

— les **noyaux** en sable (Fig. 5.04), pour obtenir les parties creuses (noyau intérieur) ou les formes en contre dépouille (noyau extérieur).

Remarque : De nombreuses opérations de finition influent sur le prix de revient :

- déburrage des noyaux en sable,
- sciage des dispositifs de coulée : masselottes, canal d'alimentation...,
- ébarbage, grenailage...

Exemples de prix au 01/1982

Fonte Ft 20 :	jet.....	7 F le kg
	pièces simples	12 F le kg
	pièces complexes	20 F le kg
Fonte GS :	jet.....	7 F le kg
	pièce moulée	13 à 28 F le kg

Alliages d'aluminium :

	pièce moulée en A-S 13	22 à 30 F le kg
	pièce moulée en A U5 GT	28 à 37 F le kg

■ Choix de l'alliage

Tous les métaux et alliages ayant un point de fusion élevé sont moulables.

Les critères de choix de l'alliage sont :

- le prix de revient de la pièce,
- les propriétés spécifiques recherchées,
- les caractéristiques mécaniques imposées.

MOYENNE DES PRIX (Indice de comparaison)

Pour pièces simples

Alliages	0	1	5	10	12
Aciers					
Alliages d'Al.					
Alliages de Cu					
Alliages de Zn					
Fontes					

PROPRIETES SPECIFIQUES

(Indices de comparaison)

APTITUDE AU MOULAGE					APTITUDE A L'USINAGE				
0					0				
→ 100					→ 100				
Aciers	A 40 M				Aciers	A 40 M			
	A 65 M				Aciers	A 65 M			
Alliages d'aluminium	AS 13				Alliages d'aluminium	AS 13			
	AS 10 G				Alliages d'aluminium	AS 10 G			
	AU 5 GT				Alliages d'aluminium	AU 5 GT			
					Alliages d'aluminium				
Fontes	Ft 15				Fontes	Ft 15			
	Ft 25				Fontes	Ft 25			
	Ft 40				Fontes	Ft 40			
	FGS-MP				Fontes	FGS-MP			
	MN-MB				Fontes	MN-MB			
					Fontes				
CAPACITE D'AMORTISSEMENT DES VIBRATIONS					APTITUDE AU SOUDAGE ET BRASAGE				
0					0				
→ 100					→ 100				
Aciers	A 40 M				Aciers	A 40 M			
	A 65 M				Aciers	A 65 M			
Alliages d'aluminium	AS 13				Alliages d'aluminium	AS 13			
	AS 10 G				Alliages d'aluminium	AS 10 G			
	AU 5 GT				Alliages d'aluminium	AU 5 GT			
					Alliages d'aluminium				
Fontes	Ft 15				Fontes	Ft 15			
	Ft 25				Fontes	Ft 25			
	Ft 40				Fontes	Ft 40			
	FGS-MP				Fontes	FGS-MP			
	MN-MB				Fontes	MN-MB			
					Fontes				
RESISTANCE A L'USURE					RESISTANCE A LA CORROSION ATMOSPHERIQUE				
0					0				
→ 100					→ 100				
Aciers	A 40 M				Aciers	A 40 M			
	A 65 M				Aciers	A 65 M			
Alliages d'aluminium	AS 13				Alliages d'aluminium	AS 13			
	AS 10 G				Alliages d'aluminium	AS 10 G			
	AU 5 GT				Alliages d'aluminium	AU 5 GT			
					Alliages d'aluminium				
Fontes	Ft 15				Fontes	Ft 15			
	Ft 25				Fontes	Ft 25			
	Ft 40				Fontes	Ft 40			
	FGS-MP				Fontes	FGS-MP			
	MN-MB				Fontes	MN-MB			
					Fontes				

CARACTERISTIQUES MECANQUES

(Indices de comparaison)

RESISTANCE A LA TRACTION (daN/mm ²)				ALLONGEMENT (%)			
0 → 100				0 → 20			
Aciers	A 40 M			Aciers	A 40 M		
	A 65 M				A 65 M		
Alliages d'aluminium	AS 13			Alliages d'aluminium	AS 13		
	AS 10 G				AS 10 G		
	AU 5 GT				AU 5 GT		
Fontes	Ft 15			Fontes	Ft 15		
	Ft 25				Ft 25		
	Ft 40				Ft 40		
	FGS-MP				FGS-MP		
	MN-MB				MN-MB		
LIMITE D'ELASTICITE (daN/mm ²)				MODULE D'ELASTICITE (daN/mm ²)			
0 → 100				(Rigidité) 0 → 20.000			
Aciers	A 40 M			Aciers	A 40 M		
	A 65 M				A 65 M		
Alliages d'aluminium	AS 13			Alliages d'aluminium	AS 13		
	AS 10 G				AS 10 G		
	AU 5 GT				AU 5 GT		
Fontes	Ft 15			Fontes	Ft 15		
	Ft 25				Ft 25		
	Ft 40				Ft 40		
	FGS-MP				FGS-MP		
	MN-MB				MN-MB		
RESISTANCE A LA FATIGUE (daN/mm ²)				RESISTANCE AU CHOC (daJ/cm ²)			
0 (flexion rotative) → 100				0 (éprouvettes entaillées CHARPY) → 5			
Aciers	A 40 M			Aciers	A 40 M		
	A 65 M			Aciers	A 65 M		
Alliages d'aluminium	AS 13			Alliages d'aluminium	AS 13		
	AS 10 G				AS 10 G		
	AU 5 GT				AU 5 GT		
Fontes	Ft 15			Fontes	Ft 15		
	Ft 25				Ft 25		
	Ft 40				Ft 40		
	FGS-MP				FGS-MP		
	MN-MB				MN-MB		
DURETE (Brinell 10.3000)				RESISTANCE A LA COMPRESSION			
0 → 300				0 → 200			
Aciers	A 40 M			Aciers	A 40 M		
	A 65 M				A 65 M		
Alliages d'aluminium	AS 13			Alliages d'aluminium	AS 13		
	AS 10 G				AS 10 G		
	AU 5 GT				AU 5 GT		
Fontes	Ft 15			Fontes	Ft 15		
	Ft 25				Ft 25		
	Ft 40				Ft 40		
	FGS-MP				FGS-MP		
	MN-MB				MN-MB		

1 Possibilités d'augmentation par traitements thermiques

FGS : fonte de graphite sphéroïdal MN : fonte malléable à cœur noir

MP : » malléable perlitique MB : » » » blanc

■ Épaisseur des parois moulées

Le remplissage correct de l'empreinte implique une épaisseur minimale des parois.

— *Épaisseur minimale des parois des pièces en aciers ou en fontes* : voir abaque (Fig. 5.05).

— *Épaisseur minimale des parois des pièces en alliages légers, suivant le mode de moulage* : voir abaque (Fig. 5.06).

Cas des parois rectangulaires de longueur L et de largeur l :

$$D = \frac{L + l}{2}$$

Cas d'une paroi de forme quelconque : prendre une paroi de surface équivalente, avec L pour plus grande dimension (Fig. 5.06).

■ Surépaisseurs d'usinage et tolérances dimensionnelles NF A 32 011

Cotes nominales de référence		Plus grande dimension					
		de (exclus)					
		100	160	250	630		
		à (inclus)					
		≤100	160	250	630	1000	
de (exclus)	à (inclus)	Surépaisseurs d'usinage					
	≤ 16	2,5	2,5	2,5	3,5	4	
16	25	2,5	2,5	2,5	3,5	4	
25	40	2,5	2,5	2,5	4	4,5	
40	63	3	3	3	4	4,5	
63	100	3	3	3	4	4,5	
100	160		3	3	4,5	5	
160	250			3,5	4,5	5	
250	400				5	5,5	
400	630				5,5	6	
630	1000					6,5	
1000	1600						
1600	2500						
2500	4000						
de (exclus)	à (inclus)	Tolérances dimensionnelles ± en millimètres					
	≤ 16	0,5	0,5	0,5	0,5	1	
16	25	0,5	0,5	0,5	0,5	1	
25	40	0,5	0,5	0,5	1	1,5	
40	63	1	1	1	1	1,5	
63	100	1	1	1	1	1,5	
160	250		1	1	1,5	2	
250	400			1,5	1,5	2	
400	630				2	2,5	
630	1000				2,5	3	
1000	1600					3,5	

FONTES ET ACIERS

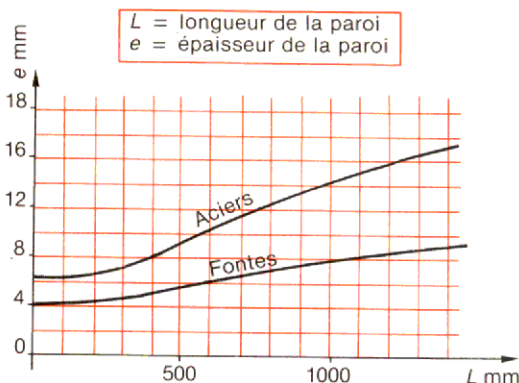
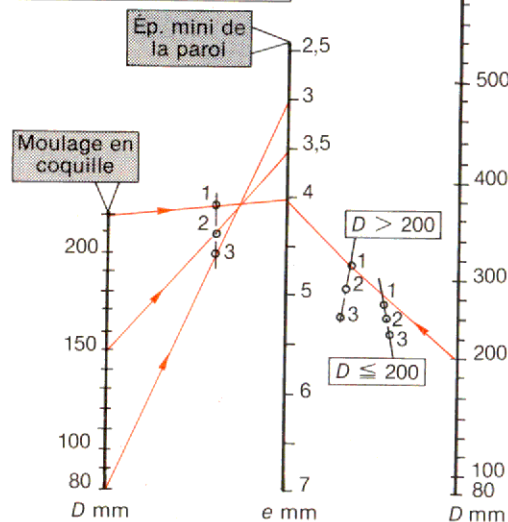


Fig. 5.05. — Ep. des parois - Moulage sable.

ALLIAGES LÉGERS

1	A-S13, A-U8S4
2	A-S4U3, A-S10G, A-S4G
3	A-U5GT, A-G6



Détermination de D

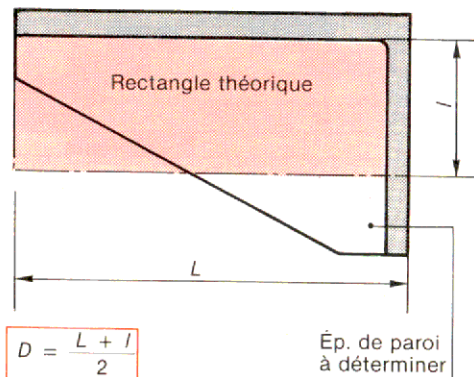


Fig. 5.06. — Ep. des parois - All. légers.

■ Analyse des dispersions

Cas du moulage en sable (Fig. 5.07).

- Fermeture y : cote y - 0
- Longitudinal x : cote x $\pm 0,5$
- Latéral z : cote z $\pm 0,75$

Différents types de cotes obtenues

- Cotes A : dans une même partie du moule.
- Cotes B : entre deux parties du moule.
- Cotes C : entre trois parties du moule.

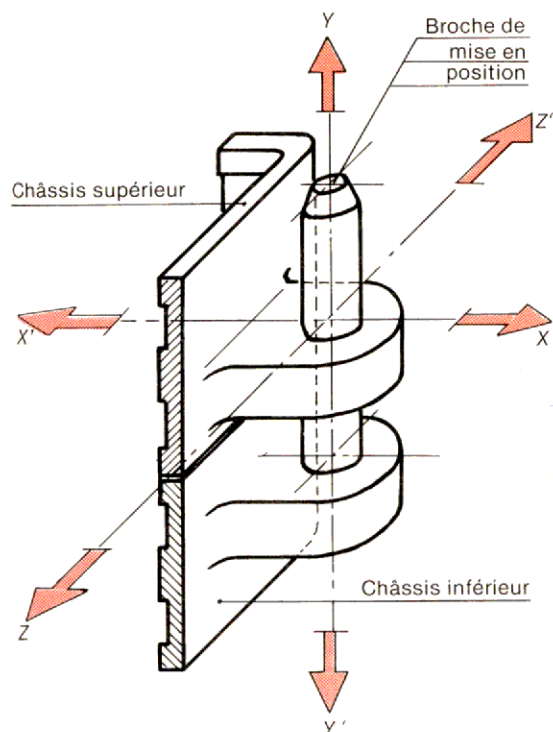


Fig. 5.07. — Direction des dispersions.

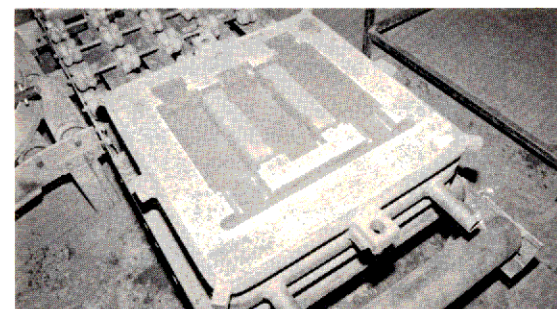


Fig. 5.08. — Châssis inférieur.

Exemples d'applications :

— Empreinte dans un seul châssis (Fig. 5.09)

Cote A = cote nominale $\pm 0,5$.

Cote B_1 = cote nominale + écart de fermeture.

Cote B_2 = cote nominale $\pm 0,5$.

— Empreinte dans deux châssis, un noyau (Fig. 5.10)

Cote C = cote nominale + écart y $\pm$ écart noyau/moule

— Empreinte réalisée avec deux noyaux (Fig. 5.11)

Cote C_1 = cote nominale + écart y + écart noyau 1/moule

Cote C_2 = cote nominale + écart y + écart noyau 1/moule + écart noyau 2/noyau 1

Remarque : Le tableau de la page 68 donne la valeur des IT en fonction des dimensions de la pièce, sans tenir compte du type de cote.

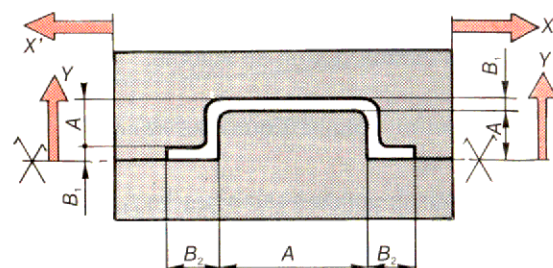


Fig. 5.09. — Empreinte dans un seul châssis.

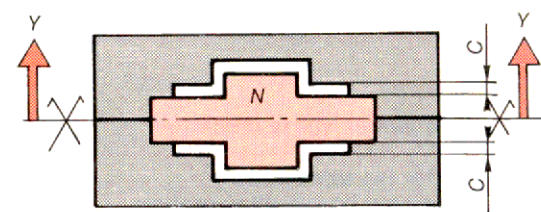


Fig. 5.10. — Un seul noyau.

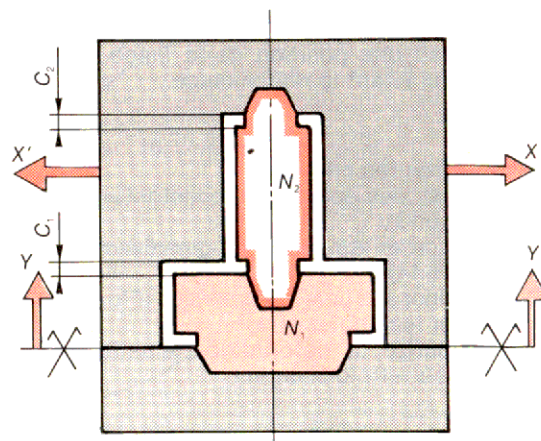


Fig. 5.11. — Empreinte avec 2 noyaux.

■ Étude du refroidissement

Exemple de solidification des alliages fer-carbone (Fig. 5.12).

Le passage de l'état liquide à l'état solide est progressif. La solidification se développe avec la formation d'arborescences (dendrites) selon trois directions rectangulaires. Les dendrites engendrent finalement un grain.

Le diagramme fait apparaître trois zones :

- zone liquide de D à A ,
- zone de transformation de A à B ,
- zone solide à partir de B .

Remarque : un alliage fer-carbone à 4,7% de carbone se solidifie à température constante. Cet alliage est appelé :

ALLIAGE EUTECTIQUE

— Analyse de la coulée.

- En D : température de coulée θ° .
- De D à A : remplissage du moule.
- En A : début de solidification.
- De A à B : transformation de la masse liquide en masse solide. Cette transformation s'accompagne d'une contraction de volume.

Retrait volumétrique = RETASSURE

- En B : masse solide à température t_1
- De B à C : refroidissement de t_1 à t_0

Le refroidissement s'accompagne d'un retrait linéaire.

Retrait linéaire = CRIQUE

— Conséquences sur le moulage.

Pour éviter les retassures :

- Prévoir une bonne alimentation.
- Prévoir des masselottes orientant le refroidissement.
- Disposer des refroidisseurs métalliques dans le moule.
- Choisir une position de la pièce dans le moule facilitant le remplissage.

Pour éviter les criques :

- Choisir des épaisseurs constantes (Fig. 5.13).
- Raccorder les parois progressivement (Fig. 5.14).
- Éliminer les parties massives (Fig. 5.15).
- Éviter les angles vifs.
- Permettre la déformation élastique des pièces au refroidissement.

L'étude du refroidissement permet de dégager les règles de moulage les plus importantes.

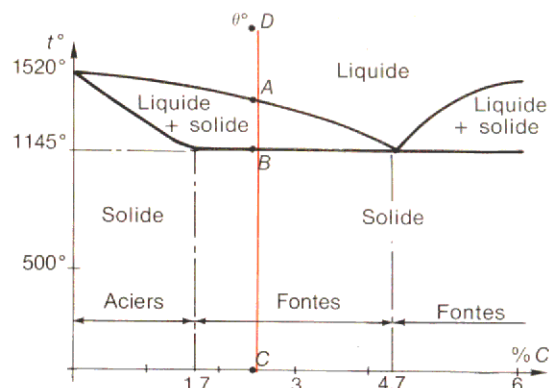


Fig. 5.12. — Diagramme de solidification.

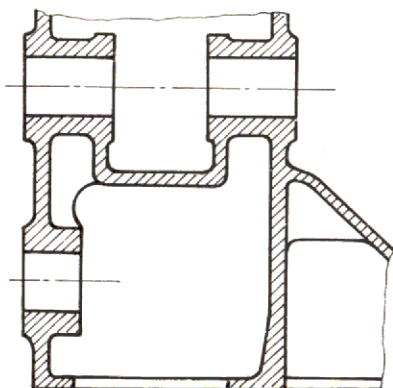


Fig. 5.13. — Épaisseurs constantes.

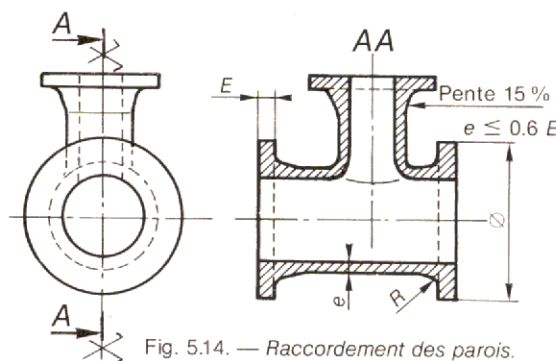


Fig. 5.14. — Raccordement des parois.

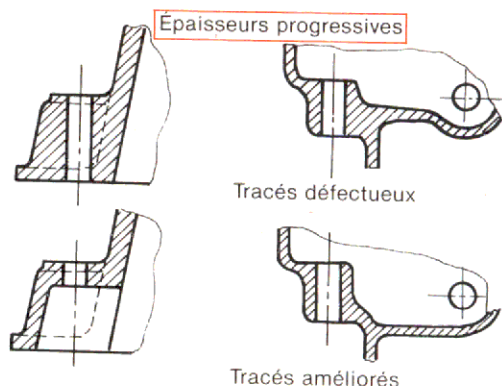


Fig. 5.15. — Pas de parties massives.

■ Règles de tracé des pièces moulées en sable

REGLE 1 : Choix de l'alliage

- Il conditionne les épaisseurs minimales et le prix de la pièce moulée.
- Se référer pages 66 et 67.

REGLE 2 : Choix du joint de moulage (Fig. 5.16)

- Il passe par la plus grande section de la pièce ou par le plan de symétrie.
- Il doit limiter le nombre de noyaux et favoriser leur mise en place stable.
- Il doit permettre la sortie du modèle.
- Il limite les opérations d'ébarbage.

REGLE 3 : Choix des épaisseurs

- Choix des épaisseurs minimales (p. 68).
- Respecter des épaisseurs constantes sur les formes brutes.
- Les variations d'épaisseurs doivent être progressives. L'accroissement des masses est proportionnel au rapport des surfaces des cercles inscrits (Fig. 5.17).

REGLE 4 : Mise en place des dépouilles

- Toutes les parois situées dans la direction de l'extraction du modèle sont inclinées par rapport au joint. Eviter les parois verticales.
- Eviter les formes en contre dépouille qui nécessitent des noyaux extérieurs.
- Les dépouilles s'ajoutent aux dimensions nominales.

REGLE 5 : Raccord de parois (Fig. 5.18)

- Pas d'accumulation de matière. Eviter les raccords en croix.
- Mettre des congés et arrondis sur tous les angles rentrants.

REGLE 6 : Limites des parties usinées

- Placer des bossages à l'intérieur et prévoir des usinages localisés à l'extérieur : lamages...

REGLE 7 : Stabilité des noyaux

- Eviter les noyaux en porte-à-faux.
- Donner aux ouvertures des dimensions suffisantes.

REGLE 8 : Trous venant de fonderie

- $\varnothing$ mini défini par les abaques (Fig. 5.19).
- Pour les grands $\varnothing$ renforcer le bord de l'orifice (Fig. 5.19).

REGLE 9 : Contraintes dues au retrait

- Eviter les formes rigides. Permettre la déformation élastique au refroidissement.

REGLE 10 : Equilibrage des sollicitations

- Les formes doivent équilibrer les efforts appliqués aux pièces en fonctionnement et pendant l'usinage.
- Les pièces moulées résistent mieux en compression qu'en traction.
- Les formes nervurées résistent mieux à la flexion.
- Les formes en caisson résistent mieux à la torsion.

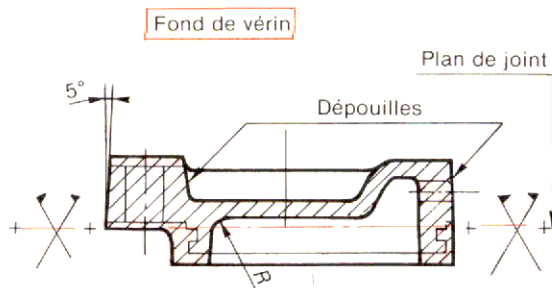


Fig. 5.16. — Choix du plan de joint.

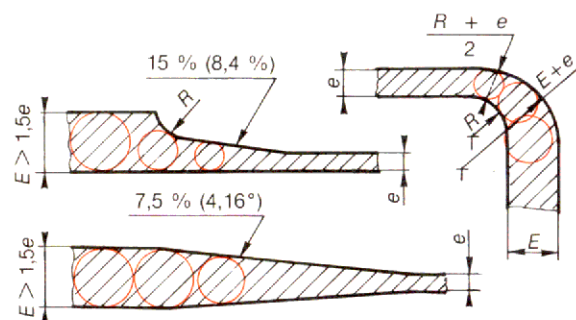


Fig. 5.17. — Variation d'épaisseur.

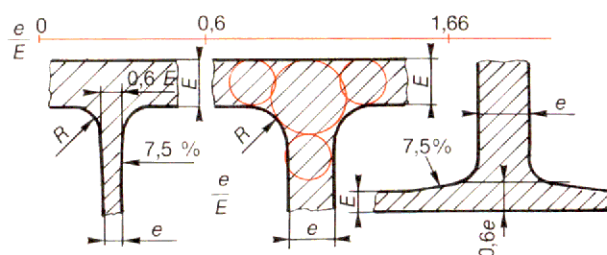


Fig. 5.18. — Raccords des parois.

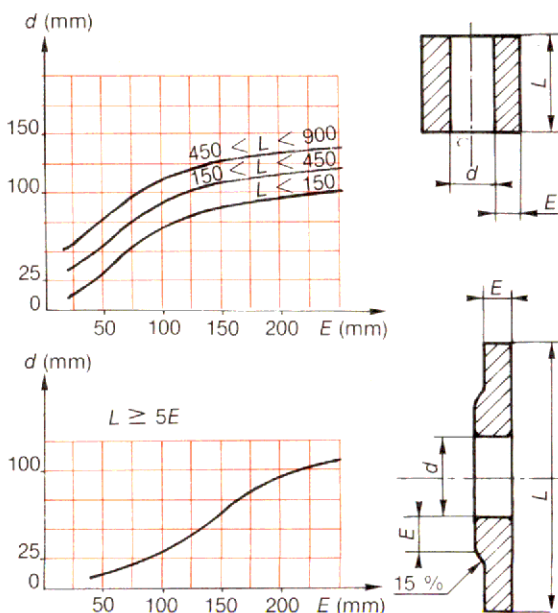


Fig. 5.19. — Trous venant de fonderie.

Remarques :

- Les tracés respectant ces règles ne subiront pas de modification importante lors de l'étude au moulage.
- Les pièces complexes ou de grandes dimensions peuvent être décomposées en éléments simples assemblés par la suite.

■ Méthode de tracé des pièces moulées pour un alliage choisi et un procédé de moulage en sable.

1 — Tracé des surfaces fonctionnelles (Fig. 5.20)

Disposition relative des surfaces.

Mise en place des spécifications.

2 — Tracé des surfaces capables (Fig. 5.21)

Il s'agit de surfaces permettant, après usinage, l'obtention des surfaces fonctionnelles.

Placer les surépaisseurs d'usinage (p. 68).

Décider des trous qui viendront de fonderie.

3 — Tracé des volumes capables (Fig. 5.22)

Répartir des épaisseurs constantes autour des surfaces capables (brutes).

Raccorder les volumes par des parois d'épaisseur constante.

Tracer des formes simples et compactes.

4 — Tracé des formes définitives (Fig. 5.23)

Choisir le meilleur joint de moulage.

Placer les dépouilles.

Aménager le tracé : supprimer les contre-dépouilles, placer les congés et arrondis...

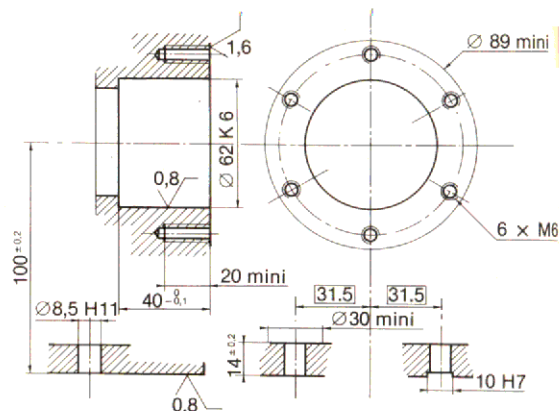


Fig. 5.20. — Surfaces fonctionnelles.

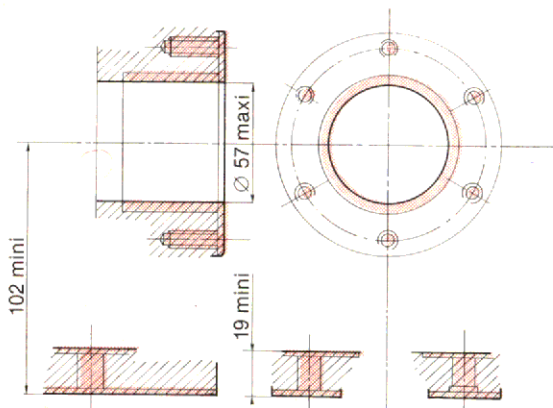


Fig. 5.21. — Surfaces capables.

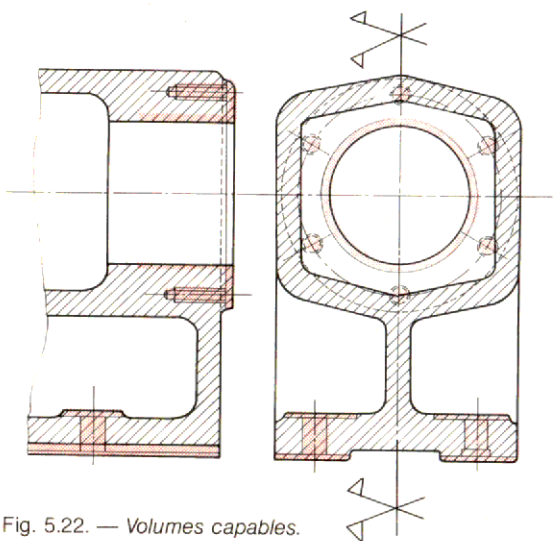


Fig. 5.22. — Volumes capables.

Remarques : Ce tracé permet de produire le ou les projets de dessin de définition de produit à partir desquels :

Le BdM fonderie exécute un projet d'étude de moulage et estime le coût du brut moulé (Fig. 5.23).

— Le BdM usinage exécute une gamme succincte et estime le coût de l'usinage.

— Le B.E choisi la solution définitive et exécute :

“Le dessin de définition de produit”

La collaboration dessinateur-usineur-fondeur garantit la réalisation de pièces saines et économiques.

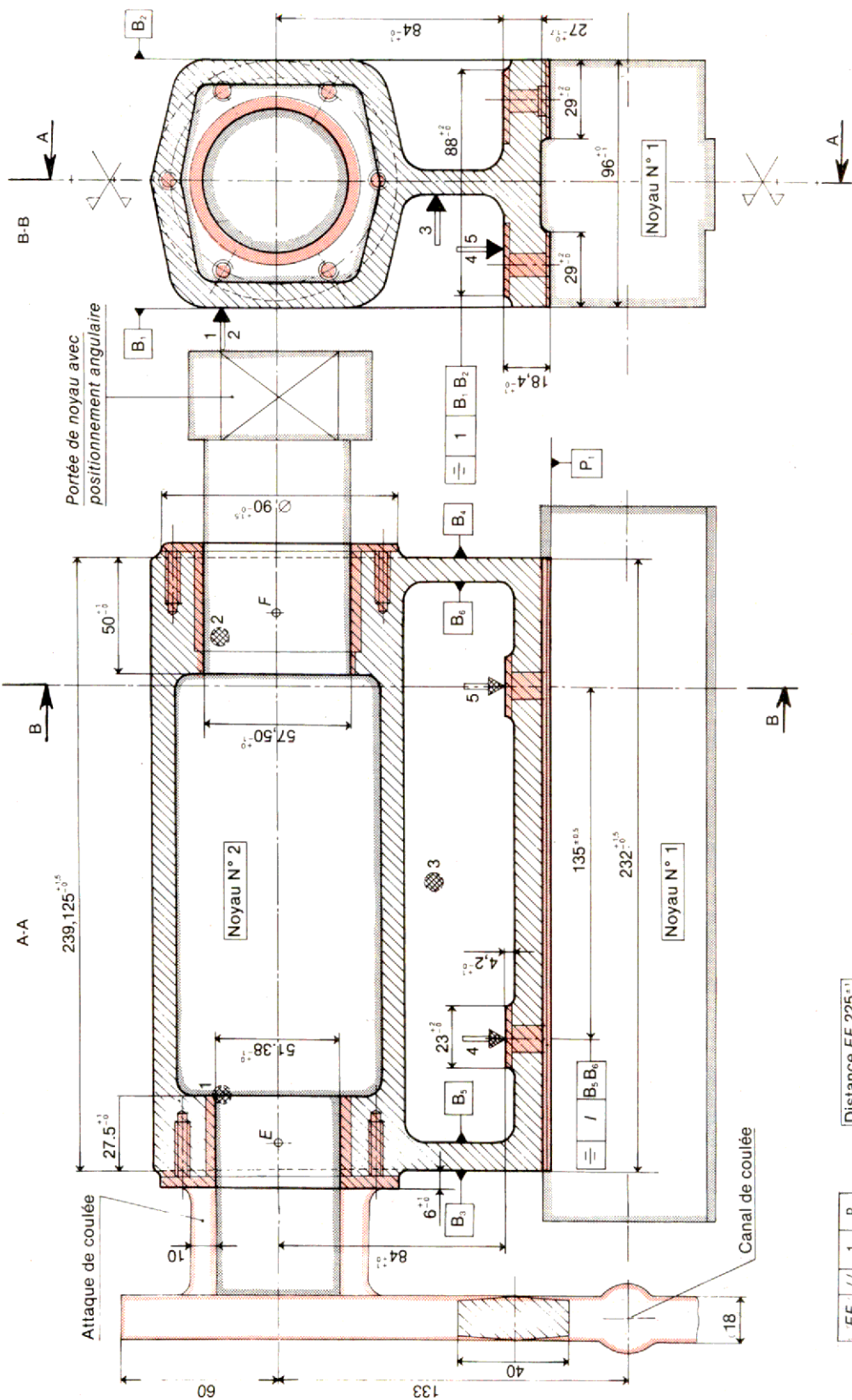
■ Etude de moulage

• Données :

Le dessin de définition du brut capable établi par le bureau des méthodes « usinage » en fonction de l'étude de fabrication retenue.

Exemple : corps d'unité (Fig. 5.23).

Remarque : Pour les très petites séries, l'étude de moulage peut être réalisée sur le dessin de définition de produit.



SUPPORT DE BROCHE D'UNITÉ DE ROTATION Ft 20
Dessin du brut capable établi par la B.M.

Fig. 5.23. — *Projet d'étude de moulage.*

NOTA — Le moulage est étudié pour couler 2 pièces dans le même moule (2 empreintes).

Distance EF 225⁺¹

EF // 1 P₁

EF ≡ 0.6 B.B.₁

B₁B₆ ≡ 0.6 B₃B₄

• **Etapes du processus**

1 — **Etude de moulage** sur le dessin de définition du brut capable (Fig. 5.23).

— Plan de joint (déjà choisi).

— Disposition des noyaux.

— Système de coulée: alimentation, masse-lotte...

2 — **Etude des outillages** (Fig. 5.24)

— Etude du modèle.

— Etude des boîtes à noyaux (Fig. 5.26).

— Etude des plaques modèles (cas du moulage mécanique).

3 — **Etude des opérations** de moulage

— Etude de l'alliage.

— Choix de l'outillage: châssis...

— Choix des machines: machines à mouler, à souffler les noyaux...

— Elaboration des fiches techniques des opérations de moulage.

• **Détermination de toutes les cotes et exécution du dessin de définition du brut fini.**

■ **Réalisation des pièces moulées**

1 — **Exécution des outillages**

Plaques-modèles (Fig. 5.24) et boîtes à noyaux (Fig. 5.26).

2 — **Exécution des noyaux** sur machine à souffler les noyaux.

3 — **Exécution des empreintes** dans les 2 châssis, sur machine à mouler (Fig. 5.25) (pour tasser le sable).

4 — **Mise en place des noyaux** (Fig. 5.27)

Contrôle et fermeture du moule.

5 — **Coulée**

6 — **Décochage, ébarbage, finition** (grenailage, perçage...)

7 — **Contrôles**: dimensionnel, métallurgique, dureté, étanchéité...

Le contrôle dimensionnel s'effectue à partir du référentiel de départ d'usinage.

Le contrôle porte sur les cotes du dessin du brut capable.

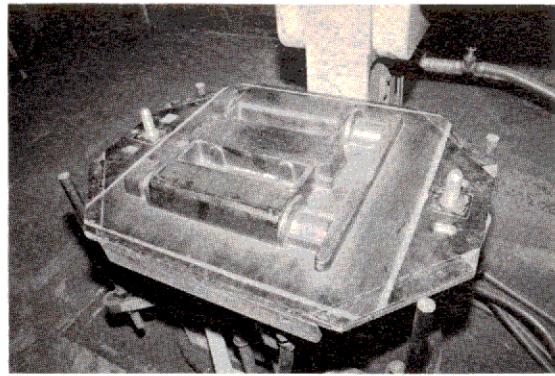


Fig. 5.24. — Plaque modèle sur machine.

Fig. 5.25. — Châssis inférieur : empreinte.

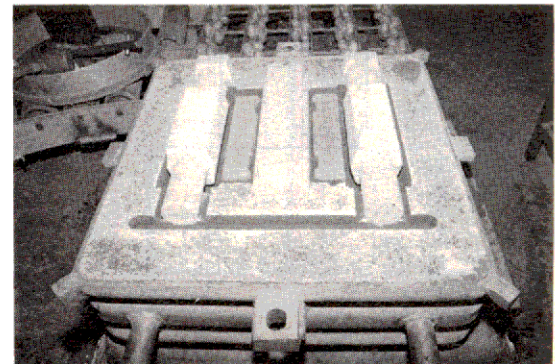
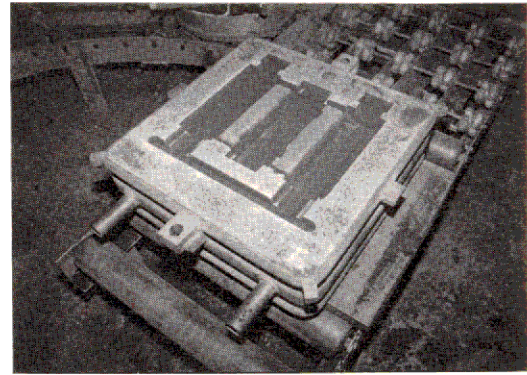


Fig. 5.27. — Châssis inférieur prêt à être assemblé.

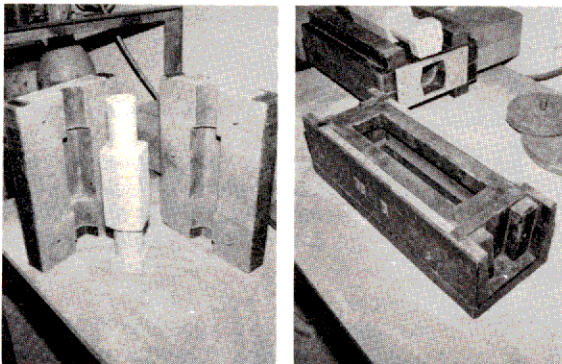
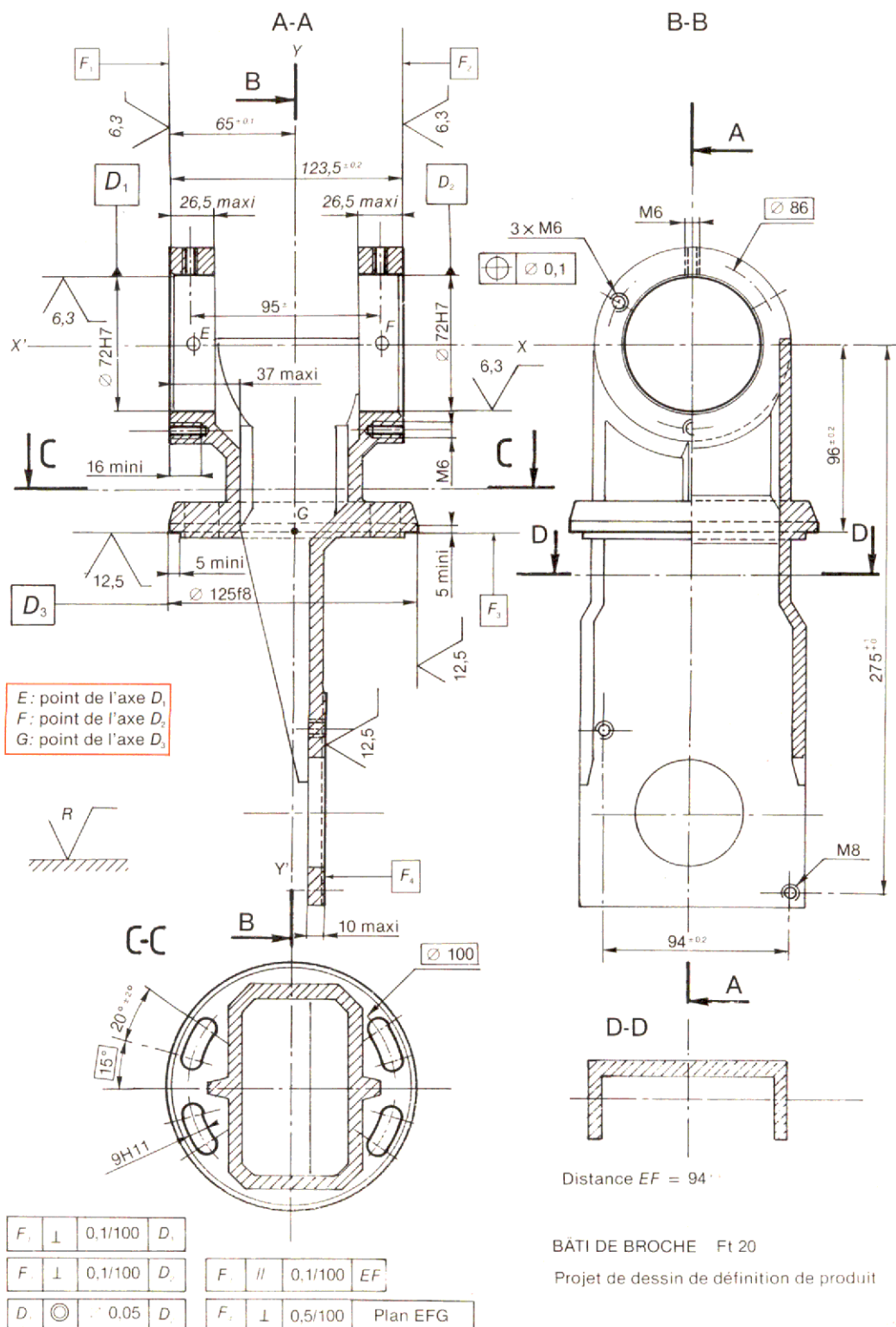
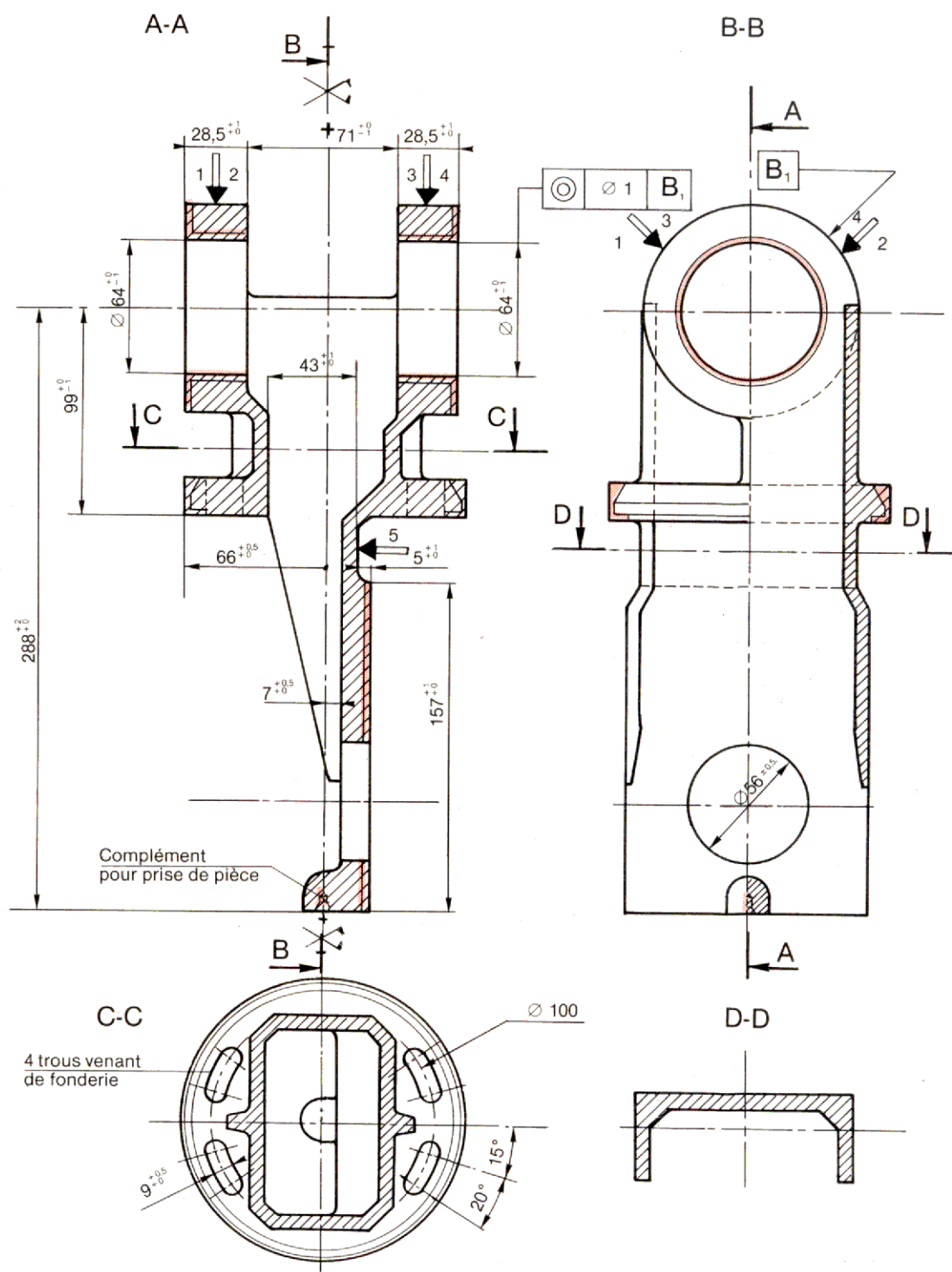


Fig. 5.26. — Exécution des noyaux.



g. 5.28. — Exemple de projet de dessin de pièce moulée étudiée par le BE.



Cotation établie par le bureau
des méthodes "Usinage"

BÂTI DE BROCHE Ft 20

Fig. 5.29. — Exemple de dessin de brut capable établi par le BdM "usinage."

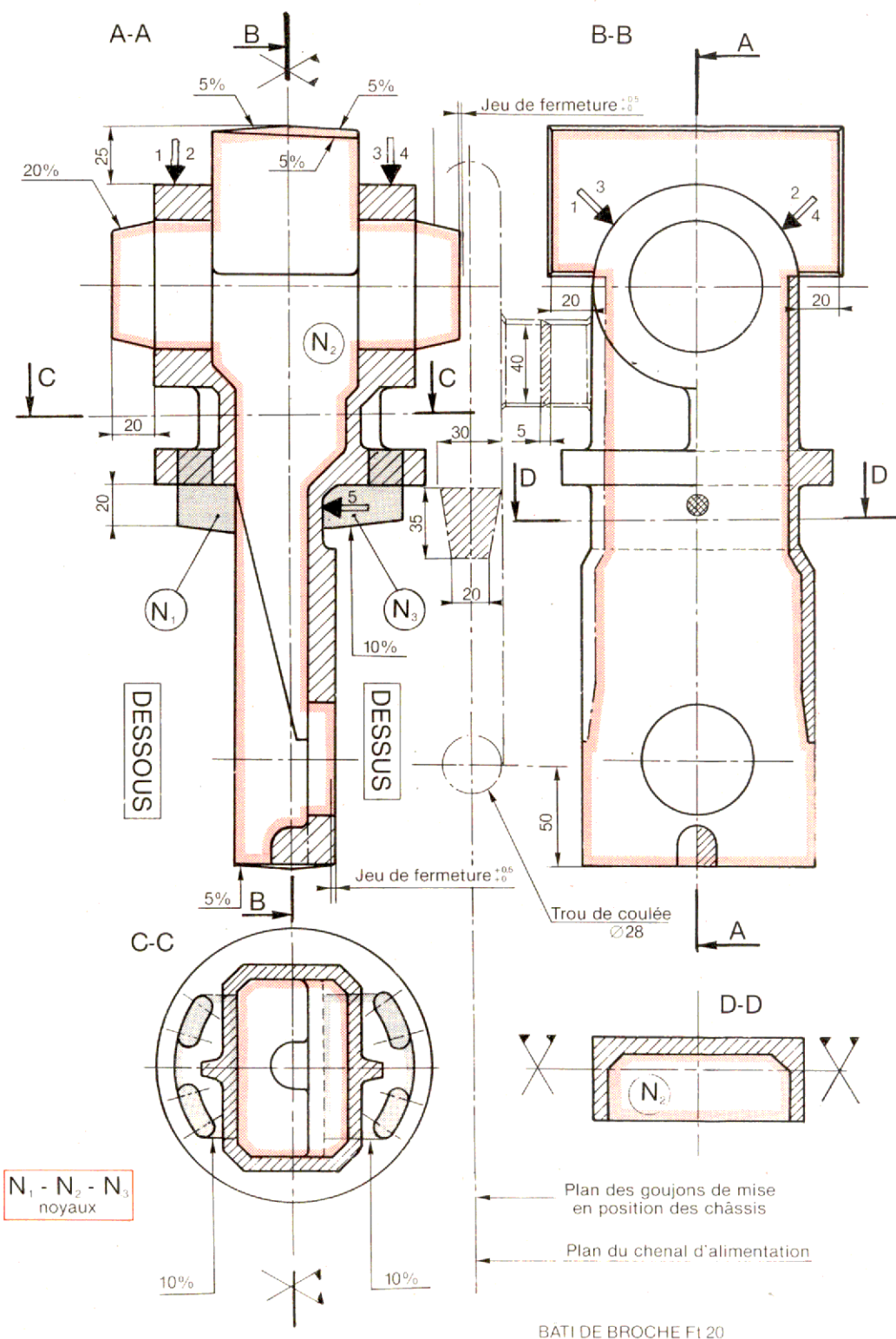


Fig. 5.30. — Etude de moulage réalisée par le BdM "Fonderie."

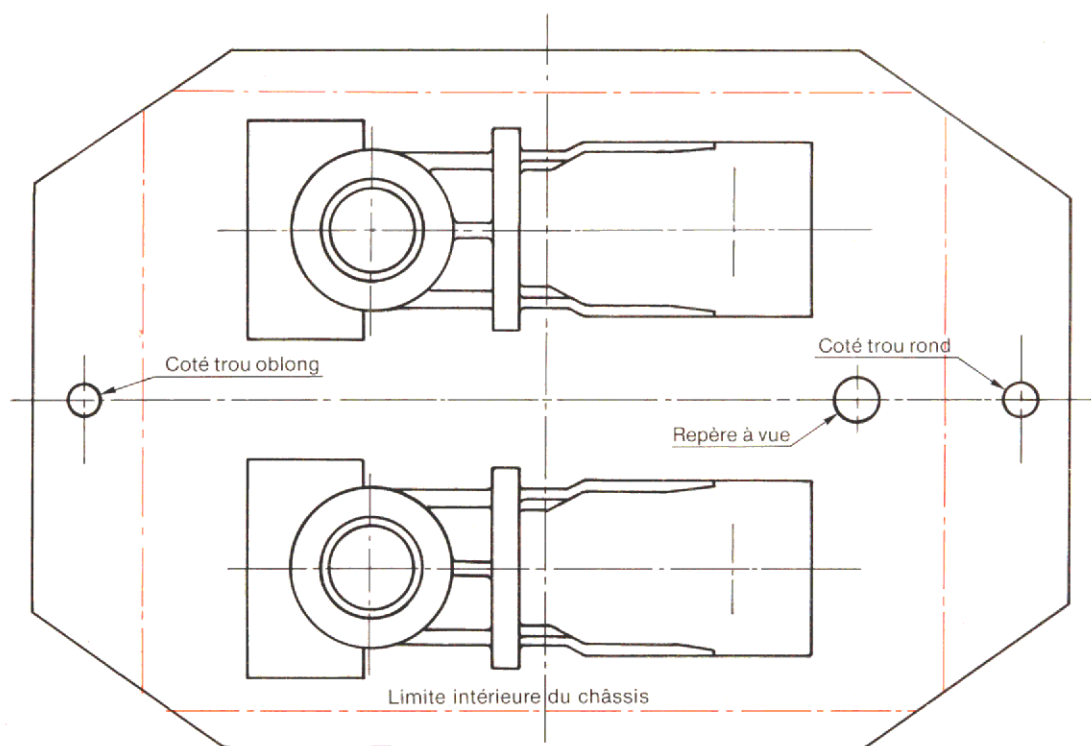


Fig. 5.31. — Plaque modèle pour châssis de dessous.

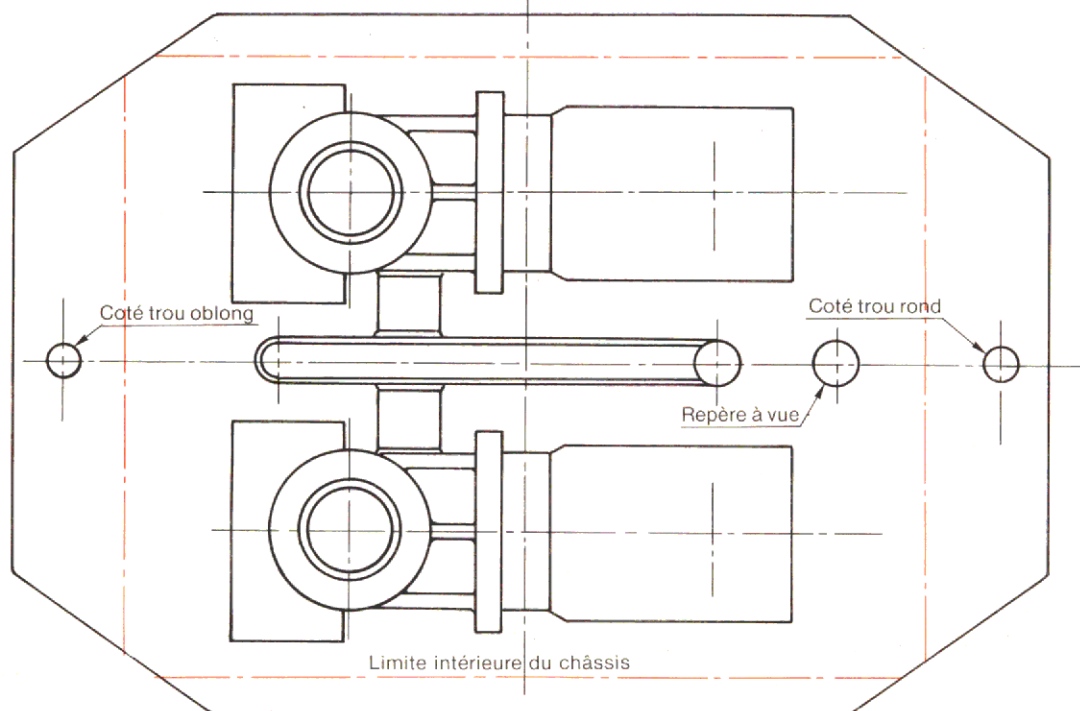


Fig. 5.32. — Plaque modèle pour châssis de dessus.

5.1 4 Le moulage en coquille

■ Différents types de moulage

- Coulée en coquille par gravité.
- Coulée en coquille sous pression, pour grandes et très grandes séries, nécessite une poussée de 5 t à 3 000 t suivant l'importance des pièces. Les pièces ont de très faibles épaisseurs, des épaisseurs très régulières et sont fortement nervurées (carters, carburateurs...)

■ Alliages courants utilisés

Tous les alliages à point de fusion bas.

Alliages d'Al.	Alliages de Cu
AS 7G - AS 10G AS 13 - AU 8S sous pression : A5 - AU 10S4 - A G6	Cu Zn 40 Cu Sn 5

Désignation AS 13 - Y - 30

Y = Alliage coulé 3 = en coquille
O = sans traitement thermique

■ Avantages du moulage en coquille

- Minimum de matière, poids réduit.
- Tolérances serrées : IT et R_a .
- Réduction des usinages.
- Caractéristiques mécaniques élevées.
- Cadence de production élevée.

■ Particularités du moulage en coquille :

- Ouverture du moule dans toutes les directions.
- Retrait des noyaux : tous les évidements en dépouille sont vers l'extérieur.
- Les bossages sont extérieurs.

■ Règles de tracé des pièces moulées en coquille (Fig. 5.33)

Les règles générales du moulage en sable restent valables. Règles particulières :

REGLE 1 : Joints de moulage

- Choisir des joints plans et en nombre limité.

REGLE 2 : Choix des épaisseurs

- Epaisseurs très régulières : 4 mm par gravité.
- Evidements et amincissements.
- Nervurage.
- Grands arrondis en raccordement.

REGLE 3 : Mise en place des dépouilles

- Pour les alliages légers = 1%.

REGLE 4 : Raccordement des parois

- Pas d'accumulation de matière.
- Pas d'angles vifs.

REGLE 5 : Retrait des noyaux

- Faciliter le retrait des noyaux (Fig. 5.34).

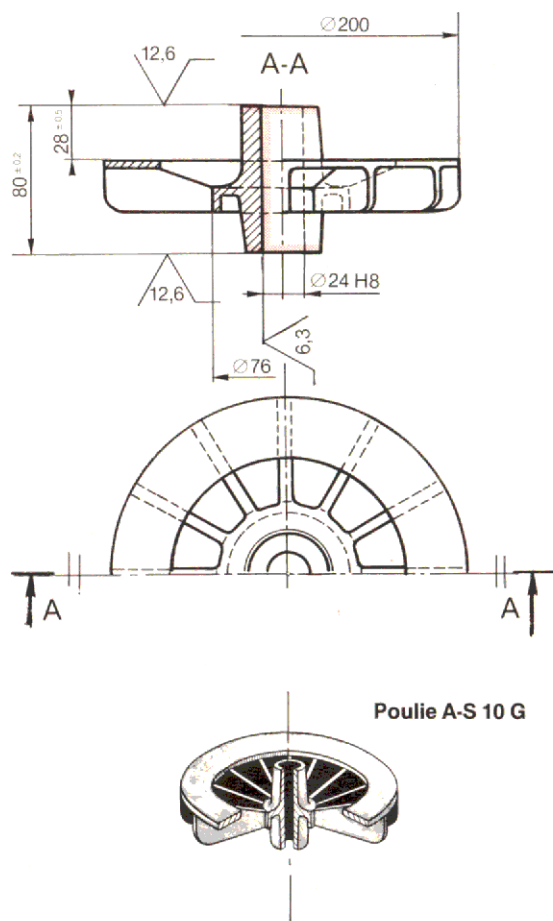


Fig. 5.33. — Poulie moulée en coquille.

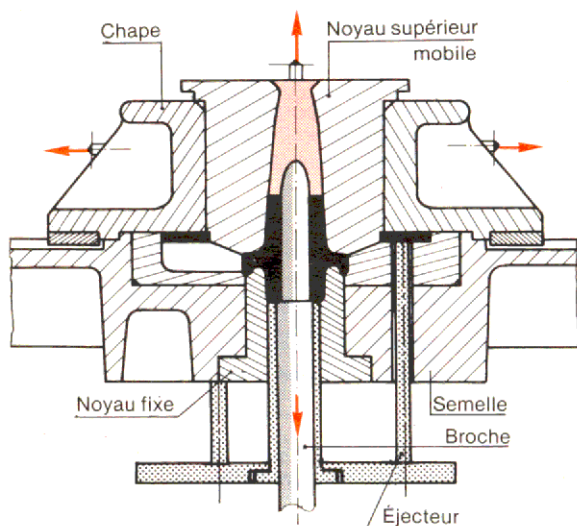


Fig. 5.34. — Structure de la coquille.

D'après ICICA, 13, rue Féron, Paris 6°.

Plus grande longueur L

$$L < 250$$

$$U = 0,8 \text{ à } 1,2$$

$$L > 250$$

$$U = 1 \text{ à } 1,3 + \frac{1,25 L}{1000}$$

■ Méthode de tracé d'une pièce moulée en coquille par gravité

Utiliser la méthode de tracé des pièces moulées en sable en respectant les règles spécifiques du moulage en coquille à savoir :

- Epaisseurs de parois plus faibles et très régulières 4 mm (Fig. 5.35).
- Les surépaisseurs d'usinage sont réduites.
- Les trous de faible $\varnothing$ peuvent venir de fonderie.

$\varnothing d$	Alliages légers	Alliages de Cu
4	4 d	3 d
4 à 6	4 d	3 d
6 à 12	5 d	4 d
> 12	6 d	5 d

■ Etude des coquilles (Fig. 5.36)

• **Position de la pièce dans le moule :**
Direction verticale du plan de symétrie ou de l'axe de la pièce.

• Alimentation :

En général une seule attaque de coulée :

- par le haut : métal chaud en charge,
- par le bas ou en source : pour pièces minces ou noyau en sable (prévoir éventuellement des masselottes).

• Noyaux pour parties creuses :

- fixes,
- à retrait latéral ou vertical (Fig. 5.36).

Les noyaux minces de grande longueur sont appelés *broches* ou *poignards*.

• Ejection des pièces par éjecteur (Fig. 5.34).

■ Constitution d'une coquille (Fig. 5.36)

• **Corps :** constitué par 2 ou plusieurs chapes dans lesquelles sont usinées les empreintes. En *Ft 20* ou *FGS*.

• **Noyaux en fonte ou en acier XC 38 ou 35 NC 15**
Guidage sur 1,5 à 2 fois la partie moulante.
Jeu de 0,1 à 0,5.

• **Broches et éjecteurs** en 35 NC 15.

• **Semelle support** en *Ft 20*.

• **Système de verrouillage :** mécanique ou automatique.

Remarque : Les pièces en matière plastique réalisées en moules métalliques obéissent aux mêmes règles.

La mise au point des coquilles permet de corriger certaines défauts : alimentation, échange thermique, éjection...

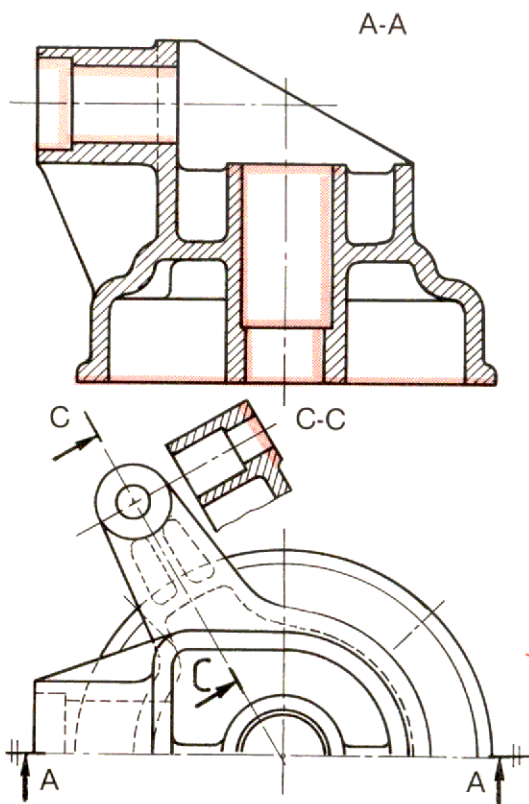


Fig. 5.35. — Carter en A-S 13.

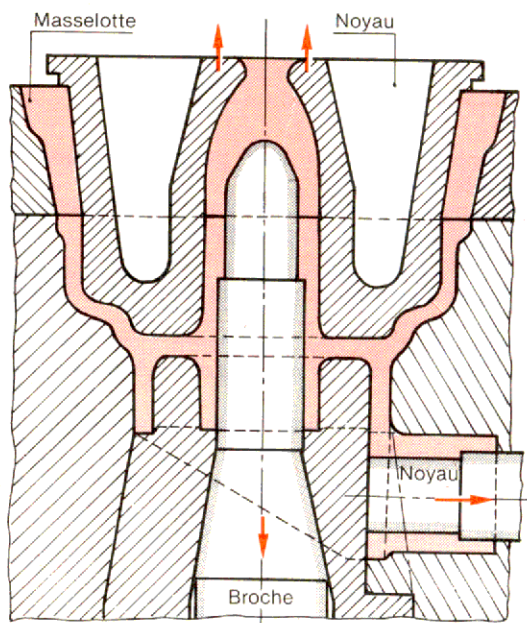


Fig. 5.36. — Etude d'une coquille.

D'après une étude publiée dans *Technique Industrielle*.