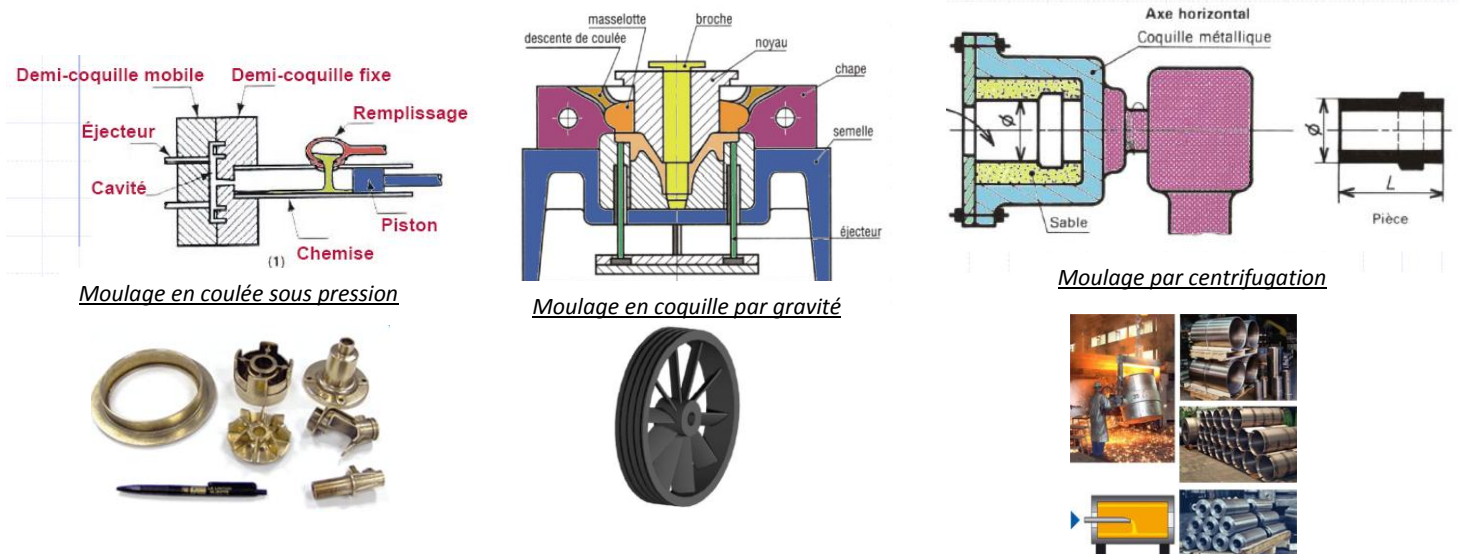
5. Les procédés de moulage avec moule PERMANENT

UTILISATION : grande série (>2000), précision dimensionnelle et états de surfaces bons

Le moule permanent peut supporter **plusieurs coulées successives** avant sa mise hors service. Pour assurer toutes les opérations du moulage (cf 6.), le moule doit être mécanisé. Le moule est appelé **coquille**.

Exemples de procédés :

- Moulage **en coquille par gravité** (semelle, chape, coquille, système de coulée, éjecteurs...)
- Moulage **en coulée sous pression** (très grandes séries, injection et éjection)
- Moulage par **centrifugation** (moule entraîné en rotation, évite les noyaux, pièces creuses)



Au programme de PT ne figure que l'obtention des pièces métalliques moulées en moule non permanent, à modèle permanent (SABLE)

6. Les matériaux en moulage

Les principaux matériaux de fonderie sont :

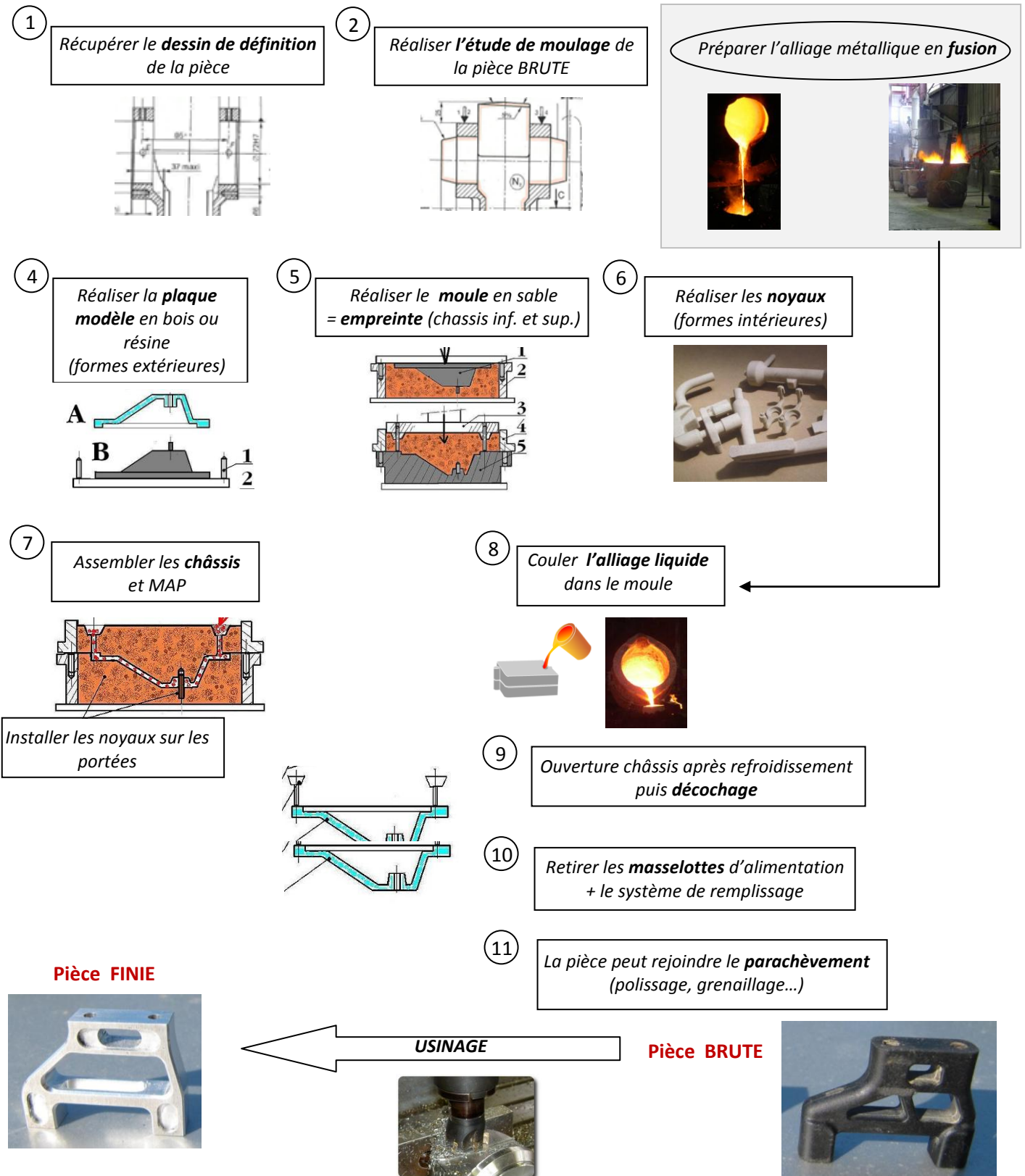
- Alliage de **Zinc**,
- **Fonte**,
- Alliage d'**aluminium**,
- **Acier**,
- **Bronze**,
- Alliage de **cuivre**
- **Laiton**,
- **Magnésium**.

Les caractéristiques associées :

- résistance R_e , R_m ,
- ductilité,
- coulabilité
- retrait à l'état solide et liquide (ex : alu=7%)

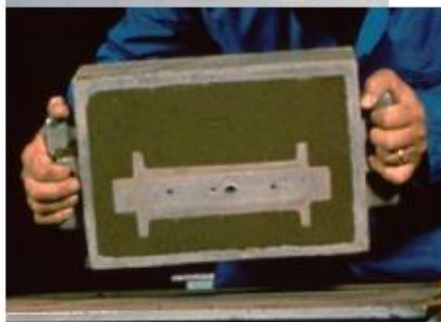
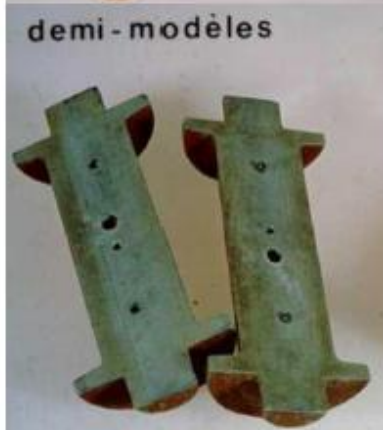
Procédés d'obtention des pièces moulées

7. Les étapes dans l'élaboration d'un brut moulé (moulage au sable)



Procédés d'obtention des pièces moulées

Exemple :



Procédés d'obtention des pièces moulées





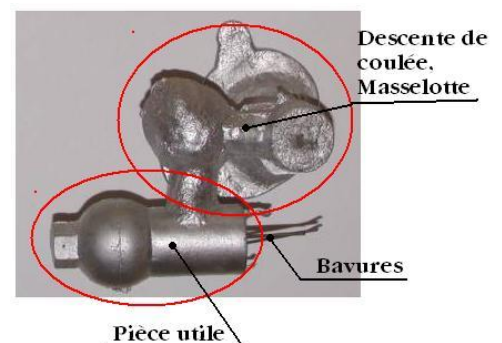
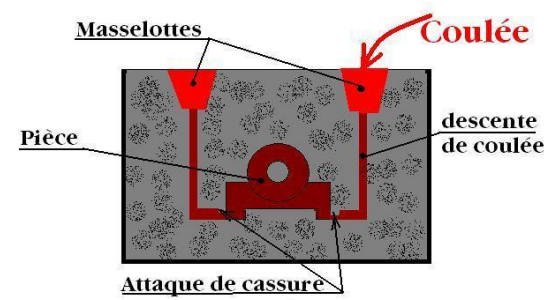
Procédés d'obtention des pièces moulées

8. Quelques définitions

Dans la chronologie des étapes du moulage vue précédemment, un certain nombre de termes sont à définir :

- Fusion de l'alliage :
Cette opération consiste à faire passer un métal de l'état solide à l'état liquide. Le moyen le plus utilisé est le **four électrique à arc** : le métal est chauffé par convection (rayonnement d'arc) dans la voute du four

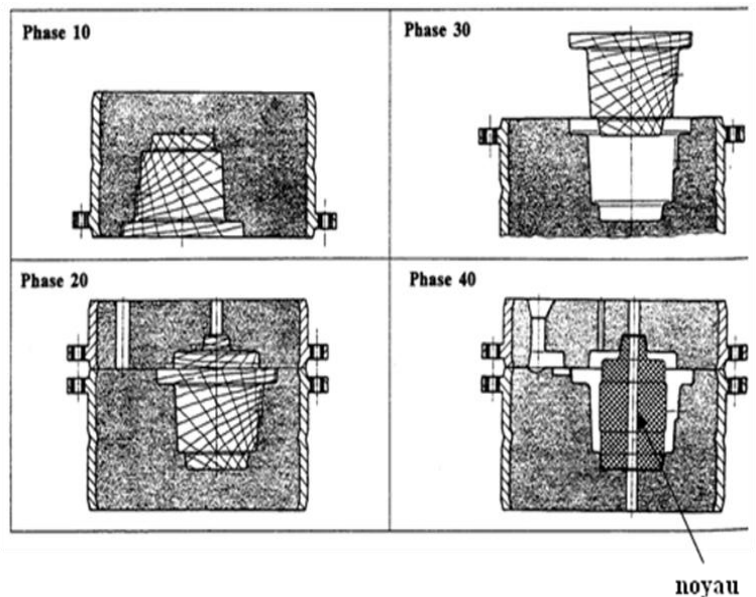
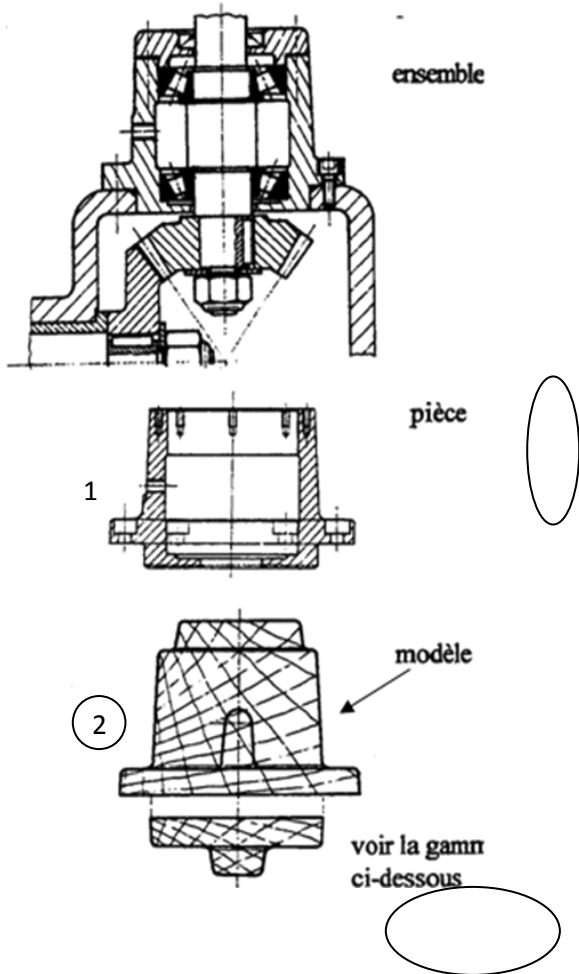
Points de fusion : tungstène = 3400°, fer = 1535°, acier = 1430°, fonte grise = 1230°, cuivre = 1083°, bronze = 1050°, alu = 660°
- Plaque modèle :
Le modèle est la représentation de la pièce. Il est fabriqué **en bois ou en résine** puis fixé sur une plaque. La plaque modèle servira à **fabriquer l'empreinte dans les châssis** du moule.
- Les noyaux : composant du moule qui permet de réaliser les **évidements intérieurs de la pièce ou des zones en contre-dépouille**. Les noyaux sont réalisés **en sable** par le **procédé Croning** (moulage carapace), consiste à injecter un mélange sable+résine dans un moule métallique pour fabriquer le noyau.
- Décochage : opération qui consiste à **séparer la pièce** (avec son système de remplissage+masselottes) **du sable** de moulage qui l'entoure. L'opération qui consiste à évacuer les noyaux de l'intérieur des pièces s'appelle le **débouillage**.
- Masselottage : la coulée par gravité nécessite un masselottage dont les fonctions sont : maintenir une masse de métal chaud pendant le refroidissement et le retrait progressif du métal coulé, exercer une pression sur le métal tant qu'il est liquide (évite poche air), récupérer les impuretés au passage.



Procédés d'obtention des pièces moulées

9. Un exemple de moulage au sable

On souhaite réaliser le moulage de la boîte à roulement du réducteur suivant. Avec le dessin de définition ①, on va pouvoir réaliser un modèle en bois \rightarrow de la pièce. Puis on va tasser le modèle dans le chassis inférieur (phase 10), puis assembler les 2 chassis pour faire l'empreinte de la 2^{ème} partie dans le chasis supérieur (phase 20), puis ouvrir et retirer le modèle (phase 30), enfin, placé l'alimentation, les masselottes, le noyau central et refermer l'ensemble. On est prêt pour la coulée.

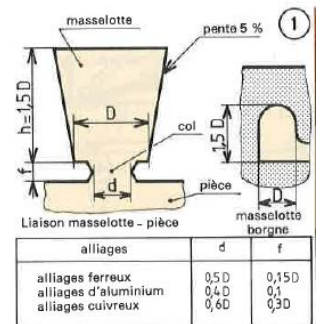


10. Conception des moules

Lors de la conception d'un moule, il ne faut pas oublier certaines fonctions importantes :

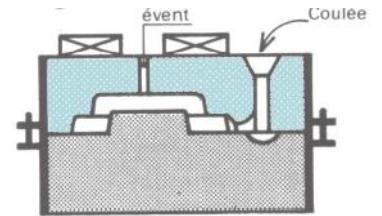
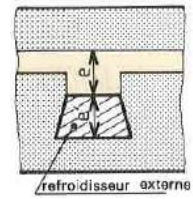
10.1. Le système d'alimentation

- Les masselottes : lors de la solidification, le **retrait volumique** de l'alliage doit être compensé par **une alimentation** de l'empreinte de la pièce, en alliage liquide. Le rôle du système d'alimentation est d'obtenir la **compacité optimale** de la pièce.



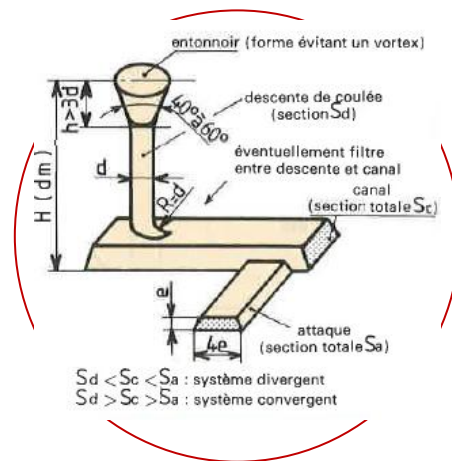
Procédés d'obtention des pièces moulées

- **Les refroidisseurs** : enfouis dans le sable, en acier ou graphite, ils servent à créer localement des gradients de température plus important que ceux du sable pour diriger la solidification.
- **Les éventails** : ils permettent à la fois l'évacuation de l'air et une bonne répartition de la matière dans les détails du moule.



10.2. Le système de remplissage

Il permet le remplissage de l'empreinte du moule avec un débit déterminé par calcul. Il se compose d'un entonnoir, d'une descente de coulée, de chenaux et d'attaques de coulée débouchant dans l'empreinte donnant la pièce.



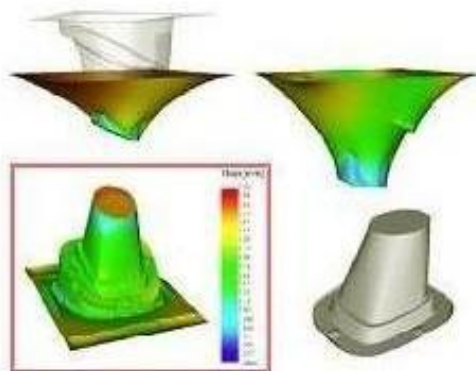
11. Les défauts en fonderie

Les principaux défauts observés en fonderie sont :

- Les : cavité formant pendant la solidification dû au retrait du métal
- Les : fissures produites par le déchirement du métal au cours du refroidissement
- **Soufflures** : trous formés par des bulles de gaz
- **Ségrégation** : hétérogénéité chimique
- **Contraintes résiduelles** : retrait et anisotropie créent des contraintes internes



retassures



Contraintes résiduelles pièce A320



criques



Procédés d'obtention des pièces moulées

12. Règles de tracé des pièces de fonderie

Afin d'éviter l'apparition des défauts évoqués ci avant, pour garantir les caractéristiques mécaniques attendues de la pièce brute, un certain nombre de précautions doivent être prises pour la conception des pièces moulées.

12.1. Importance des règles de tracé

Les règles que l'on va voir ci-après s'appliquent au tracé de la pièce brute. Elles prennent en compte les propriétés de l'alliage moulé et le procédé retenu pour la fabrication. Ces recommandations permettent d'élaborer un tracé optimal aux plans économique et qualité de la pièce :

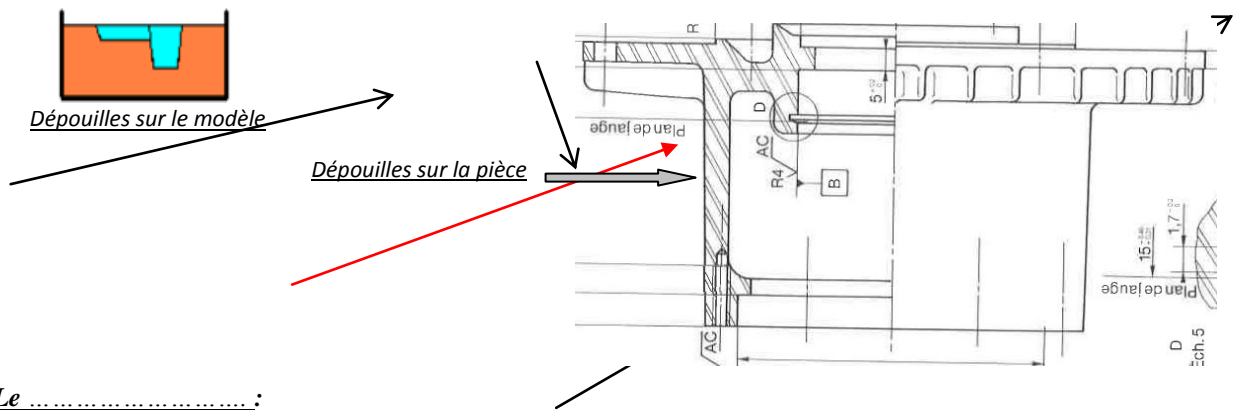
- maximale de l'alliage,
- formes, dimensions, état de surface...,
- structure fonctionnelle la plus possible / impératifs de mécanique,
- de revient minimal en réduisant au mieux les reprises d'usinage.

12.2. Les règles à retenir

Les :

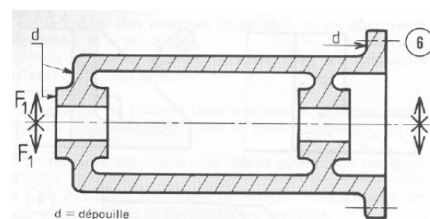
Les dépouilles (3 à 5°) sont nécessaires pour l'extraction de la pièce du moule non permanent. Elles évitent les arrachements et donc les futures exigences de la pièce finale.

En moule permanent, elles permettent l'extraction de la pièce. On utilise parfois des noyaux extérieurs pour ne pas avoir de dépouilles.



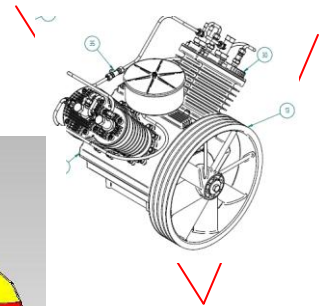
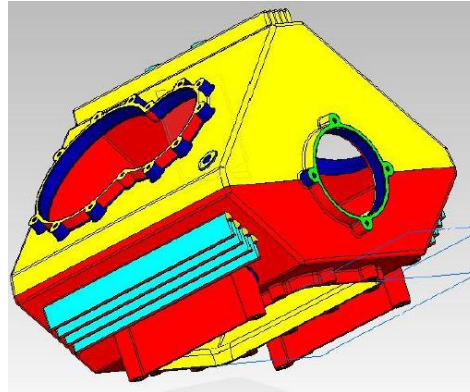
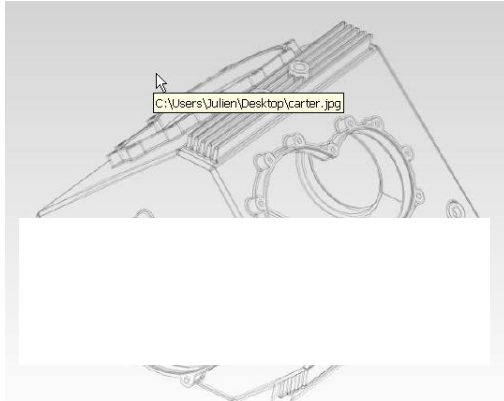
Le :

Lors de la conception du moule, il faut tenir compte du sens de démoulage du modèle ou de la pièce qui se fait généralement perpendiculairement au plan de joint. Le joint du moule se situe normalement au contour apparent maximum du contour. Un joint plan est plus facile à réaliser. Il est préférable de reporter l'empreinte dans une seule partie du moule. La dépouille d'un seul côté est plus importante mais le modèle est plus économique (cf exemple flasque ci dessus). Pour certaines pièces (révolutions), le plan de joint au centre est nécessaire.



Procédés d'obtention des pièces moulées

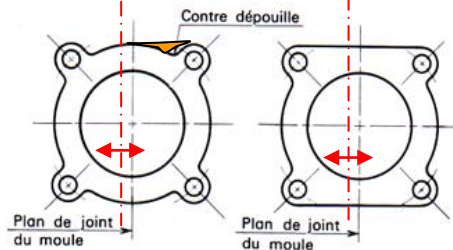
Exemple carter compresseur :



Dans cette conception d'étudiants de 3GMC INSA, le carter est moulé avec un plan de joint central, donc un modèle réparti dans les 2 chassis, avec des dépouilles opposées sur chaque partie. Toutes les surfaces sont dépouillées (nervures, plans, bossages...)



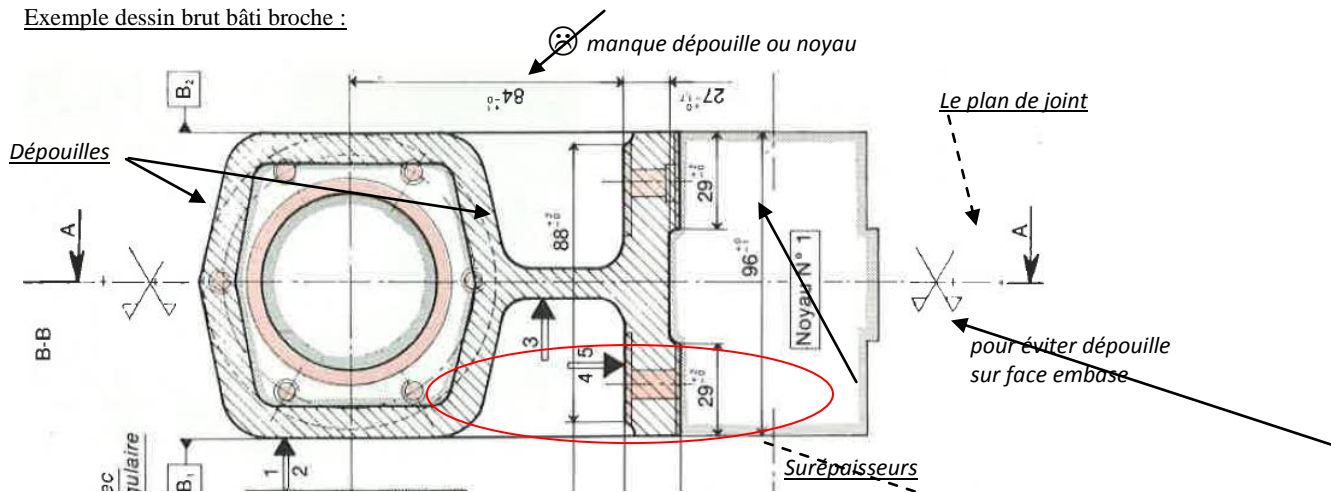
ATTENTION aux : une contre dépouille est une forme qui occasionnera une **impossibilité de démouler** sans détériorer l'empreinte. Il faut être très vigilant lors de la conception. (*surtout des bossages*)



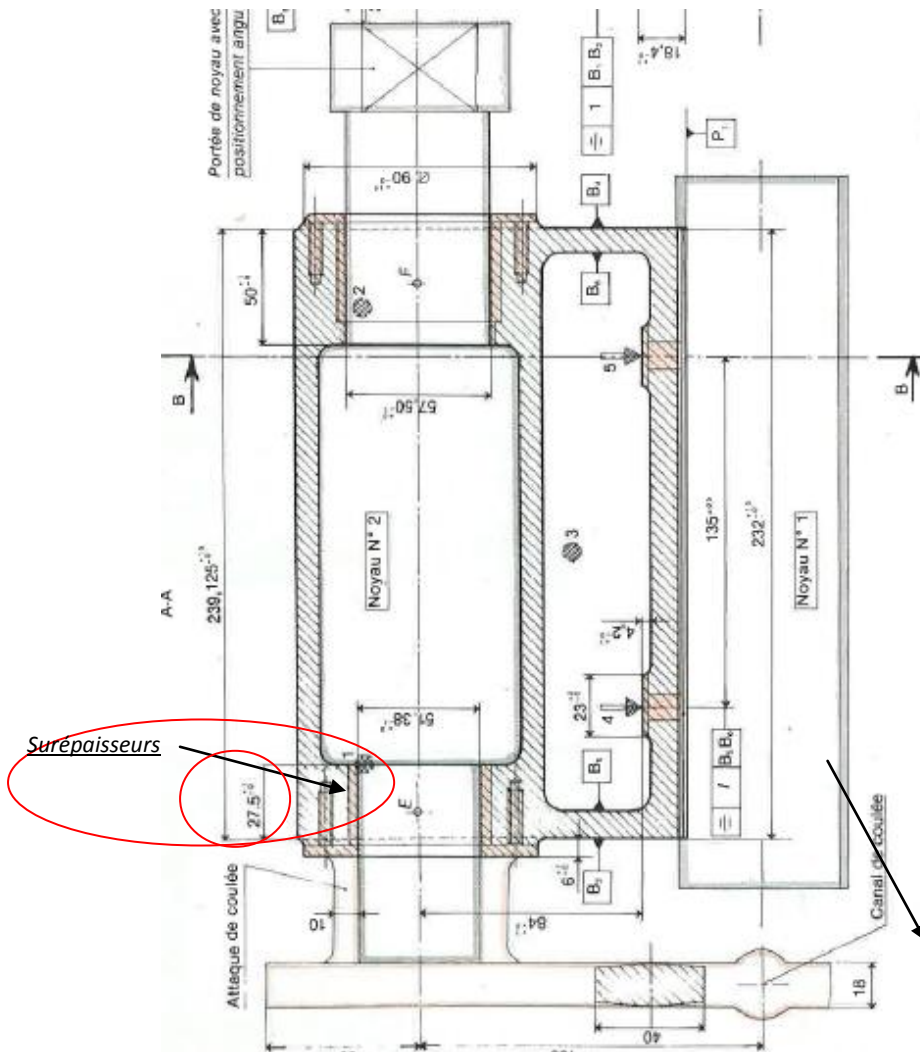
Les d'usinage :

Les surépaisseurs d'usinage est un **volume de matière ajouté** aux cotes fonctionnelles du dessin de définition par le fondeur, afin de permettre ensuite des **reprises en usinage**. L'épaisseur de celles-ci varie en fonction des cotes attendues, du retrait...

Exemple dessin brut bâti broche :



Procédés d'obtention des pièces moulées



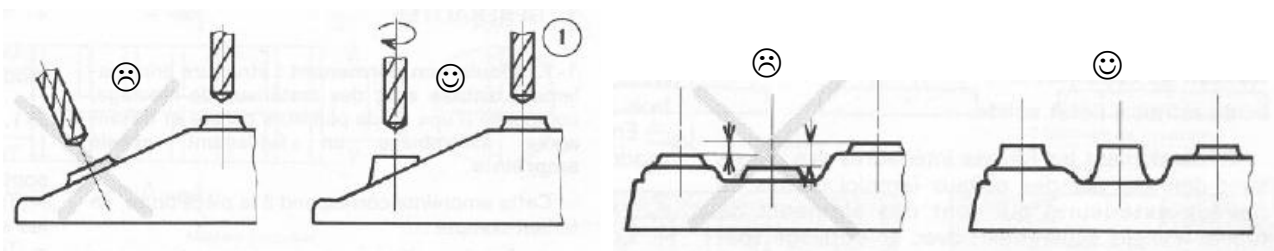
☞ mini et maxi des pièces moulées :

Alliages	mini absolu (mm)	0,5 (longueur + largeur)					②
		≤ 250	500	750	1 000	1 500	
Fontes	3	4	5	6	8	10	12
Aluminium	3	3,5	4	5	6	7	8
Cuivre	2,5	3	4	5	7	8	10

Épaisseurs minimales en moulage en sable

☞ Les :

Très utilisés sur les carters moulés, ils servent généralement « d'oreilles » de fixation de chapeaux, boîtiers... Il faut toutefois bien les concevoir en évitant aussi les contres dépouilles. Quelques règles :



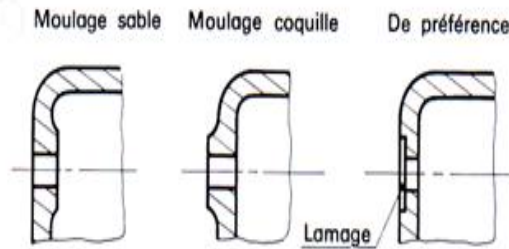
bossages avec axes direction outils

bossages avec surfaces même plan



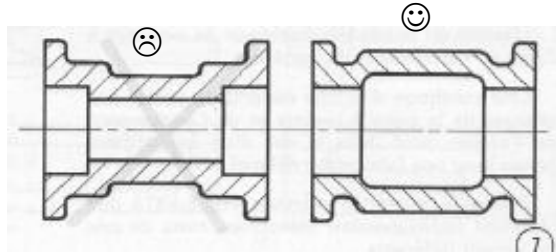
Procédés d'obtention des pièces moulées

En moulage au sable, il faut s'efforcer de mettre les bossages à l'intérieur pour limiter les contres dépouilles. Le mieux étant de réaliser des **lamages en usinage**.



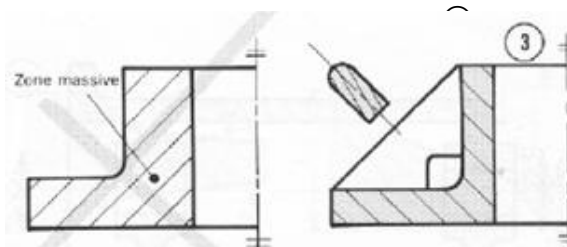
☞ Les dégagements d'outils :

Ils permettent de limiter l'usinage à la zone considérée sans usiner les parties voisines de la pièce.



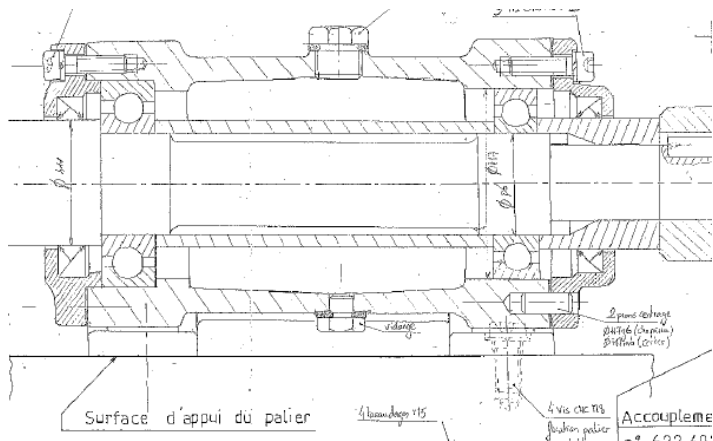
Surface au centre pas fonctionnelle = reste brute avec un évidement

☞ Les :



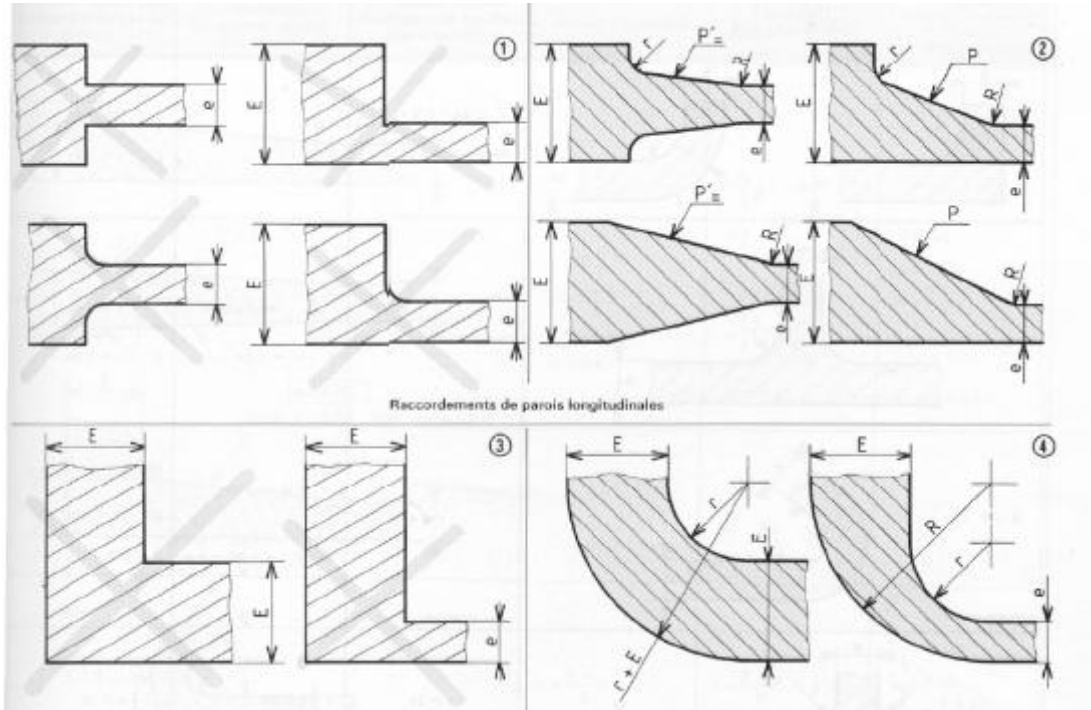
renforcer avec des nervures

☞ Les :



Eviter surface d'appui trop longues → pattes fixations

Procédés d'obtention des pièces moulées



Synthèse sur les règles de tracé avec un exemple :

