LES REGLES DE TRACE DES PIECES MOULEES

CYCLATEF 2015 – F.Mollet

Les Règles de Tracé - Préambule

Le conception et la réalisation de pièces de fonderie implique un **partenariat** étroit entre **le donneur d'ordre et le fondeur** afin de correspondre au mieux au cahier des charges et à ses contraintes.

Pour atteindre cet objectif, cela nécessite de la part du client:

- une bonne définition de la pièce
- l'expression précise des conditions d'utilisation
- le niveau de qualité exigé
- une bonne définition géométrique et dimensionnelle

Le respect d 'une bonne conception, d 'un bon tracé adapté à la fonderie ne peut que satisfaire les deux parties et ce dans un souci bien évident d 'aboutir au meilleur rapport qualité – prix.

*La simplicité, la **fluidité** d'une pièce consiste souvent à supprimer les accidents de forme qui n'ont pas raison d'être.*

Les Règles de Tracé - Définition de la pièce

Dessin de définition de la pièce

Il doit correspondre au cahier des charges défini par:

- les caractéristiques fonctionnelles de la pièce
- le nombre de pièces à réaliser
- l ’alliage ou la nuance choisie
- le marquage, modalités
- les conditions de réception, d ’acceptation, les délais
- le type d ’outillages
- les caractéristiques dimensionnelles (précision, tolérances, état de surface, surépaisseurs
- les contrôles (types, fréquence)
- le conditionnement, le transport
- les prescriptions particulières
- la documentation, la responsabilité

Les Règles de Tracé - Définition du brut de la pièce

Dessin de brut de la pièce

Il est réaliser à partir du dessin de définition sur lequel ont été tracées:

- les dépouilles
- les surépaisseurs d ’usinage
- les cotes et tolérances de fonderie
- les modifications permettant d ’améliorer la compacité de l ’alliage ou la réalisation du moule
- les surfaces de référence permettant la mise en position et le serrage de la pièce lors des phases d ’usinage

Les Règles de Tracé - Définition du tracé de la pièce

Guide de conception d ’un tracé de pièce:

- Détermination des données d ’utilisation avec précision
- Évaluation des efforts statiques et dynamiques
- Esquisser une ébauche de la pièce, compte tenu des servitudes
- Faire un premier choix du type d ’alliage à envisager
- Vérifier les contraintes et les déformations pour ce type d ’alliage et fixer un coefficient de sécurité rationnel
- Faire l ’étude critique de l ’aspect général de la pièce du point de vue commercial
- Examiner avec le fondeur les conditions de fabrication
- Définir le tracé précis
- Réaliser une pièce prototype (rapide ou non) et en faire l ’étude critique
- Déterminer le tracé final

Les Règles de Tracé – Recommandations générales

Les contraintes de conception d ’une pièce moulée peuvent se résumer comme suit:

- la pièce doit démouler facilement (notion de dépouille)
- l ’ épaisseur doit être régulière
- il faut éviter ou réduire autant que possible les masses isolées
- le retrait doit être facilité
- les formes et raccordements à angles vifs sont à proscrire
- les formes doivent être ajustées et simplifiées pour faciliter la fabrication (moulage, noyautage, remmoulage, ébarbage,usinage,…)

Les Règles de Tracé – Recommandations générales

La conception et le tracé d'une pièce de fonderie ne peuvent être cohérents que s'ils tiennent compte du procédé de moulage et de l'alliage élaboré.

Une pièce en acier coulée en sable ne subit pas les mêmes phénomènes qu'une pièce coulée en aluminium sous pression.

A ce titre, il existe pour chaque type d'alliage, des guides de tracé spécifiques.

Chaque alliage se solidifie à sa manière propre, ceci indépendamment de son élaboration et du mode de refroidissement.

Trois grandes classes se caractérisent:

- **Couche mince ou couche épaisse** à partir de la paroi du moule (front continu)
- **Couche épaisse avec une zone pâteuse** affectant toute la masse (front discontinu)
- **Couche mince ou épaisse avec une zone pâteuse** (mixte).

Le fondeur doit donc tenir compte de ces phénomènes pour gérer la solidification dans la mesure du possible par:

- **Des refroidisseurs et des masselottes en moulage sable**
- **Des refroidissements , des chauffages, du moule en moulage permanent**

Les Règles de Tracé – Recommandations générales

Modes de solidification de quelques alliages

Alliage	Mode de solidification		Tendance aux défauts
Acier 0,1 – 0,3 C %	Front continu	Couche mince	Macro cavité
Acier Inox 18 - 8	Front continu	Couche mince	
Acier 0,6 C %	Front continu	Couche épaisse	Macro cavité - Porosité
Acier au Mn – Acier au Cr	Front discontinu	Couche épaisse	Porosités
Fonte GL et GS hypo CE > 3,6	Front continu	Couche épaisse	Macro cavité
Fonte GS hypo et hyper eutectiques	Front discontinu	Couche épaisse	Porosités
Alliage d'Al: Al –Si 12	Front continu	Couche mince	Macro cavité
Alliage d'Al: Al-Si 7 Mg	Front discontinu ou mixte	Couche épaisse	Porosité
Bronze	Front discontinu ou mixte	Couche épaisse	Porosité
Cupro - Aluminium	Front continu	Couche mince	Macro cavité
Laitons 70 - 30	Front continu	Couche mince	Macro cavité

Les Règles de Tracé – Recommandations générales

Règles sommaires liées au procédé de moulage

Selon le procédé de moulage , il est souhaitable de respecter certaines règles:

En moulage sable:

- report des difficultés à l'intérieur des pièces
- Le moule ayant peu d'actions sur la solidification, il faut penser solidification dirigée

En moulage permanent gravitaire:

- Report des difficultés à l'extérieur
- Dépouilles accentuées
- Le moule a une action sur la solidification, la solidification peut être dirigée artificiellement vers les masselottes

En moulage permanent sous pression:

- Report des difficultés à l'extérieur
- Pas de masse isolées, penser au minimum de matière
- Penser à l'écoulement de l'alliage

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Epaisseur

Epaisseur

Lors du tracé d'une pièce, le concepteur est amenée à dessiner des parois qui se rencontrent et provoque des accumulations de matière:

- Il est illusoire de penser obtenir des épaisseur régulières.
- Toute masse isolée, tout raccordement correspondra a une zone de dernière solidification qui risque d'être une source de défauts métallurgiques.

Il est de ce fait indispensable de minimiser les parties massives crées pourvu que cela n'entraîne pas d'inconvénient fonctionnel.

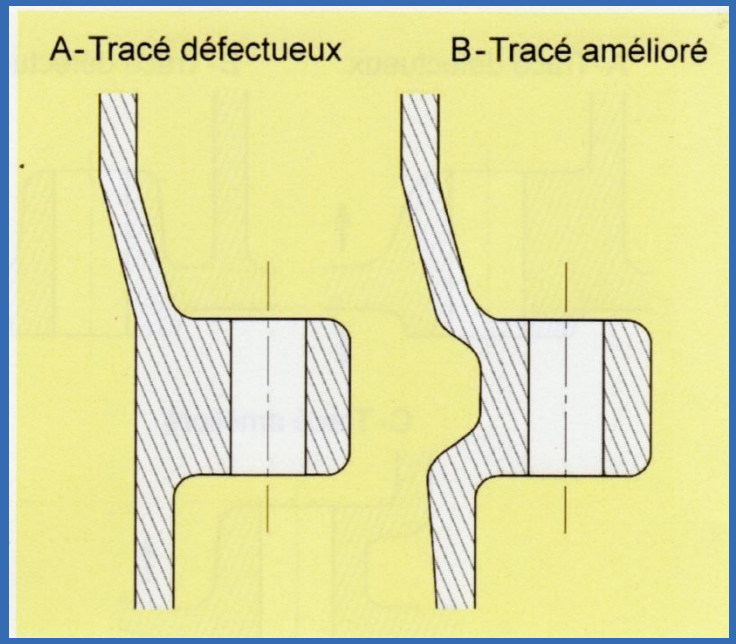
Notons qu'aujourd'hui, les pièces se doivent d'être plus légères surtout lorsqu'elles sont « embarquées ». On parle de « down sizing »

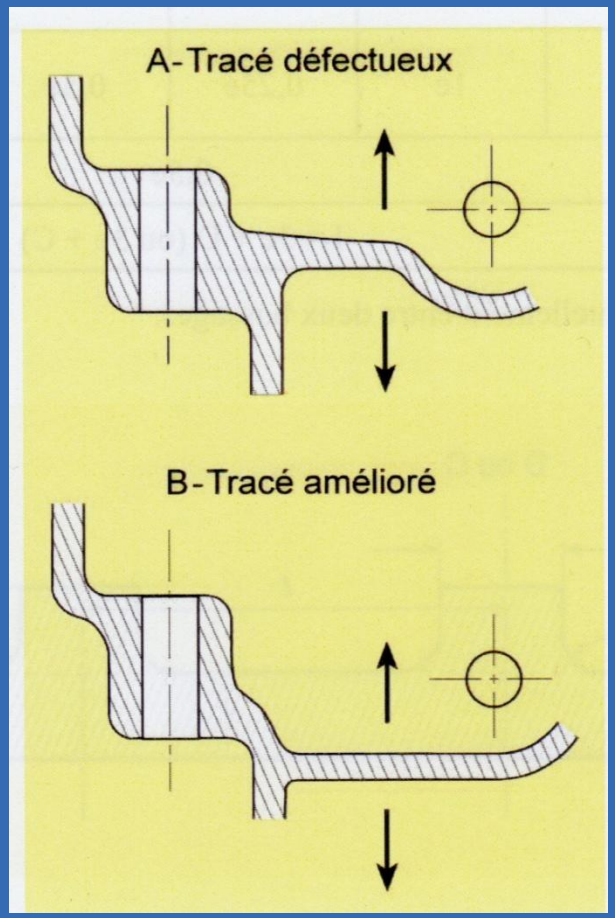
Les Règles de Tracé – Pièce brute - Epaisseur

Epaisseur

Réductions des parties massives:

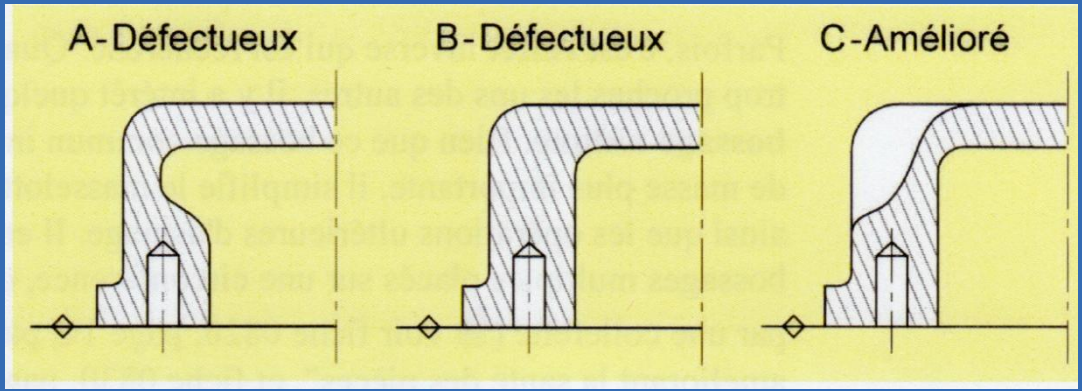
- Diminution des points chauds
- Amélioration de la santé interne
- Allègement de la pièce

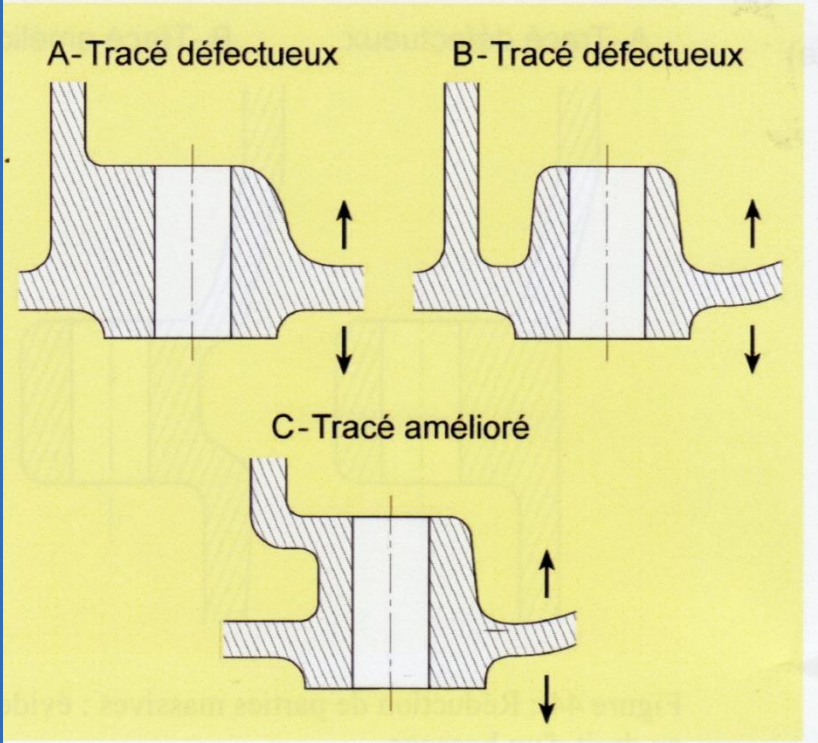


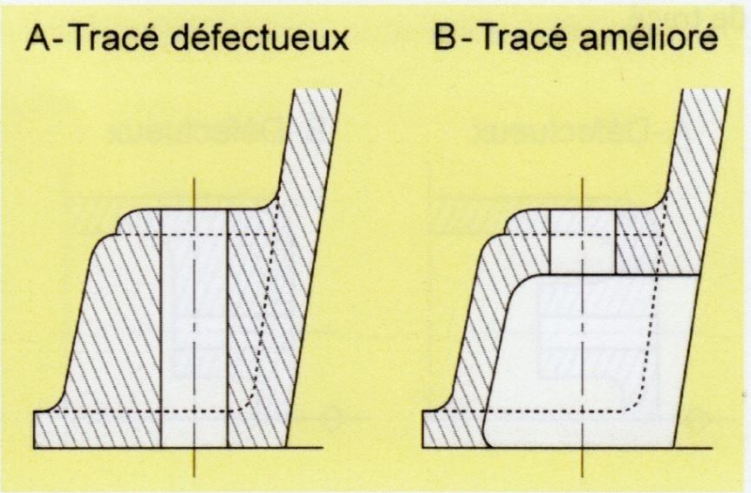


Les Règles de Tracé – Pièce brute - Epaisseur

Epaisseur





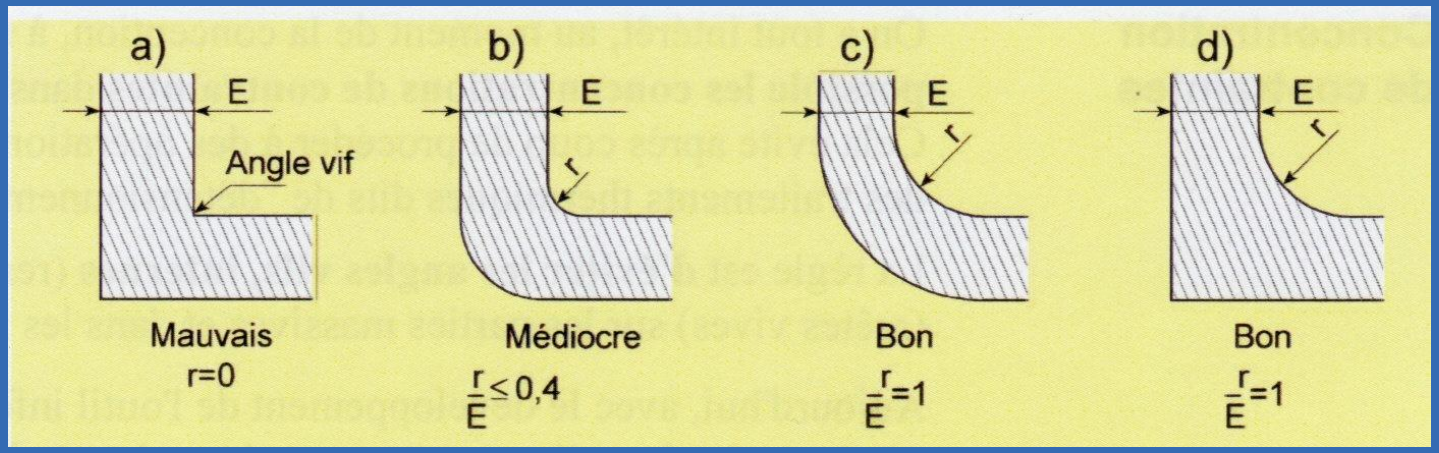


Les Règles de Tracé – Pièce brute - Contraintes

Contraintes

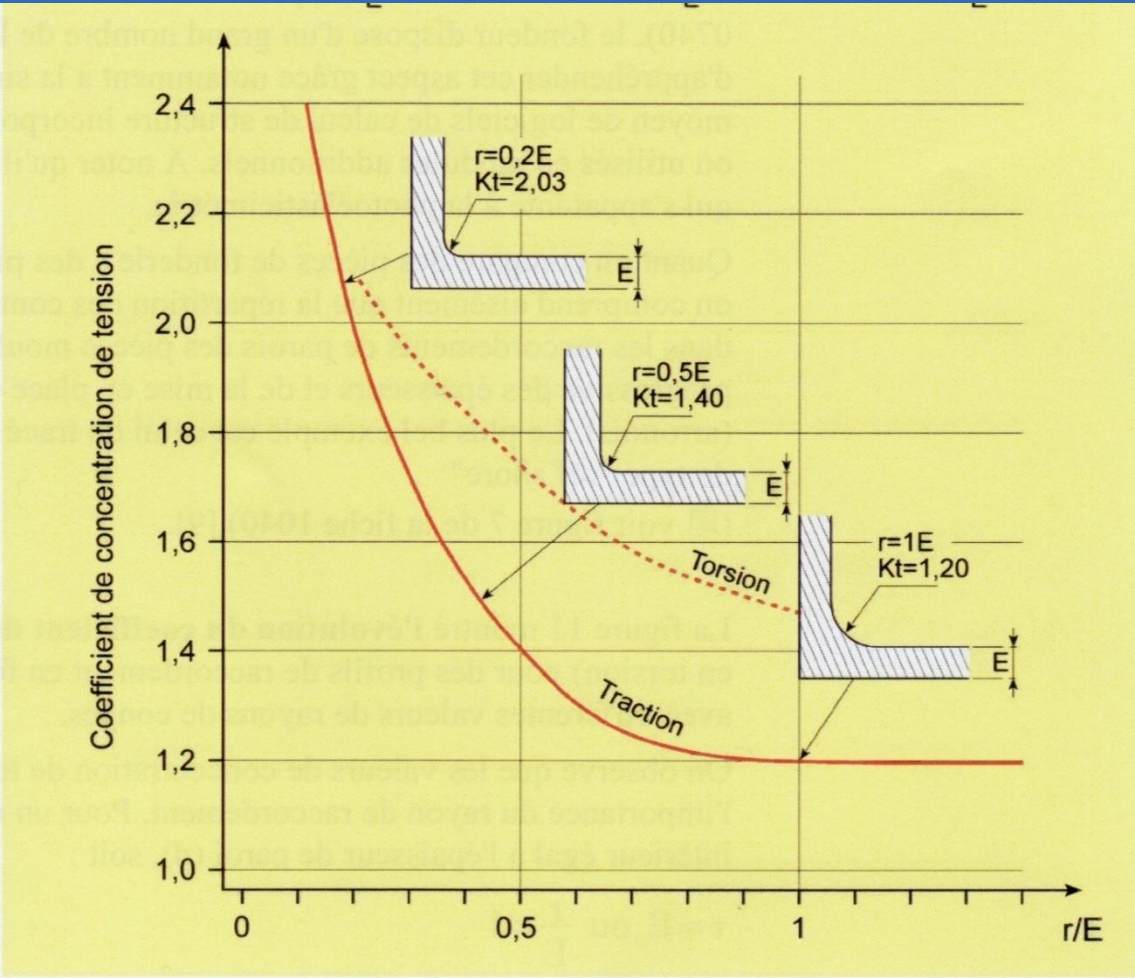
Il y a de par les différences de masses, création de zones de concentration de contraintes. Il est indispensable de remplacer les angles vifs par:

- Des congés (rayons internes de raccordement de parois)
- Des arrondis (rayons externes de raccordement de parois)



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Contraintes

Contraintes



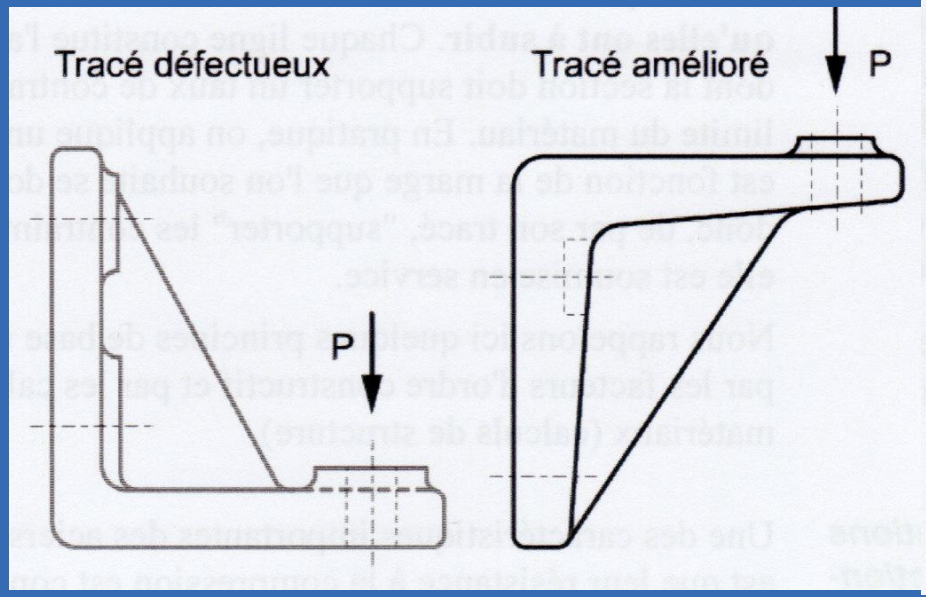
Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

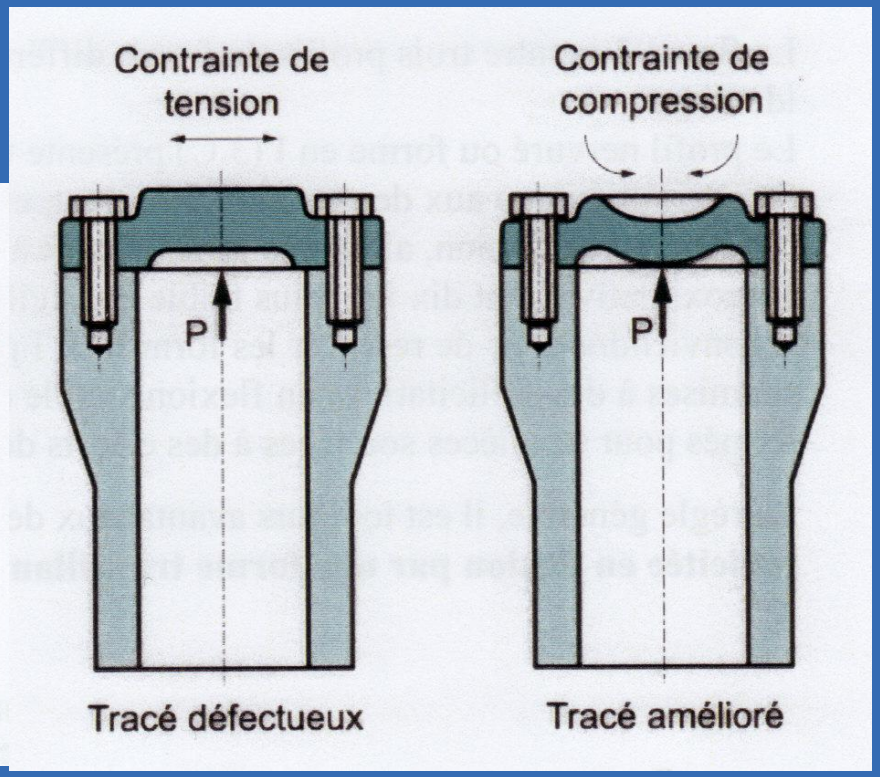
Sollicitations mécaniques

Les alliages moulés peuvent supporter une charge plus forte en compression qu'en traction.

Il est utile de tirer partie de ce fait en modifiant:

- le tracé
- La position de la pièce en service

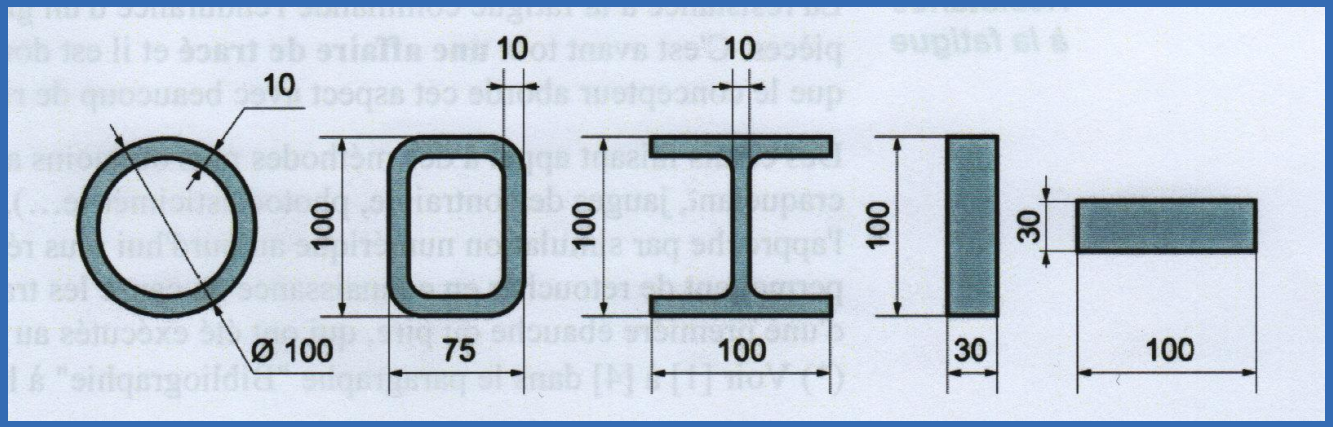




Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Sollicitations mécaniques: résistance en flexion

Comparaison des moments d'inertie en flexion de profils à section identique



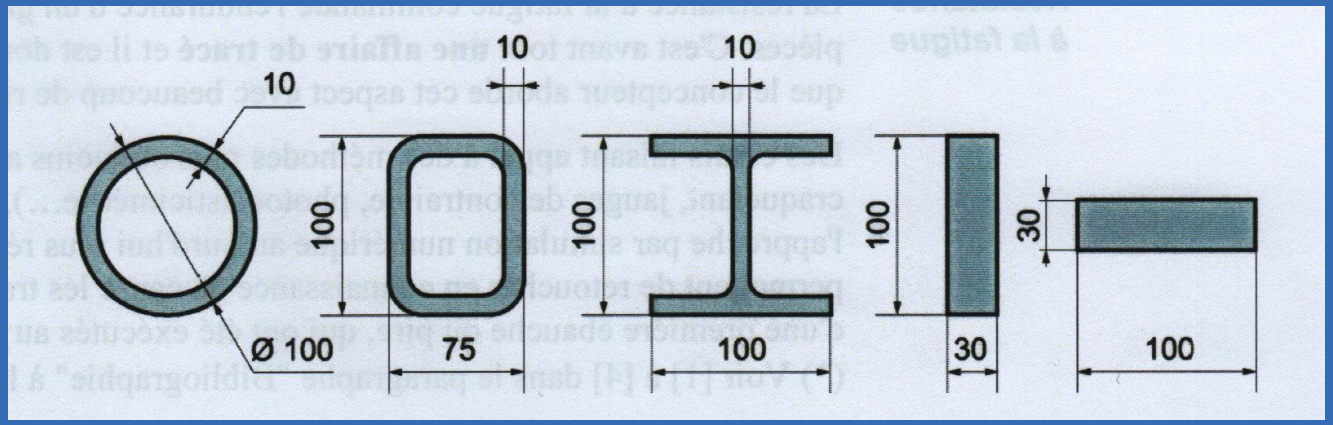
Moment d 'inertie en flexion::	100	115	155	86	7,8

Le profil en I offre la meilleure résistance

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Sollicitations mécaniques: résistance en torsion

Comparaison des moments d'inertie en torsion de profils à section identique



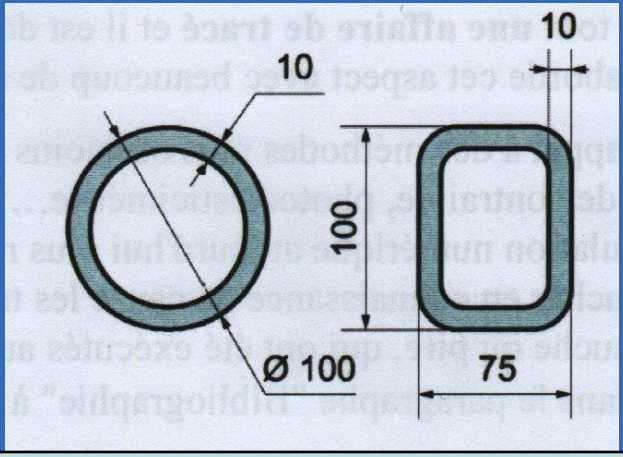
Moment d 'inertie en torsion::	100	97	8,6	47	4,7

Les profils fermés tubulaires présentent la meilleure résistance

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Sollicitations mécaniques: résistance en flexion et torsion

Comparaison des moments d'inertie en flexion de profils à section identique



Moment d 'inertie en flexion:	**100**	**115**
Moment d 'inertie en torsion:	**100**	**97**

Les profils fermés tubulaires offrent une meilleure résistance

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Sollicitations mécaniques: résistance aux chocs mécaniques

Les forment planes qui présentent les plus faibles résistances aux efforts de flexion et de torsion, offrent par contre, la meilleure résistance aux chocs mécaniques.

Si l'on souhaite obtenir une bonne résistance aux choc et à la flexion, il faut rigidifier la pièce par des nervures latérales:

- relativement épaisses
- de faible élancement

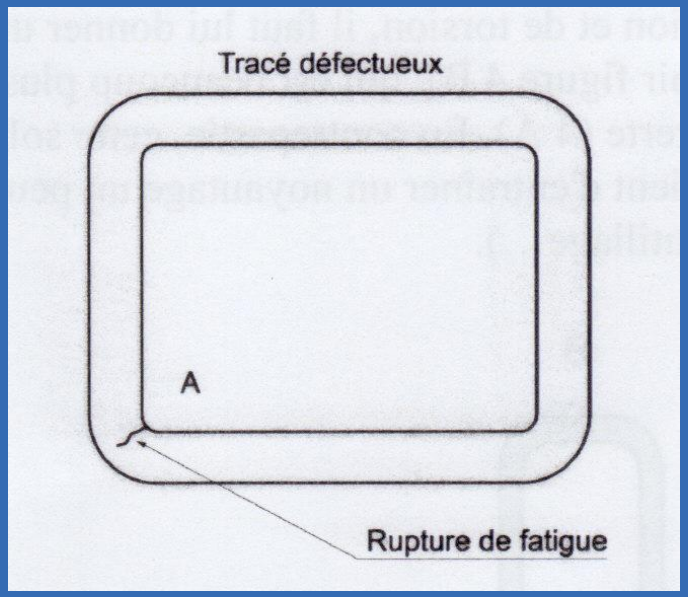
Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

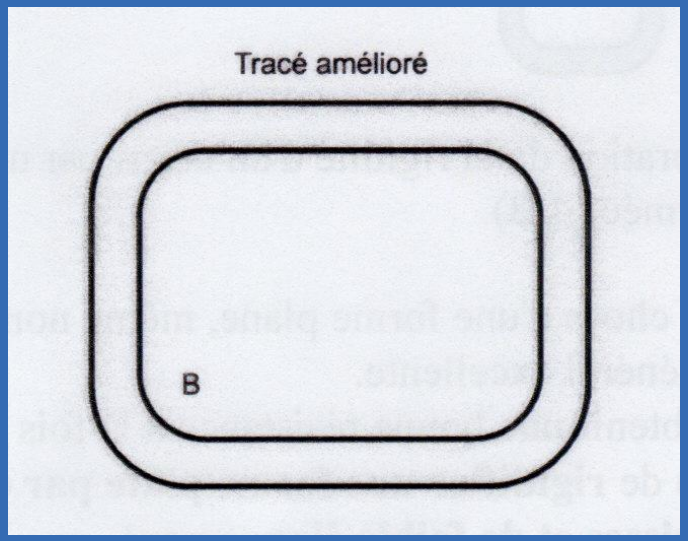
Sollicitations mécaniques: résistance à la fatigue

Les ruptures débutent toujours dans une zone fortement sollicitée.

Les zones surchargées se situent à proximité des discontinuités:

- Raccordement de parois
- Variation brusque de forme et:ou d'épaisseur, trou de petit diamètre ou à angle vif (effet d'entaille)



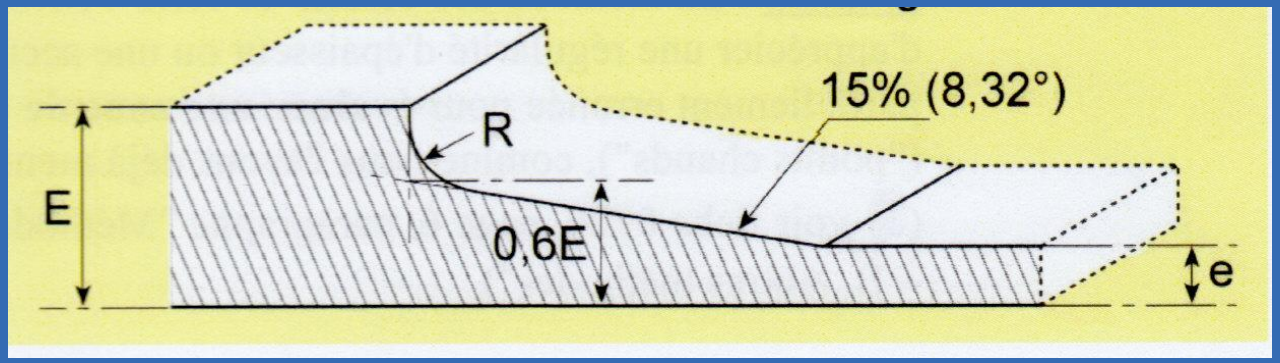


Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Sollicitations mécaniques: résistance à la fatigue

Il faut donc prévoir:

- Des congés de raccordement suffisamment grands
- Une transition progressive des épaisseurs
- Une forme rigide (annulaire) plutôt que rigidifiée par des nervures
- Des nervures courtes et larges (bourrelets)



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Valeur de l'épaisseur

Elle est choisie selon les fonctions de la pièce:

- efforts à supporter
- limite de poids

Elle est généralement déterminée par:

- le calcul
- Analogie
- Les essais

On lui ajoute si nécessaire les surépaisseurs d'usinage.

Nota: cette épaisseur doit être compatible avec le procédé de fonderie retenu.

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Valeur de l'épaisseur

Procédés (E en mm)	Epaisseurs minimales	Epaisseurs courantes	Epaisseurs maximales	Tolérances sur e + / -	Diamètre trou mini
Sable silico argileux	3	4.5	30	0.3 – 0.8	6 – 7
Sable à prise chimique	1.5 - 3	5	Pas de maxi	0.1 – 0.3	6 – 7
Coquille gravité	2.5 – 3.5	4 – 5	20	0.1 – 0.8	4 – 5
Sous pression	1	3 – 5	10	0.1 – 0.3	3
Cire perdue	0.8 – 1.25	2 – 3		0.05 – 0.7	0.8 – 1
Lost Foam	3.5	4 – 5		0.1 – 0.25	5 - 6

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Uniformité de l ’épaisseur

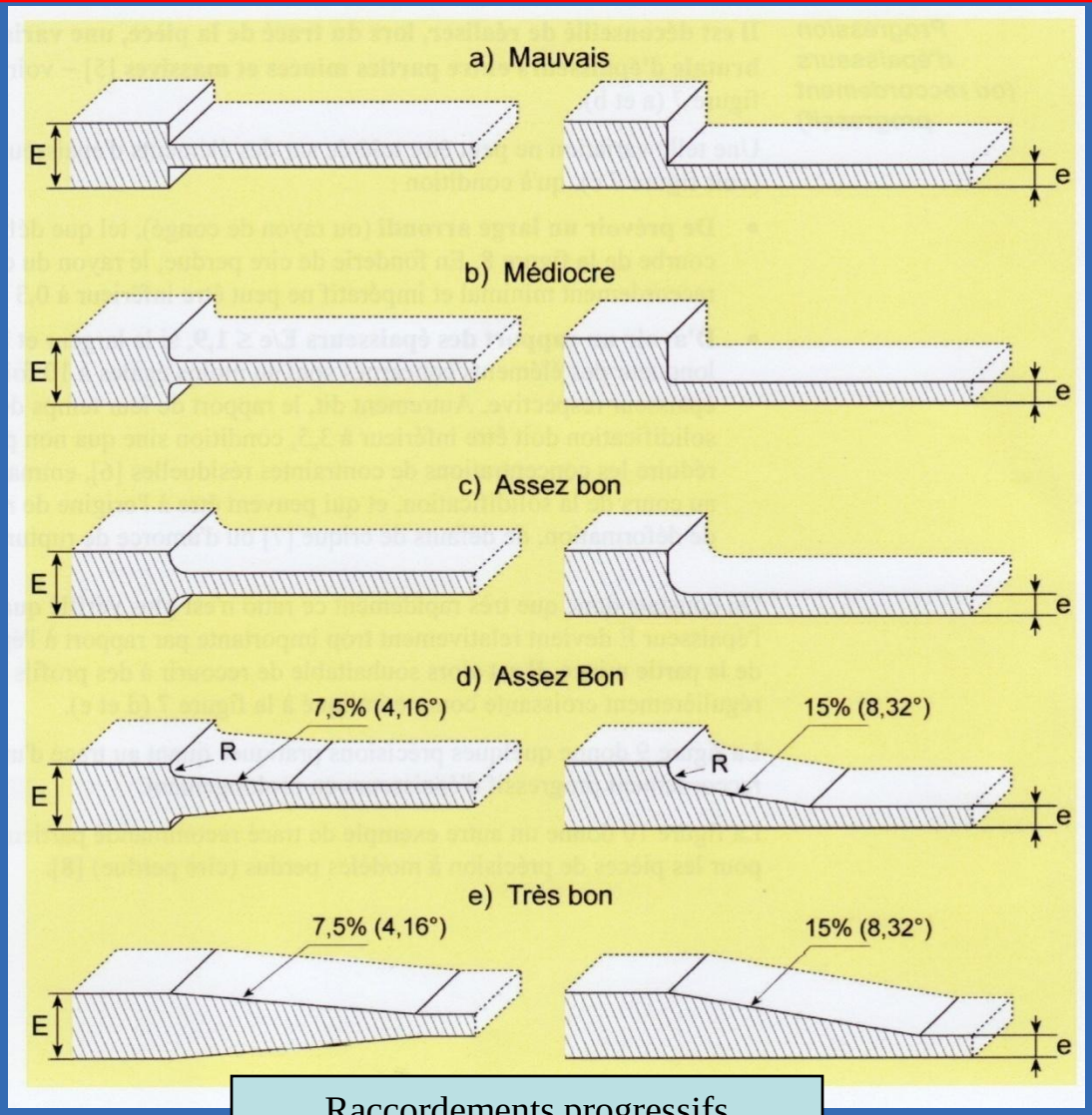
Il est déconseillé de réaliser une variation brutale des épaisseurs.

Une telle variation ne peut être tolérée qu ’à condition de prévoir :

- de larges arrondis (rayon ou congé)
- d ’avoir un rapport des épaisseurs E/e inférieur ou égal à 1,9 , si la largeur et la longueur des éléments considérés sont au moins égales à 10 fois leur épaisseur respective.

Si ce ratio n ’est plus vérifié, il est souhaitable de recourir à des sections régulièrement croissantes.

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

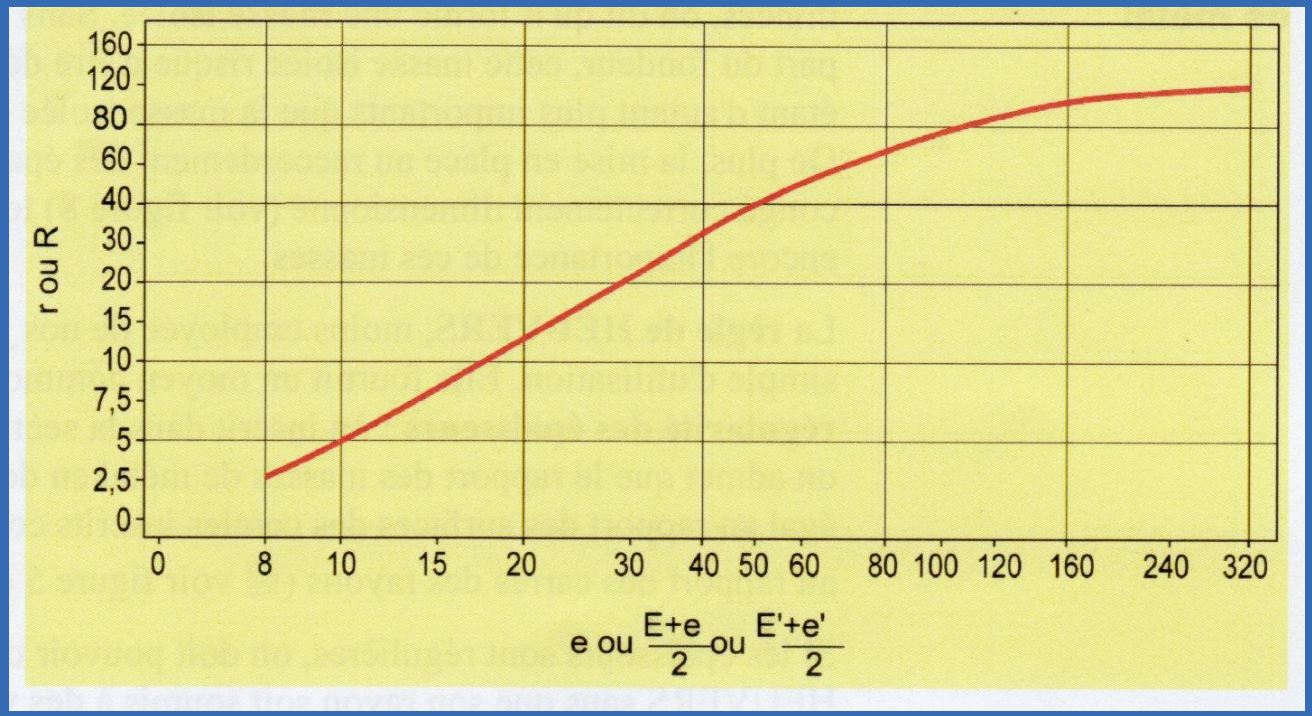


Raccordements progressifs

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Uniformité de l ’épaisseur:

Courbe 1



Valeur des rayons de congés (r ou R) pour des épaisseurs identiques ou différentes

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Accumulation de métal

Si un épaississement local est relié au reste de la pièce par des parois plus minces, il y a une masse isolée.

Cette masse risque d ’être la source de défauts d ’autant plus importants que la masse isolée est grande.

De plus la mise en place de congés tend à accentuer ce phénomène.

La règle de Heuvers, également appelée méthode des cercles inscrits, permet de vérifier commodément la régularité des épaisseurs.

On admet qu ’une variation du rayon du cercle de Heuvers de 10% est peu gênante.

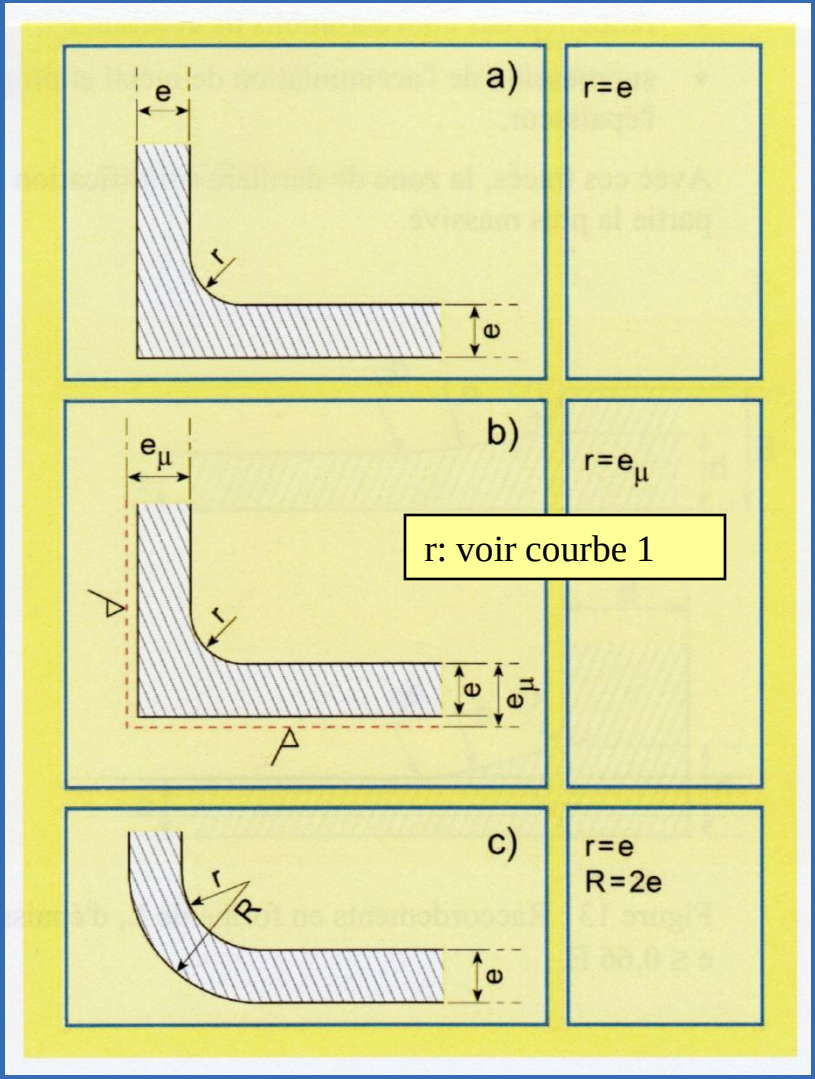
Cette méthode est par contre partiellement erronée pour évaluer les zones de dernière solidification.

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Raccordements de parois

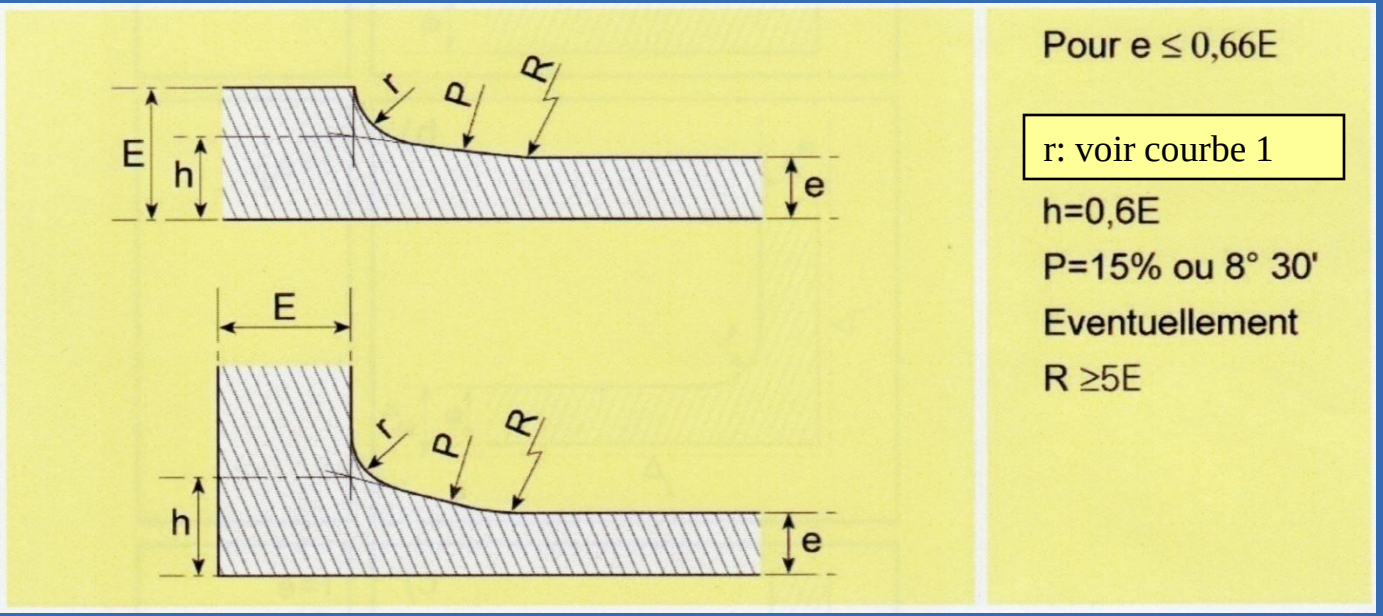
Pour réduire les zones de contraintes et limiter les risques éventuels de rupture, il faut supprimer les formes et les raccordements à angles vifs en prévoyant des congés et des arrondis convenablement tracés.

Raccordements en L



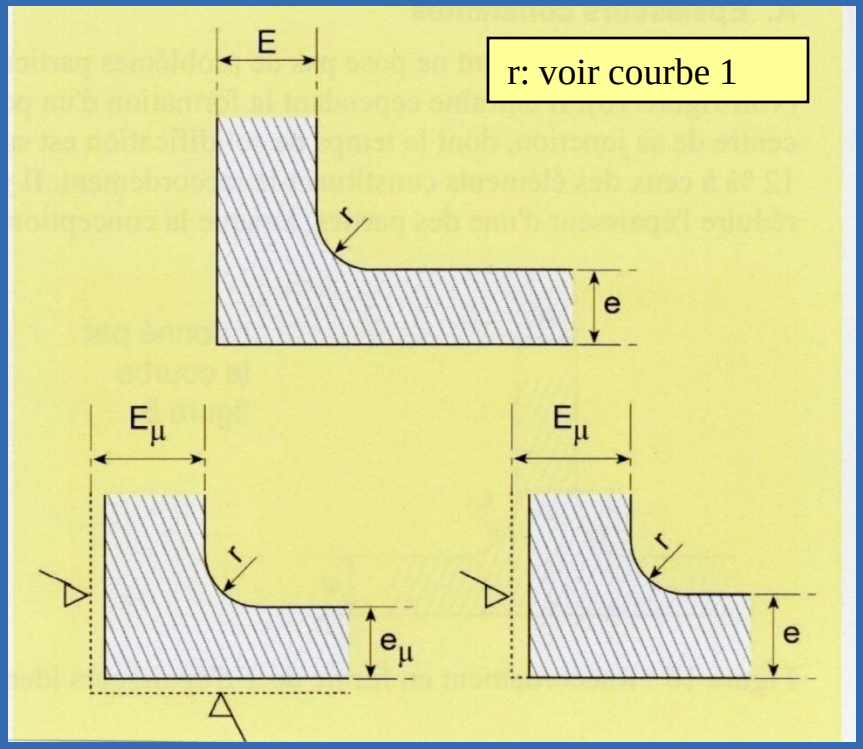
Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

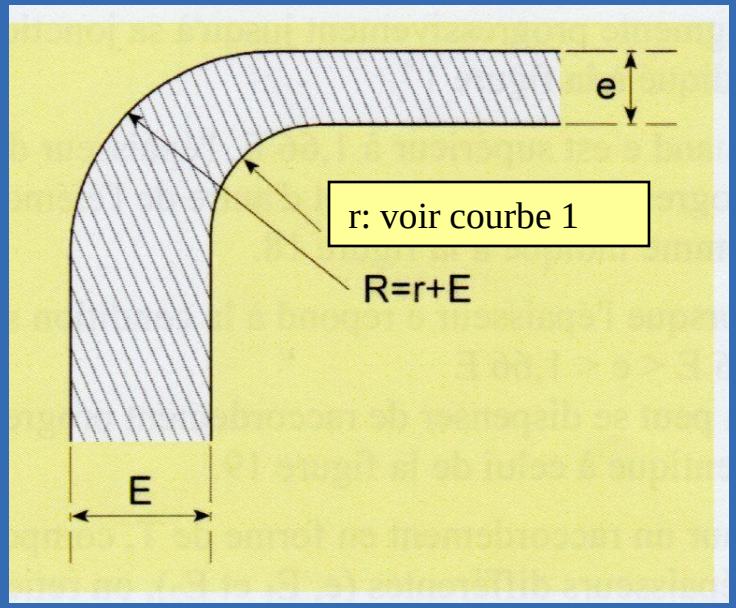
Raccordements en L à épaisseurs variables: e <= 0,66 E



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Raccordements en L à épaisseurs variables: e >= 0,66E

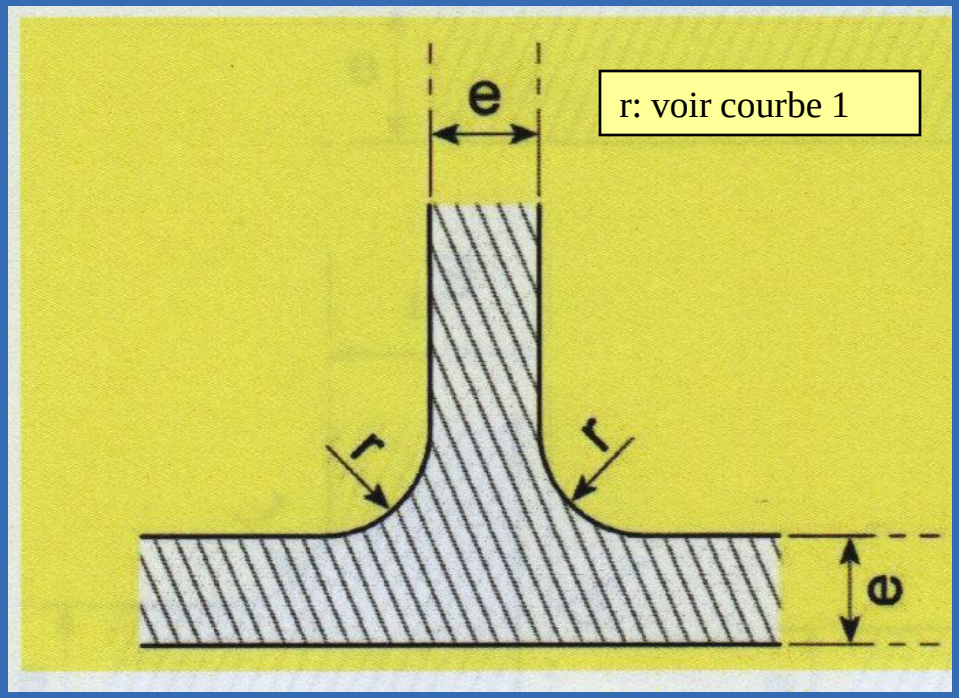




Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

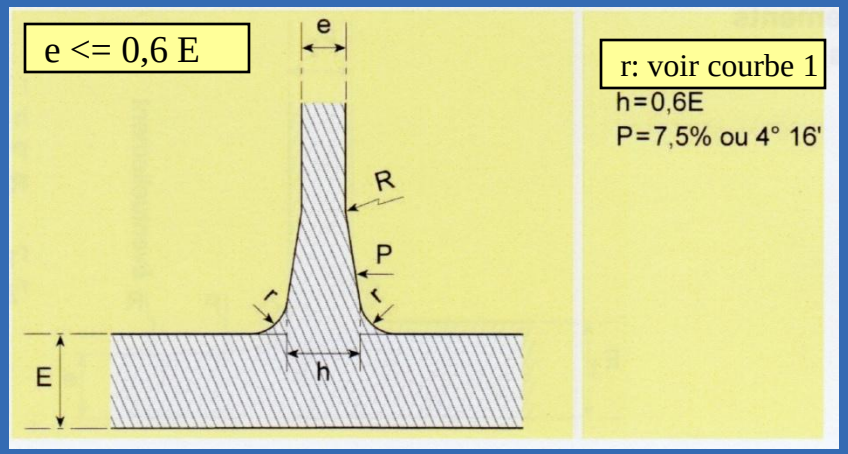
Raccordements en T

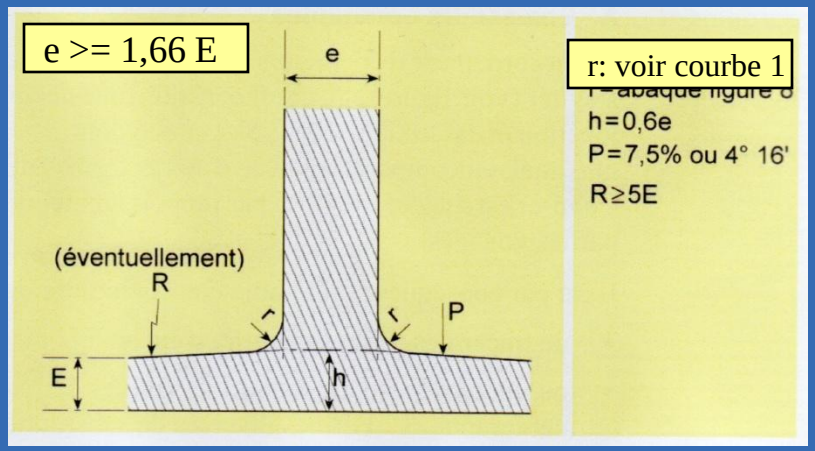
Ce type de raccordement entraîne un point chaud au centre de la jonction. Le temps de solidification est supérieur d 'environ 12%, il y a donc intérêt à réduire l 'épaisseur d 'une des parties.

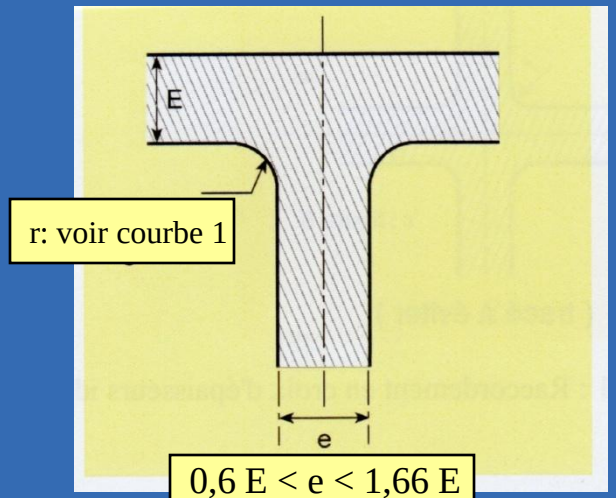


Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Raccordements en T







Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

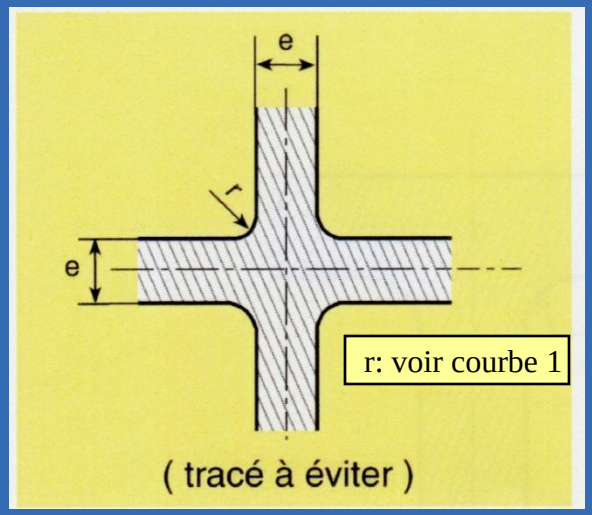
Raccordements en croix

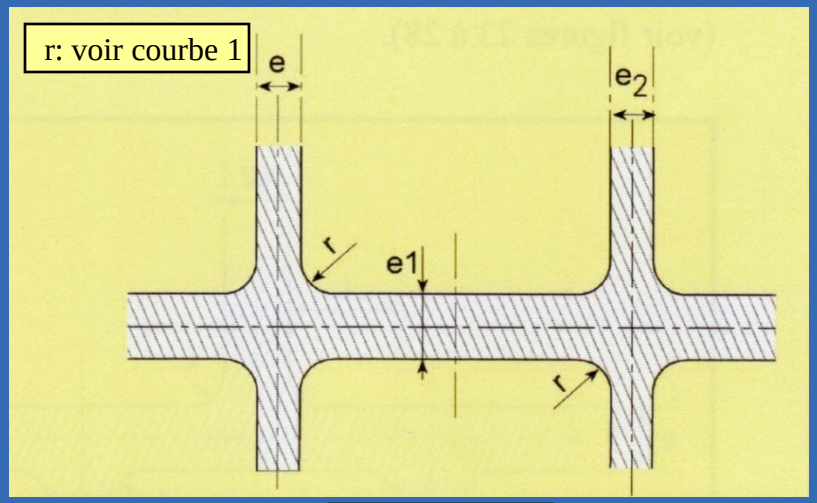
Ce type de raccordement est en général à éviter.

Le temps de solidification de la jonction est supérieur de 17%.

Il est par conséquent préférable:

- de tracer des formes en croix d ’épaisseurs inégales
- ou mieux de retenir des formes de substitution comme ci-après

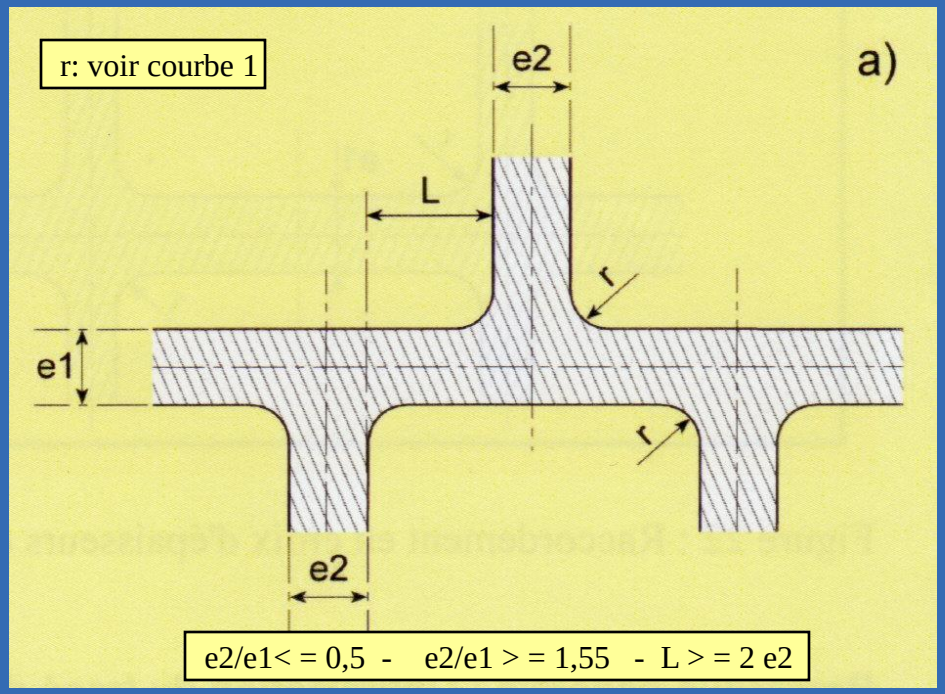




E2/e1 < = 0,4

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

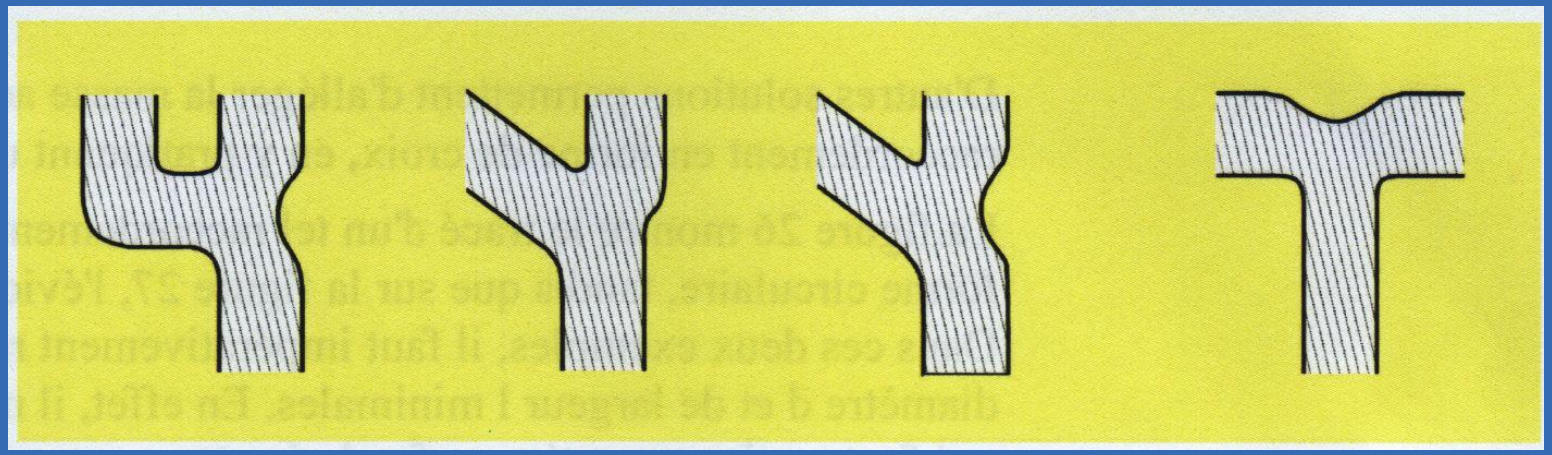
Raccordements en croix



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Raccordements: formes de substitution

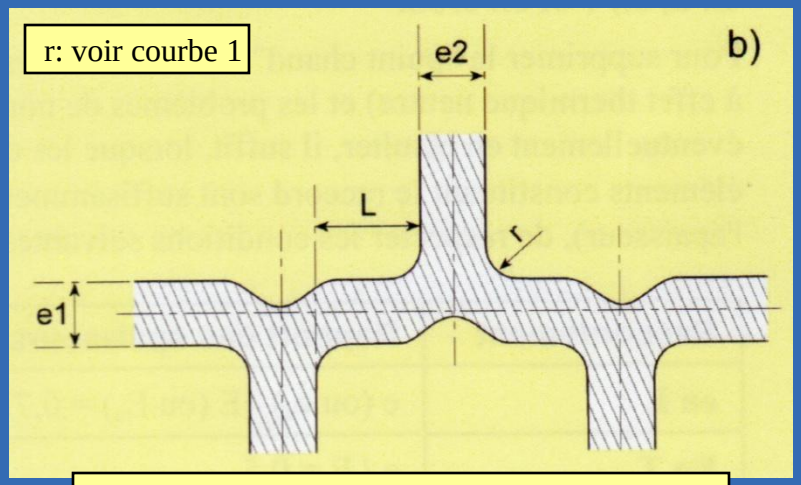
Allègement local des masses



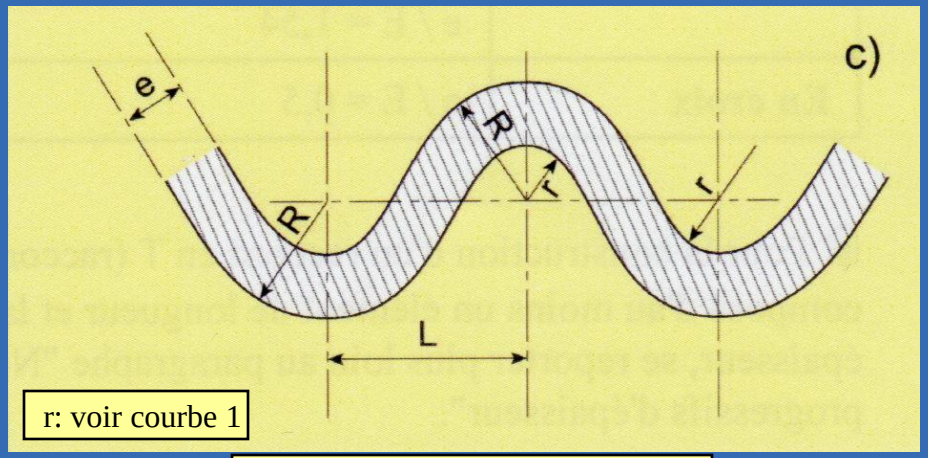
Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Raccordements: formes de substitution

Raccordement en croix



e2/e1< = 0,5 - e2/e1 > = 1,55 - L > = 2 e2

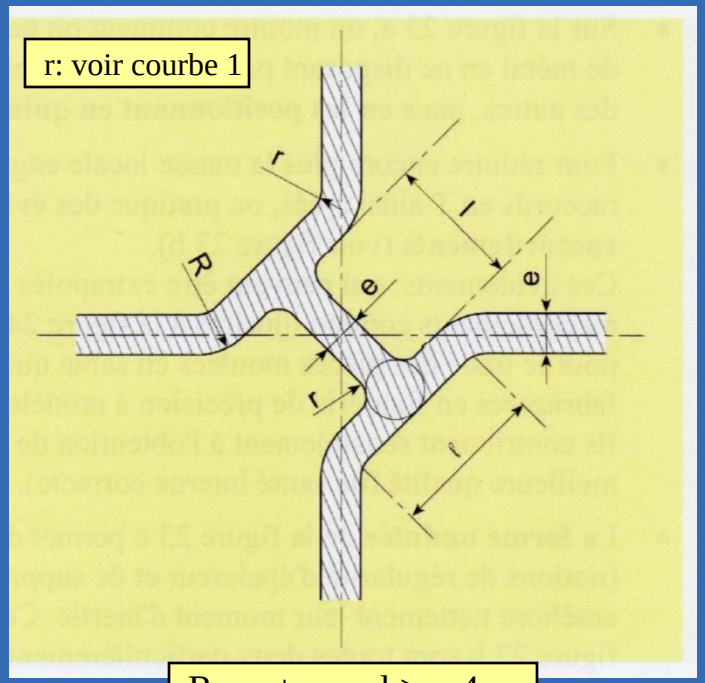


r > e - R = r + e - L > = 4e

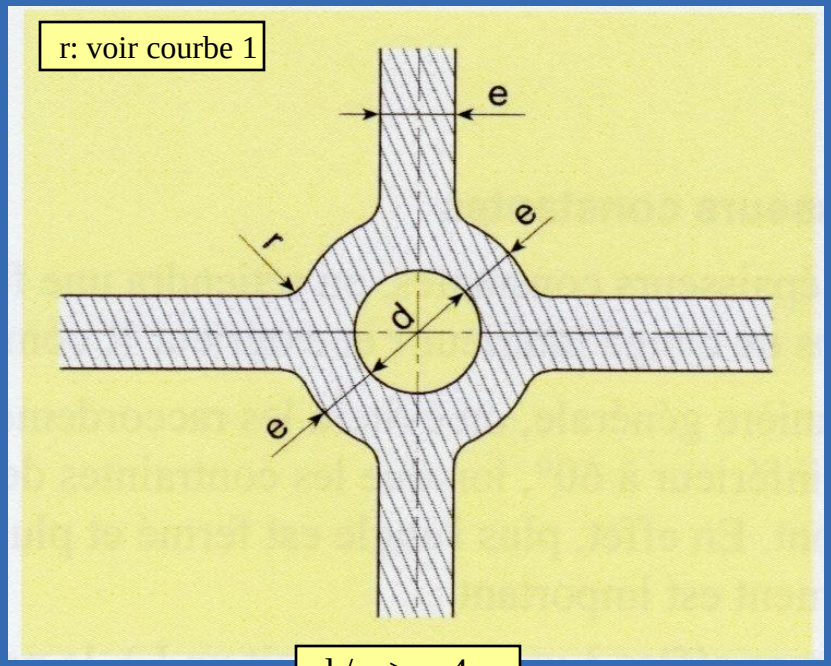
Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Raccordements: formes de substitution

Raccordement en croix



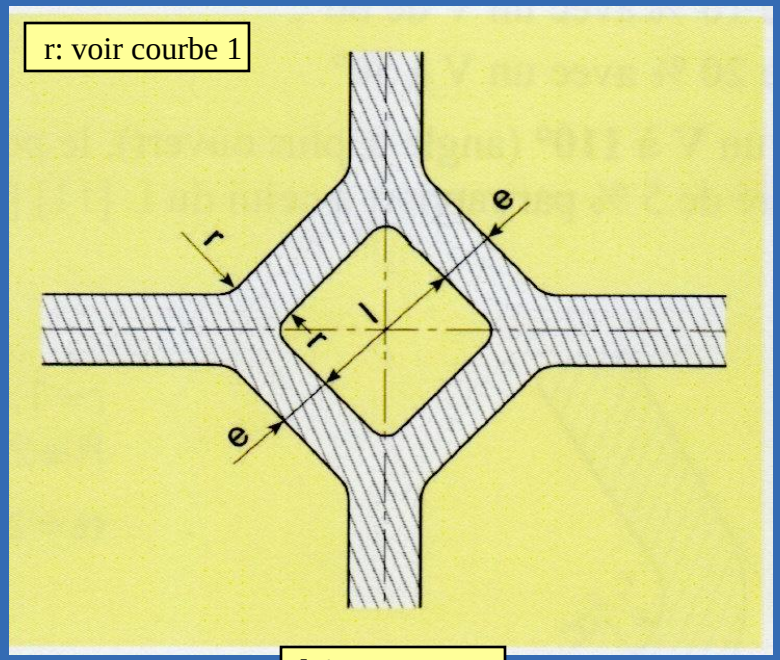
R = r + e - l > = 4 e



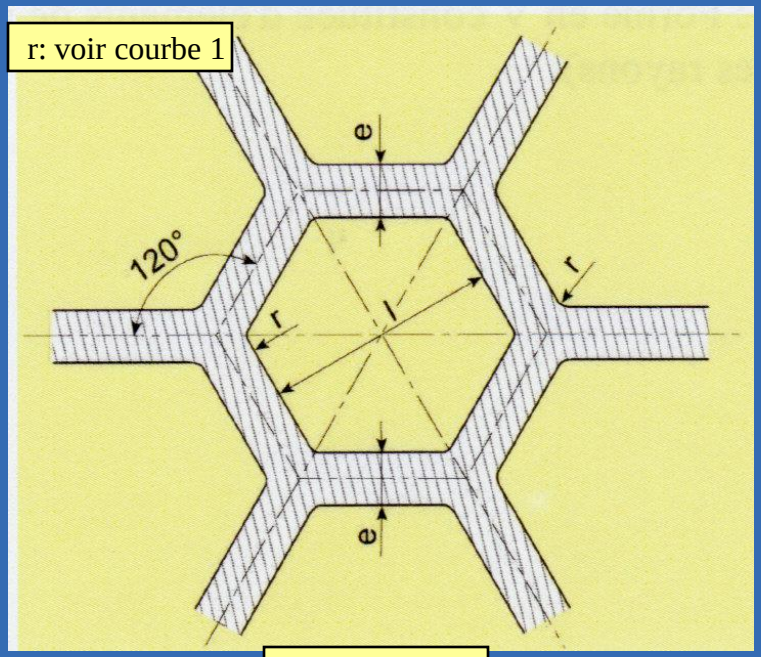
d / e > = 4

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Raccordements: formes de substitution



l / e > = 4

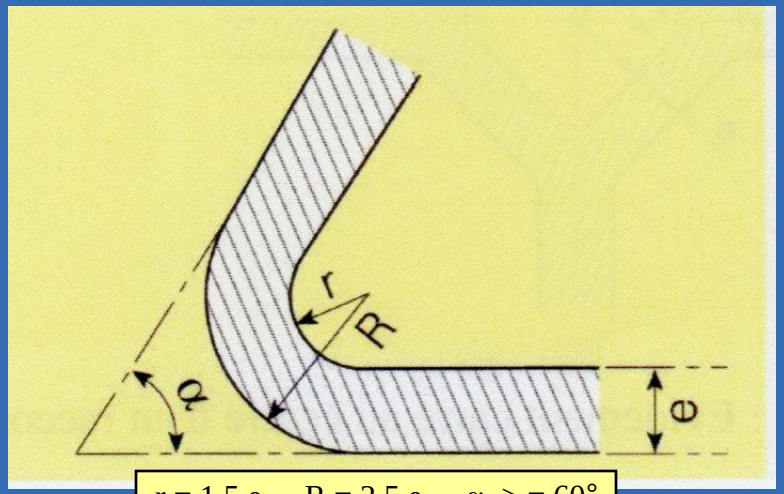


l > = 6 e

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

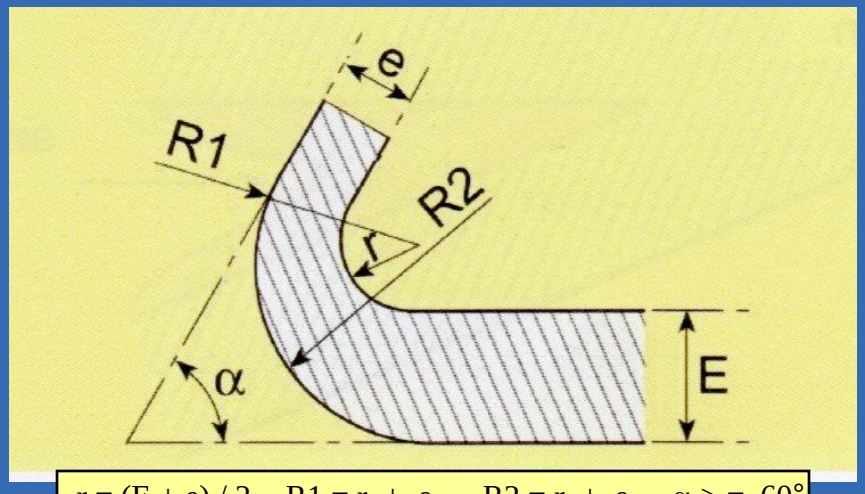
Raccordements en V

Épaisseurs constantes



r = 1,5 e - R = 2,5 e - α > = 60°

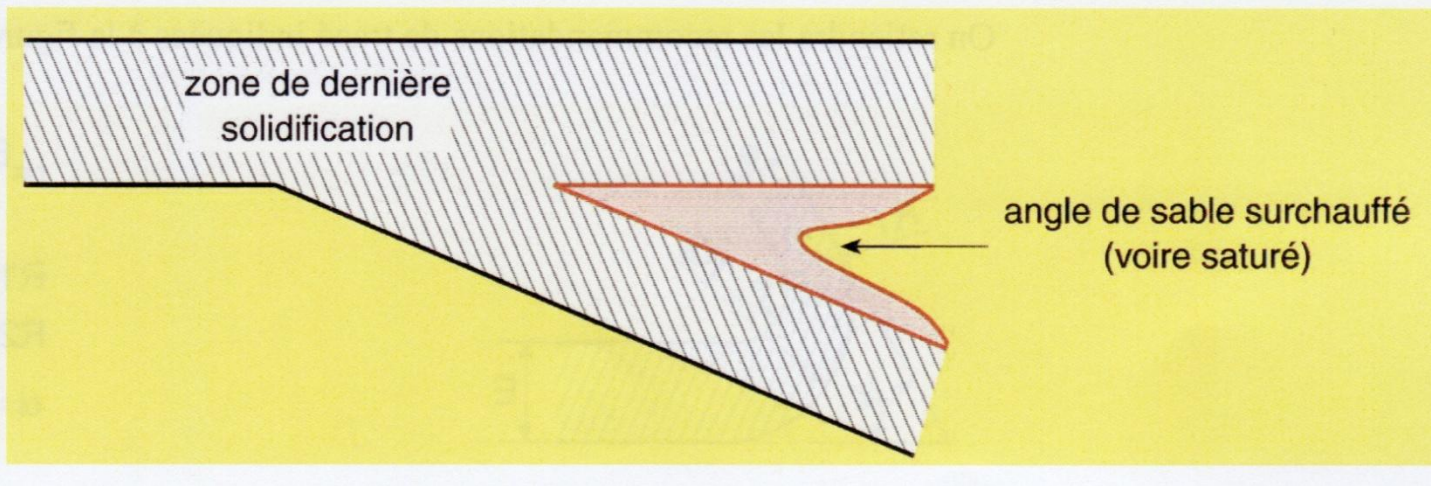
Épaisseurs variables



r = (E + e) / 2 - R1 = r + e - R2 = r + e - α > = 60°

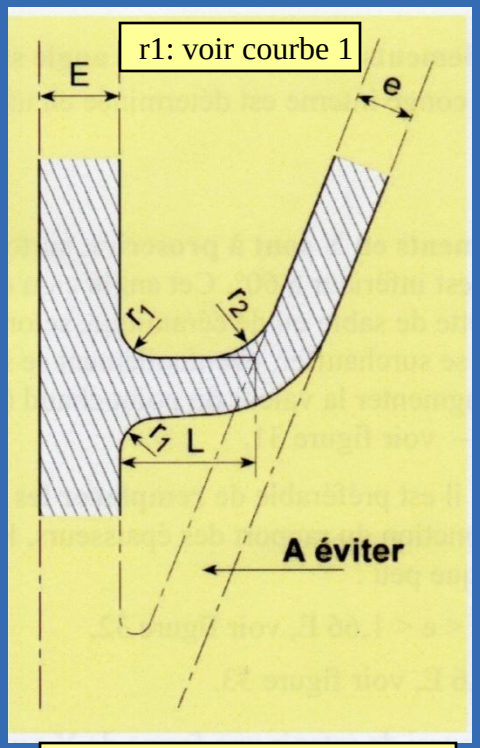
Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Raccordements en Y



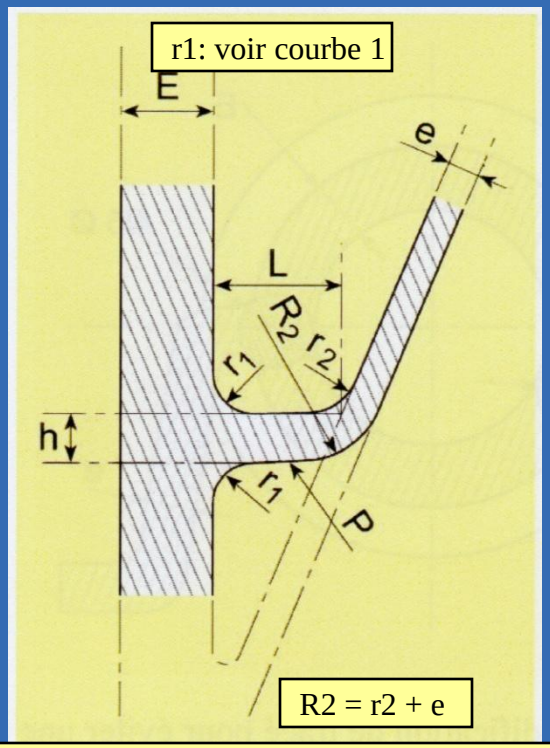
Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Raccordements en Y



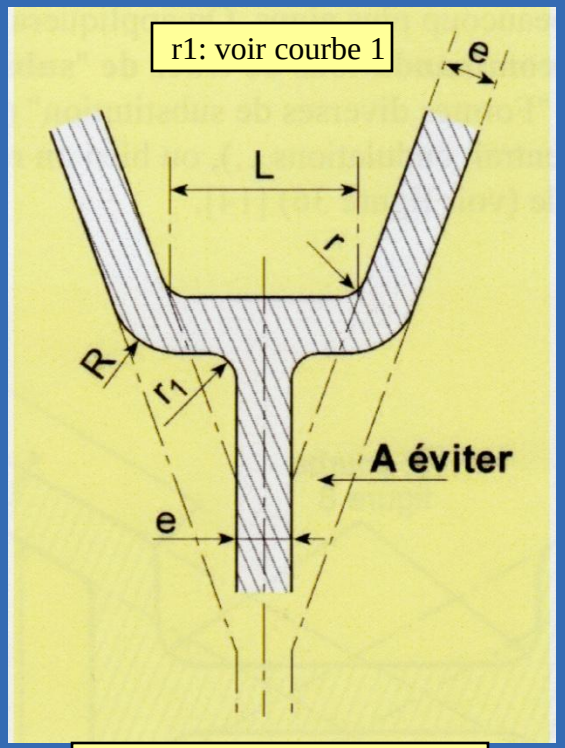
L > = e + E - r2 = (E + e)/2

0,6 E < e < 1,66 E



L > = e + E - h = 0,6 E - r2 = (E+e)/2

E < = 0,6 E



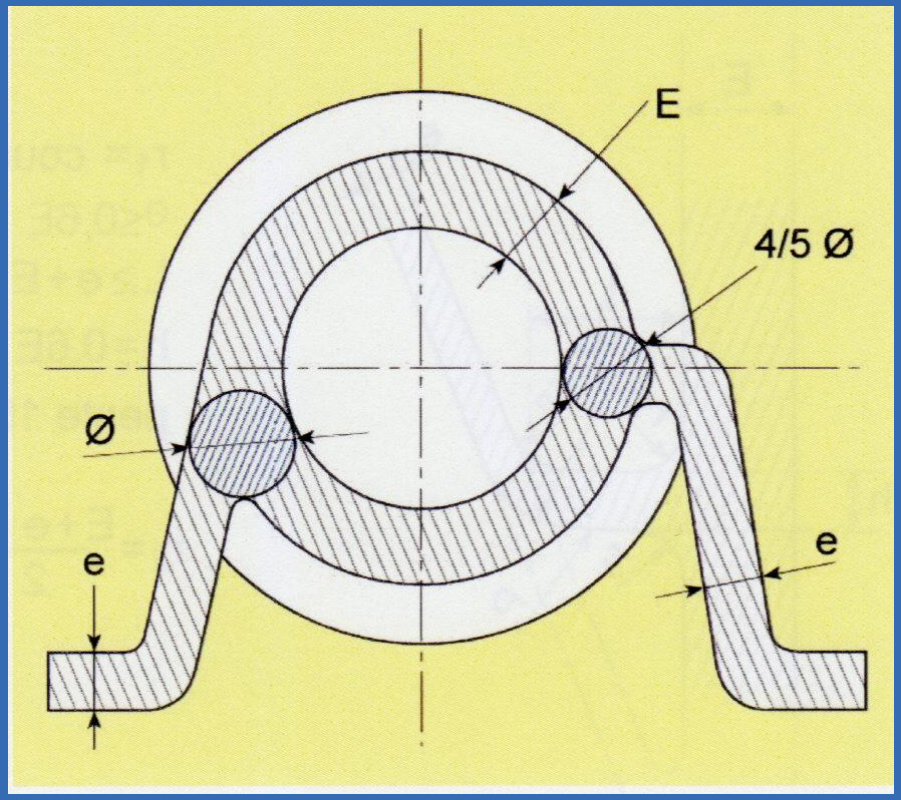
L > = 4 e - r = e - R = 2 e

Y symétrique

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

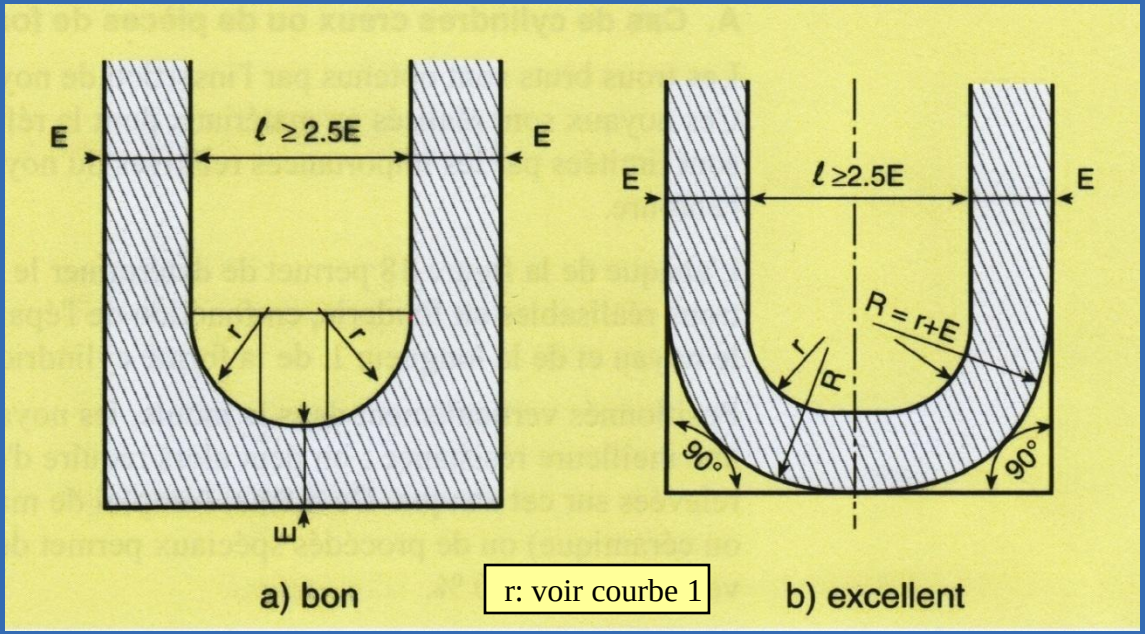
Raccordements en Y

Modification de tracé pour éviter une masse assimilable à un Y



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Sollicitations

Raccordements en U

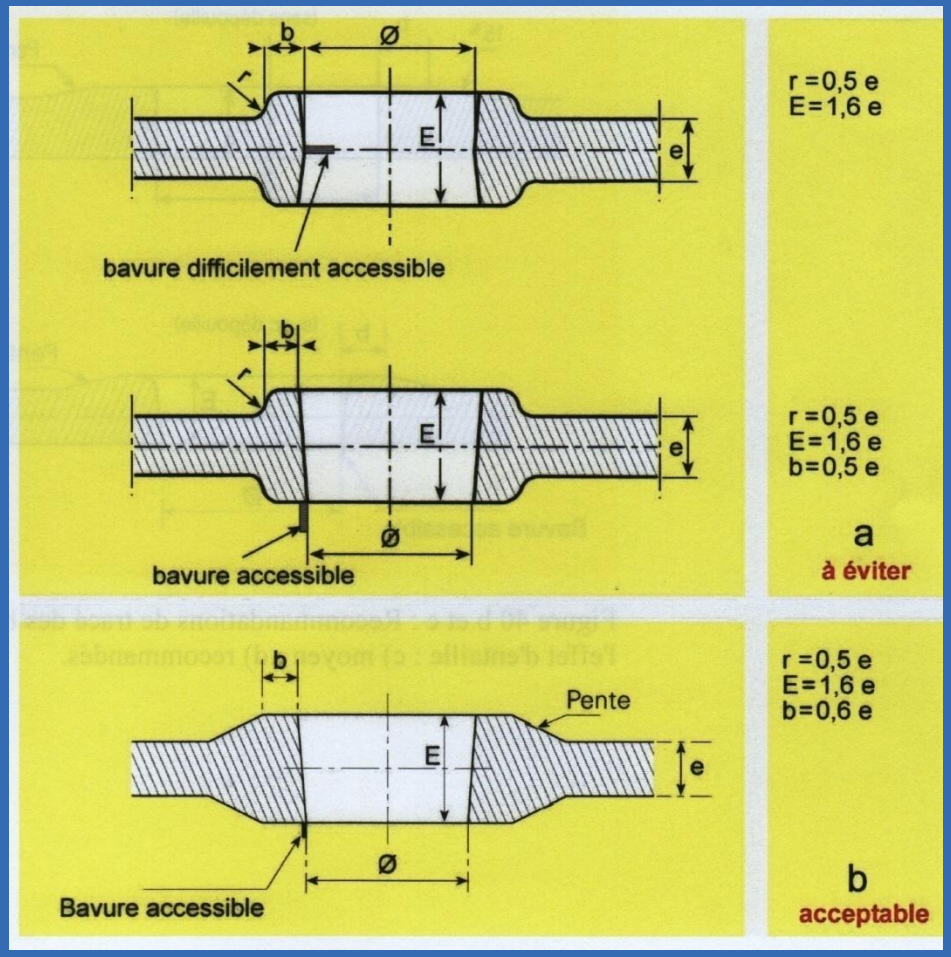


r: voir courbe 1

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Santé

Bossages et bourrelets

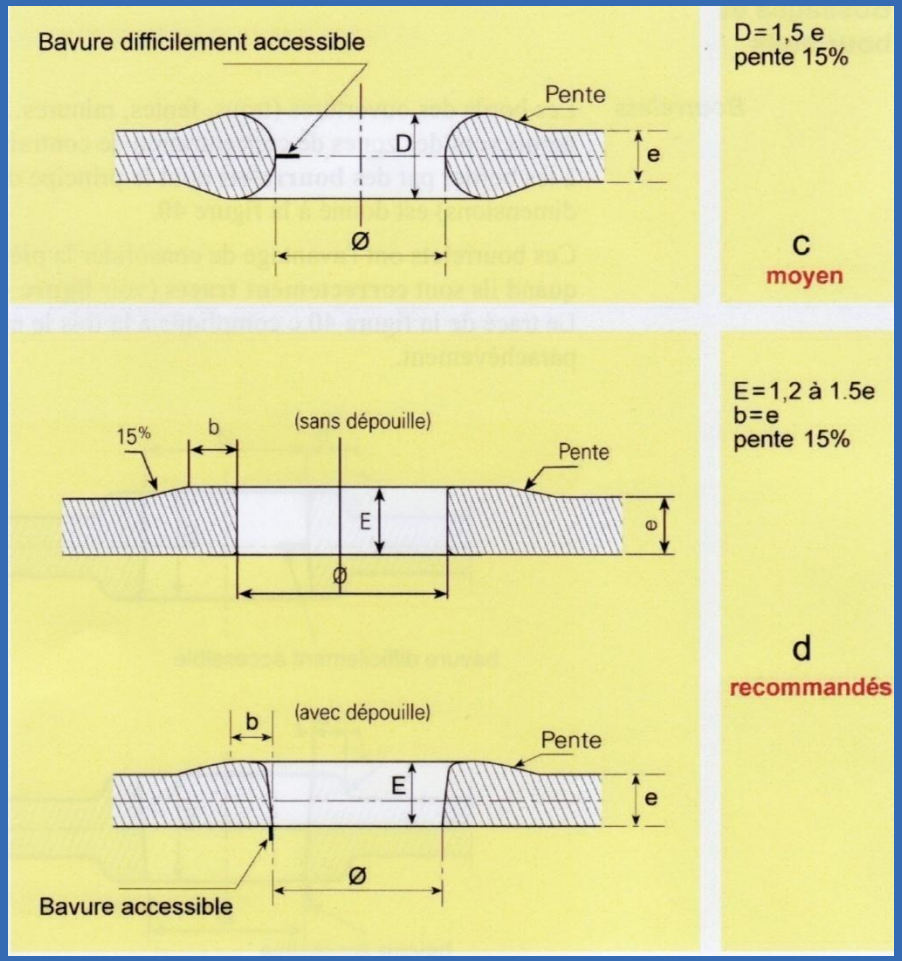
Recommandations pour éviter l ’effet d ’entaille



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Santé

Bossages et bourrelets

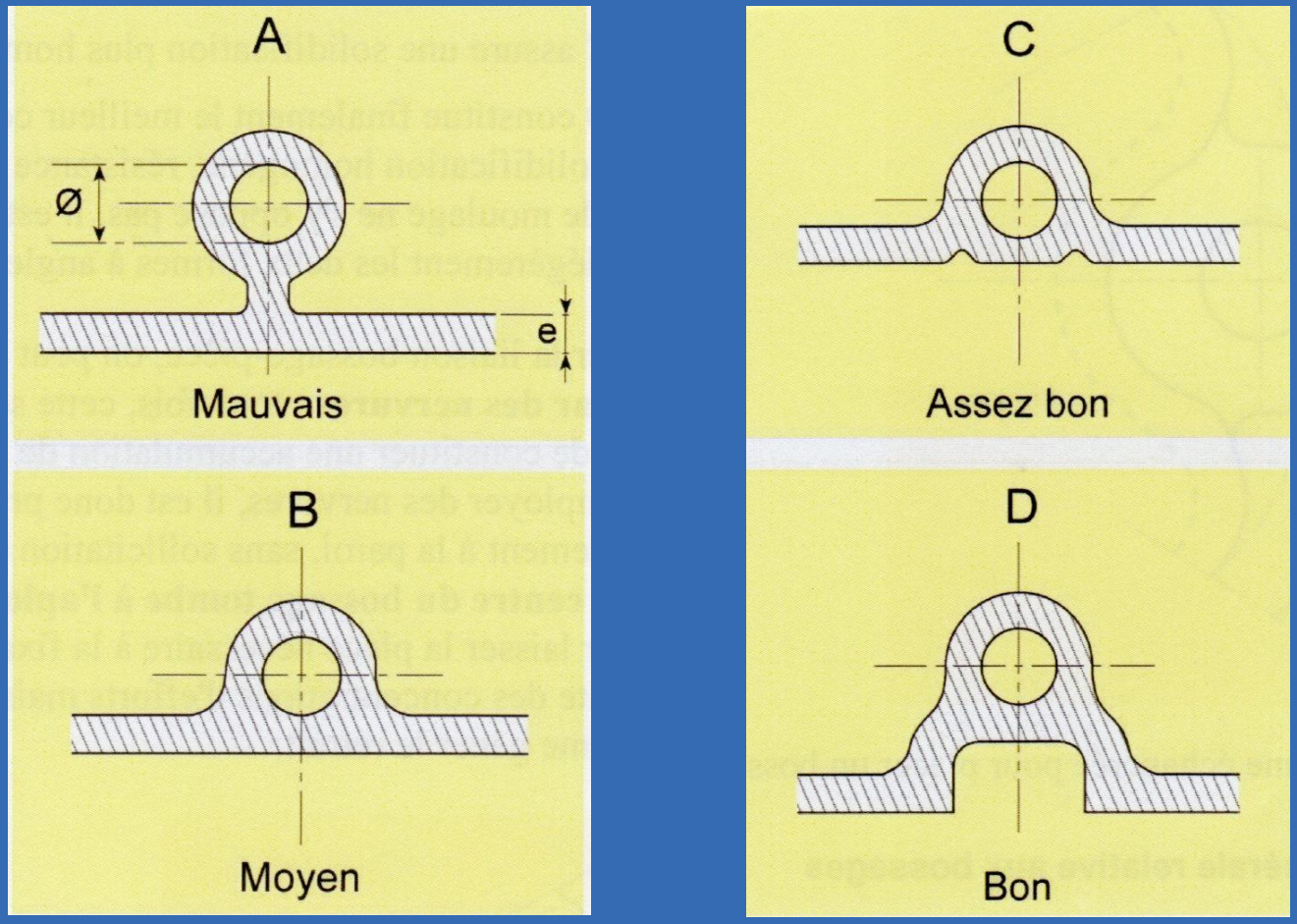
Recommandations pour éviter l ’effet d ’entaille



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Santé

Bossages et bourrelets

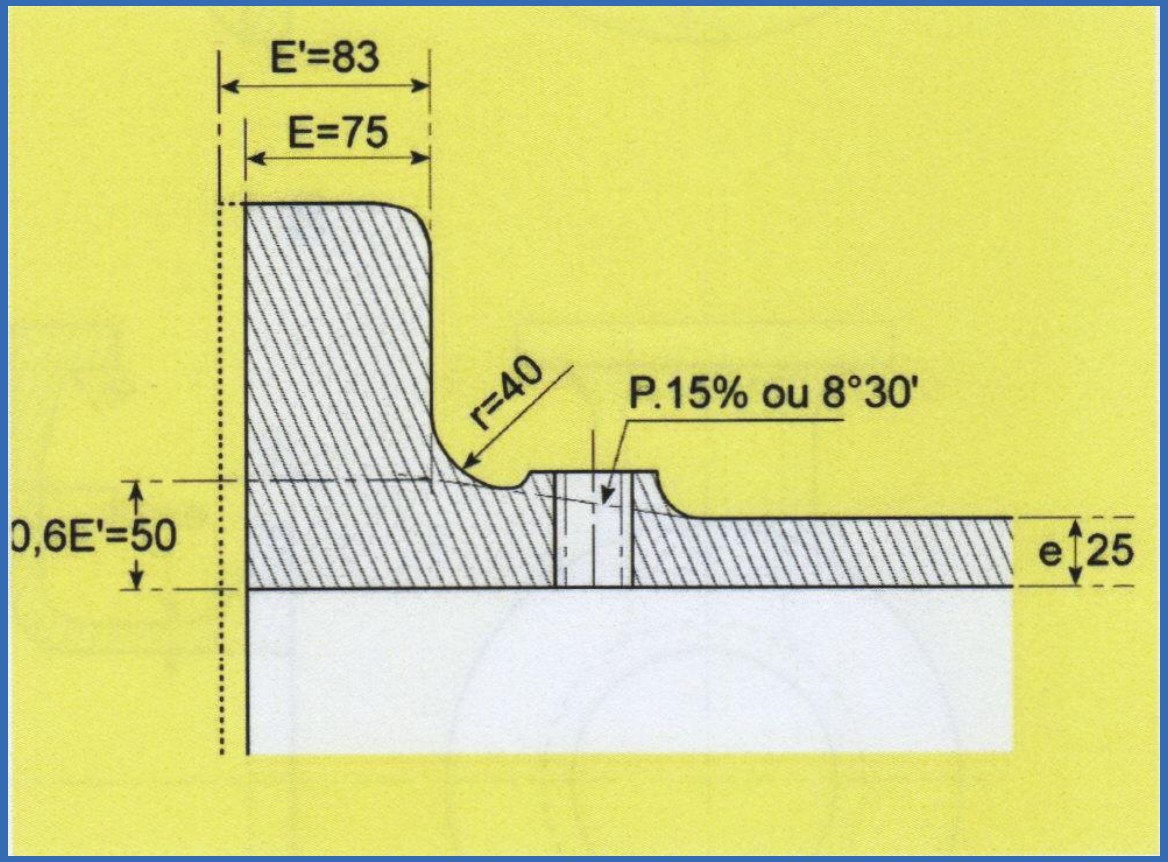
Diverses formes de liaisons de bossages aux parois



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Santé

Éléments d ’assemblage et de fixation

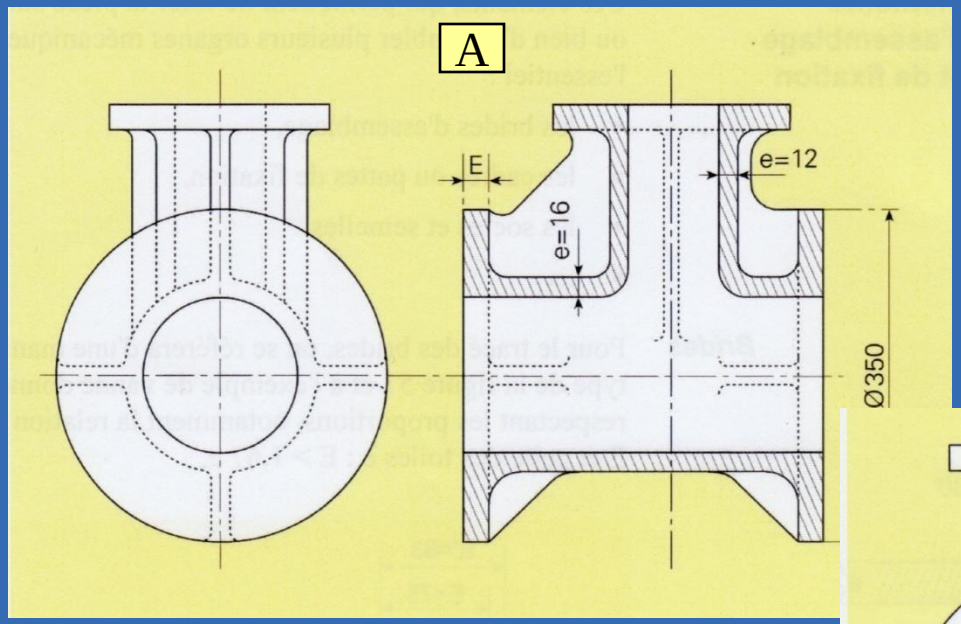
Exemple de tracé de bride



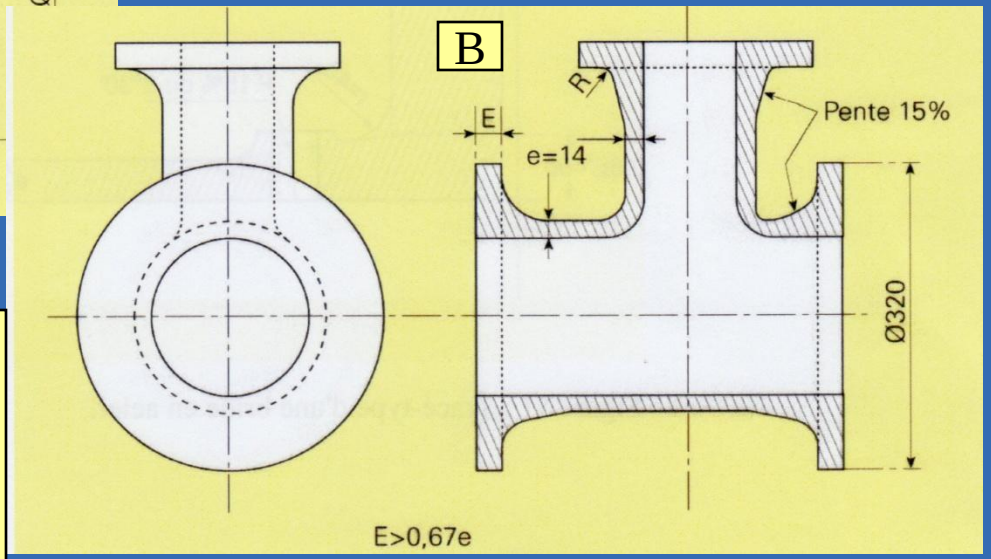
Les Règles de Tracé – Pièce brute - Santé

Éléments d ’assemblage et de fixation

Exemple de tracé d ’une vanne



A: tracé défectueux:
- épaisseurs irrégulières
- brides trop larges
- nervures trop grandes

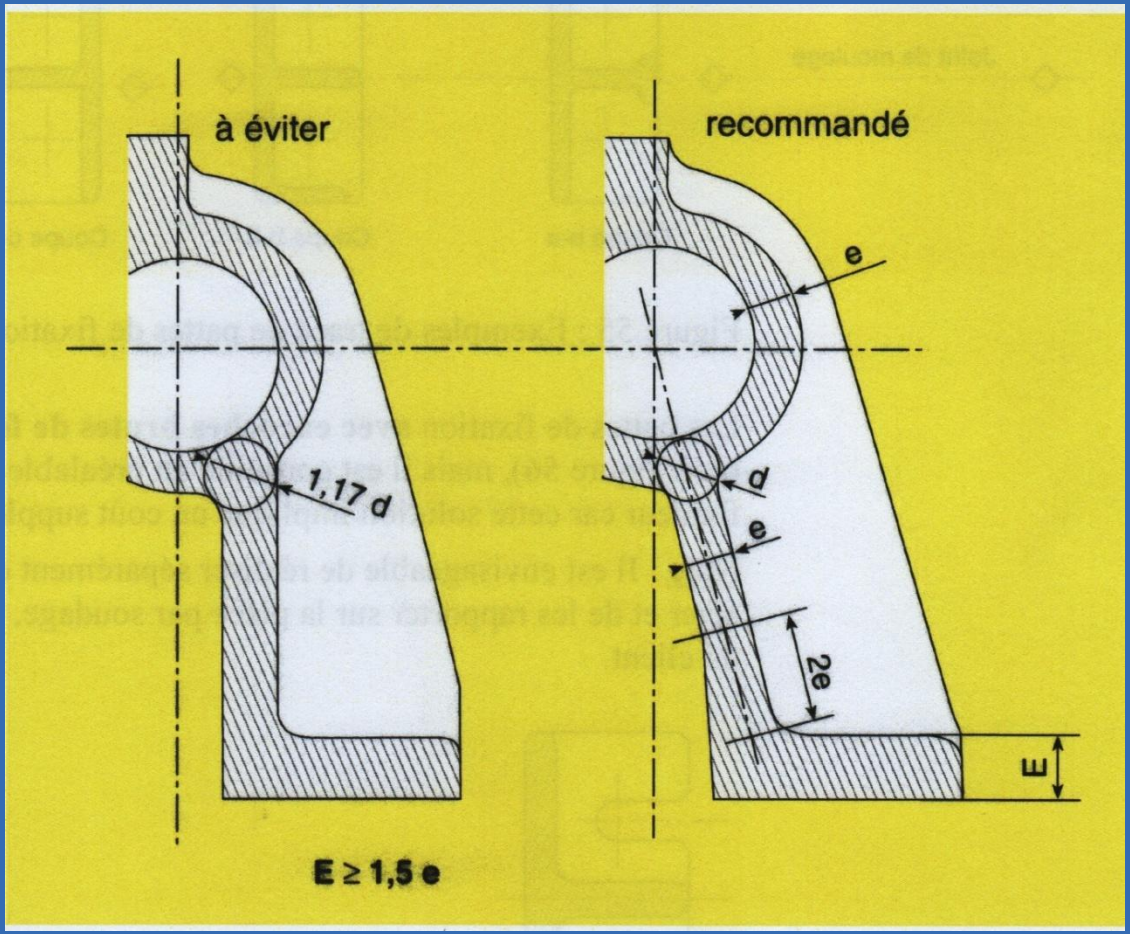


B: tracé correct:
- épaisseurs identiques
- raccordements progressifs
- suppression des nervures
- diminution des brides

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Santé

Éléments d ’assemblage et de fixation

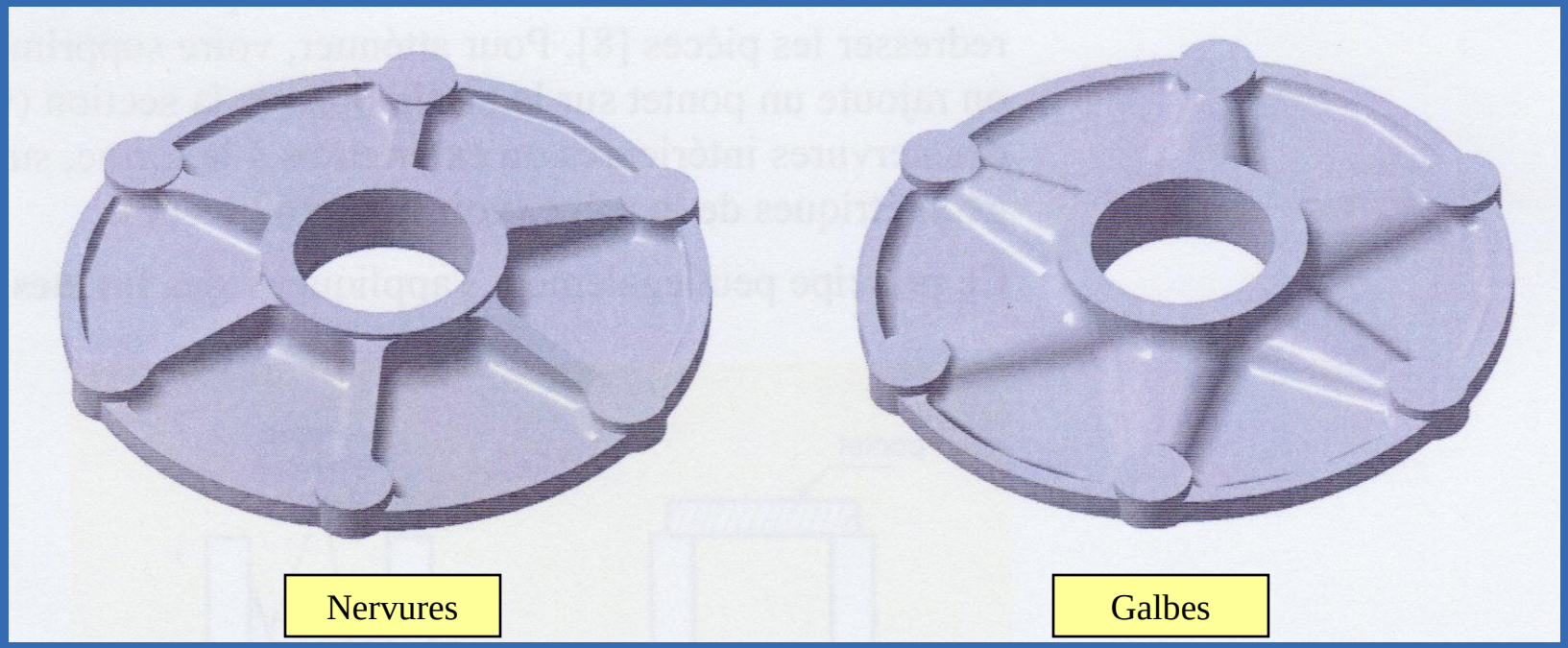
Exemple de tracé de pattes de fixation



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Santé

Nervures, galbes

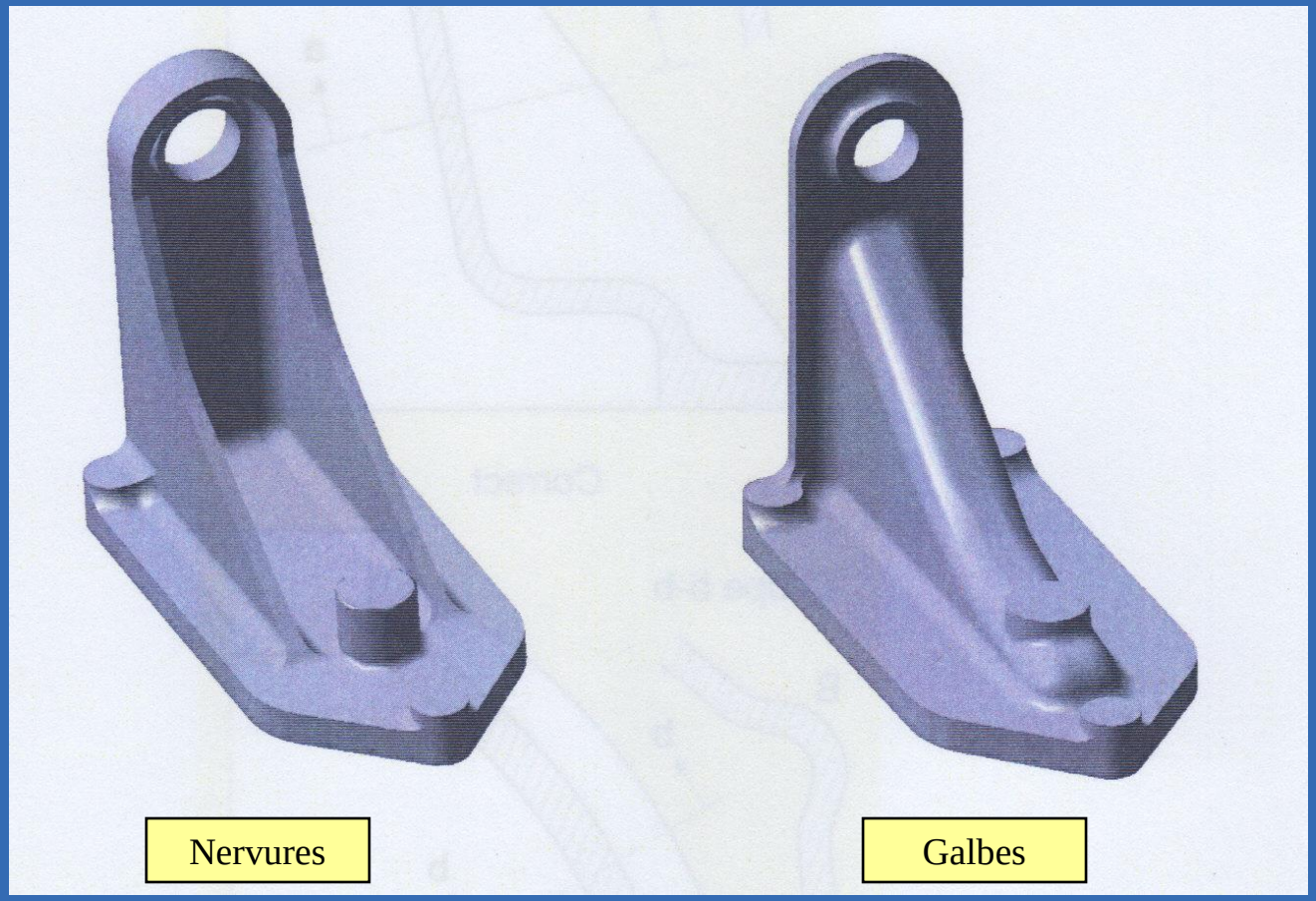
Remplacement des nervures par des galbes



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Santé

Nervures, galbes

Remplacement des nervures par des galbes



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Règles facilitant la fabrication des pièces moulées

Il est important lors du tracé d ’une pièce de penser procédé.

Des règles de bon sens permettent souvent de simplifier les opérations de fabrication de fonderie.

Il est essentiel de penser: position de la pièce dans le moule (sens de moulage et de coulée).

Le dialogue entre le fondeur et le concepteur s’avère essentiel pour l ’obtention d ’une pièce de qualité au moindre coût.

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Amélioration de la santé des pièces

Pour assurer une compacité maximale et garantir la santé interne de la pièce, il est parfois nécessaire de modifier le tracé.

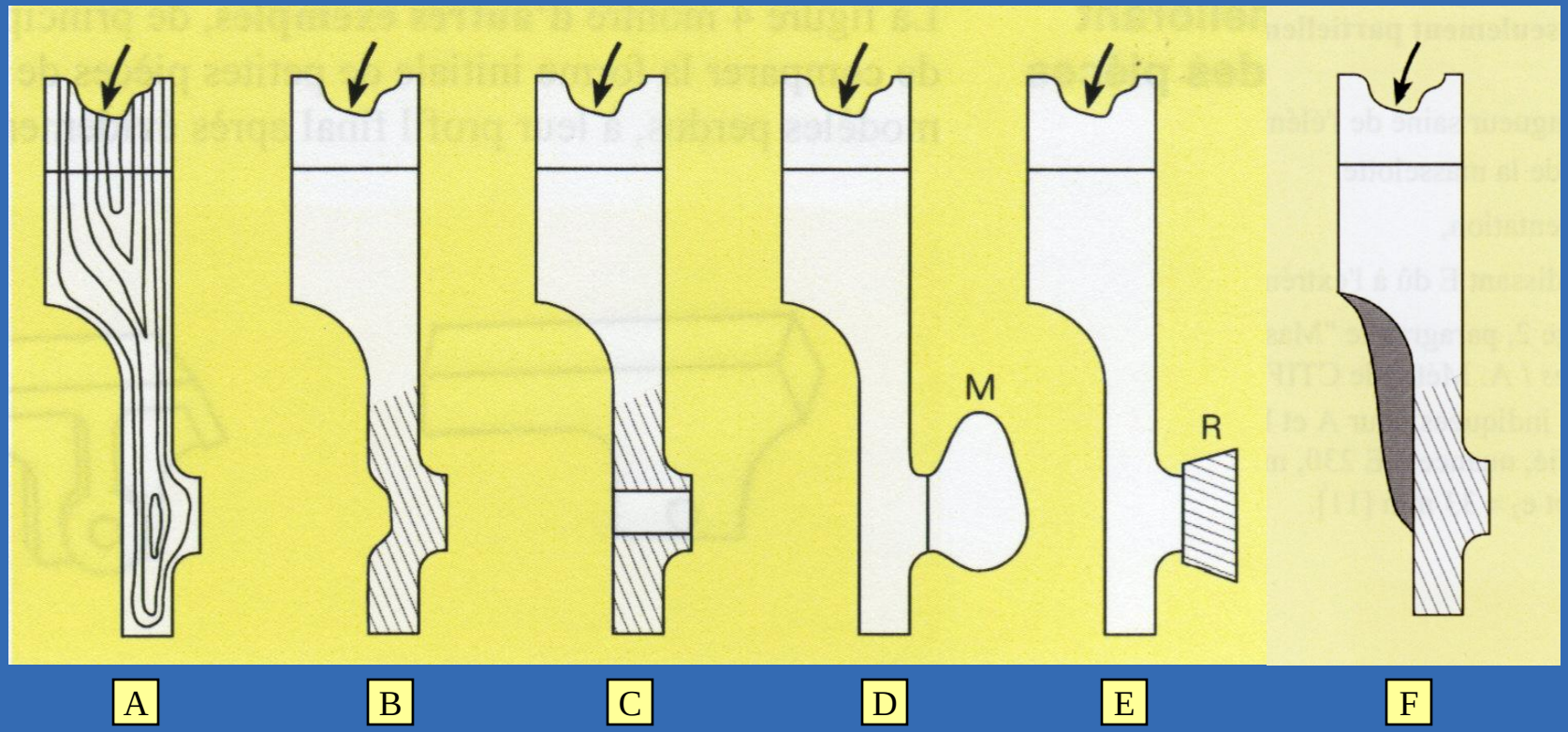
Le sens de solidification naturelle de la pièce s ’en trouve modifié, on parle de solidification dirigée.

Pour améliorer la santé des pièces plusieurs solutions sont envisageables:

- évidemment des masses (dans la limite de la fonction de la pièce)
- emploi de surépaisseurs ou de dépouilles d ’auto-alimentation
- mise en place de bossages d ’assise de masselottes

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Amélioration de la santé des pièces

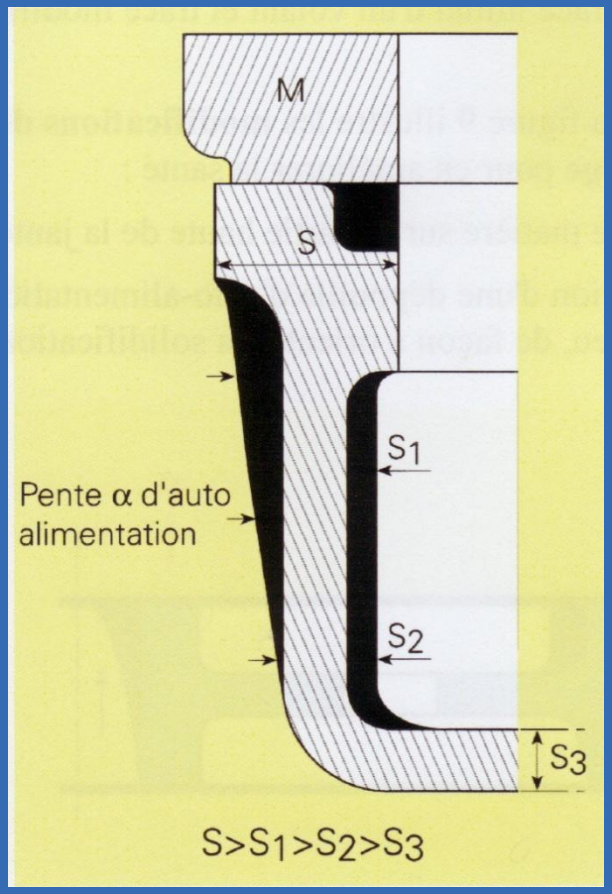


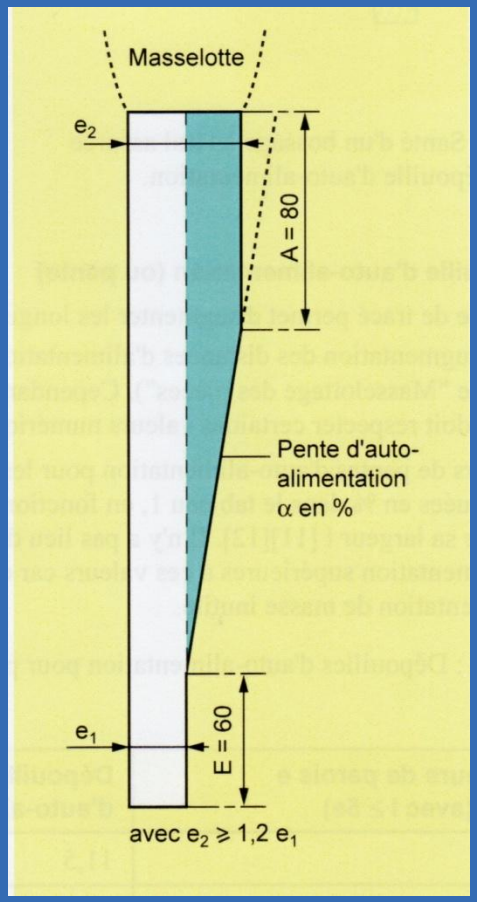
A: zone isolée de dernière solidification B: tirage d 'épaisseur C: évidemment de bossage
D: alimentation par une masselotte E: santé assurée par un refroidisseur F: dépouille d 'auto alimentation

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Amélioration de la santé des pièces

Ces profils sont plutôt adaptés aux alliages présentant des difficultés d ’alimentation tels que les aciers.

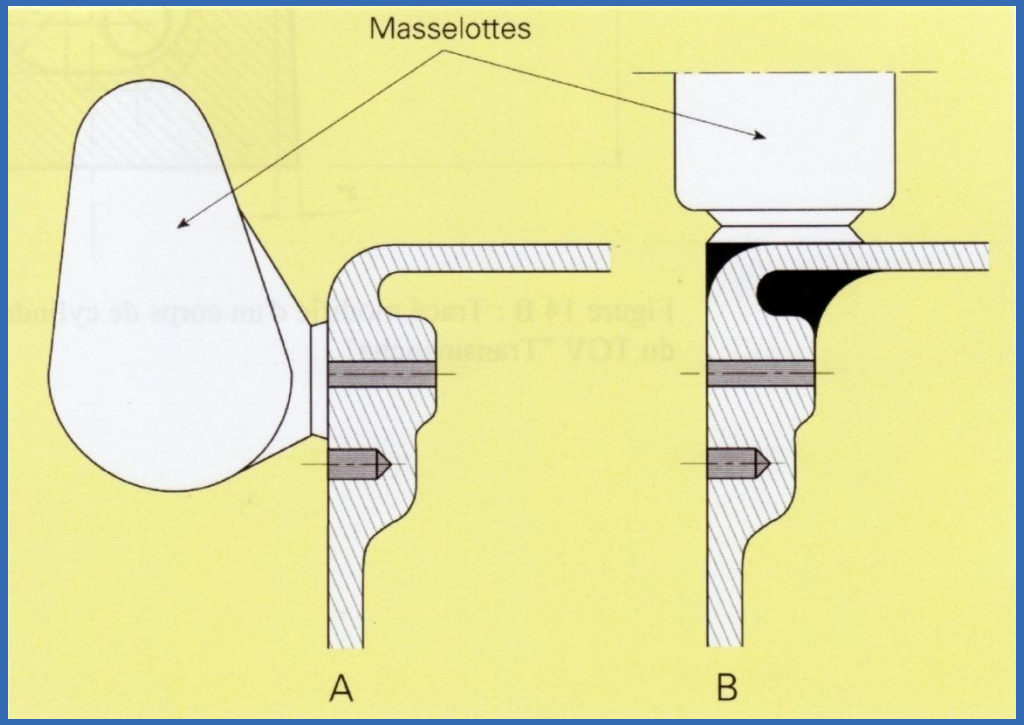


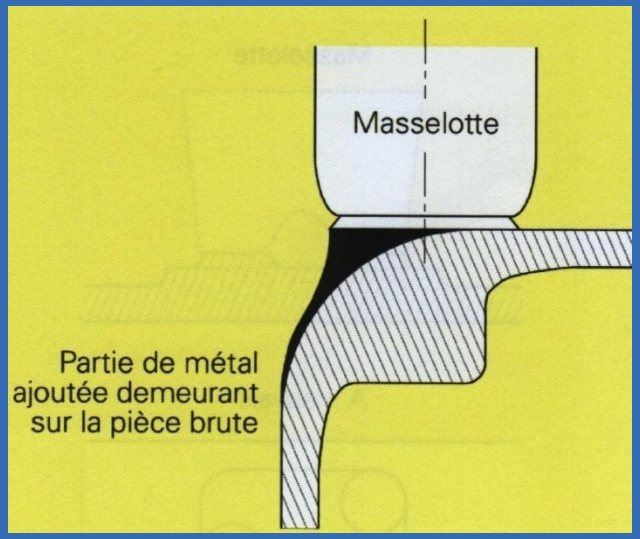


Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Amélioration de la santé des pièces

Modification de tracé facilitant le masselottage





Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Amélioration des conditions de retrait

Pour remédier au phénomène de retrait, il est parfois utile de rendre « déformable » le tracé de la pièce.

Ceci s'applique surtout aux pièces moyennes ou grandes dont le profil est fermé et rigidifié par des nervures.

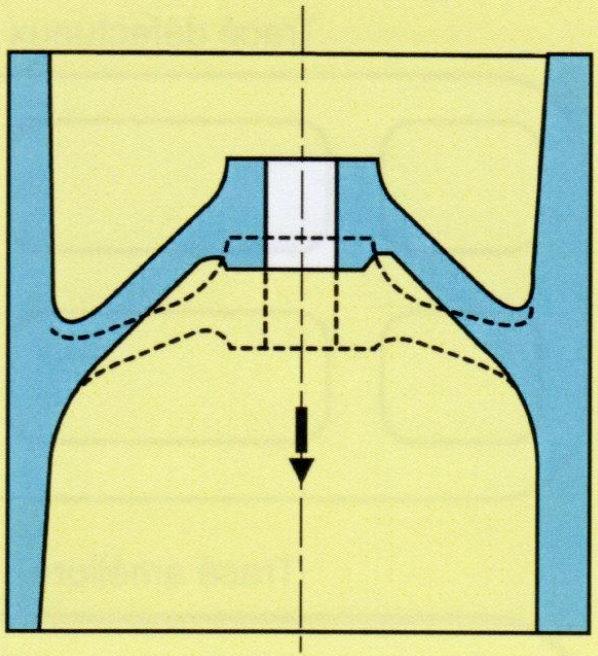
Si la pièce ne présente pas une « élasticité » suffisante, elle risque de présenter des déformations sans importance ou pire, des amorces de rupture (criques) qui sont la conséquence des contraintes de traction dues au retrait contrarié.

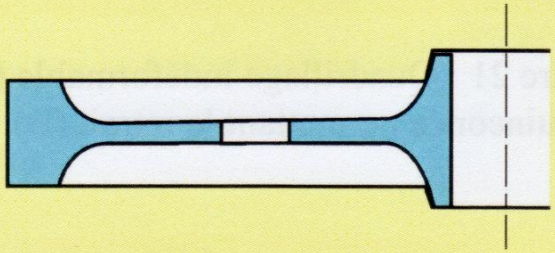
Pour remédier à cela, il est utile de transformer des éléments rectilignes en éléments courbes.

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

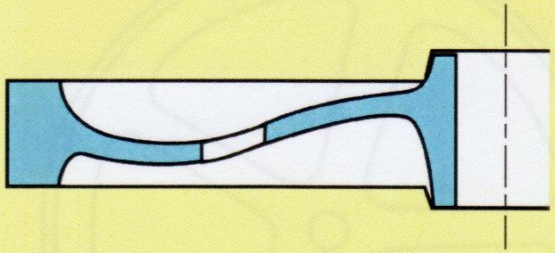
Amélioration des conditions de retrait

Tracé modifié compensant le retrait





Tracé trop rigide

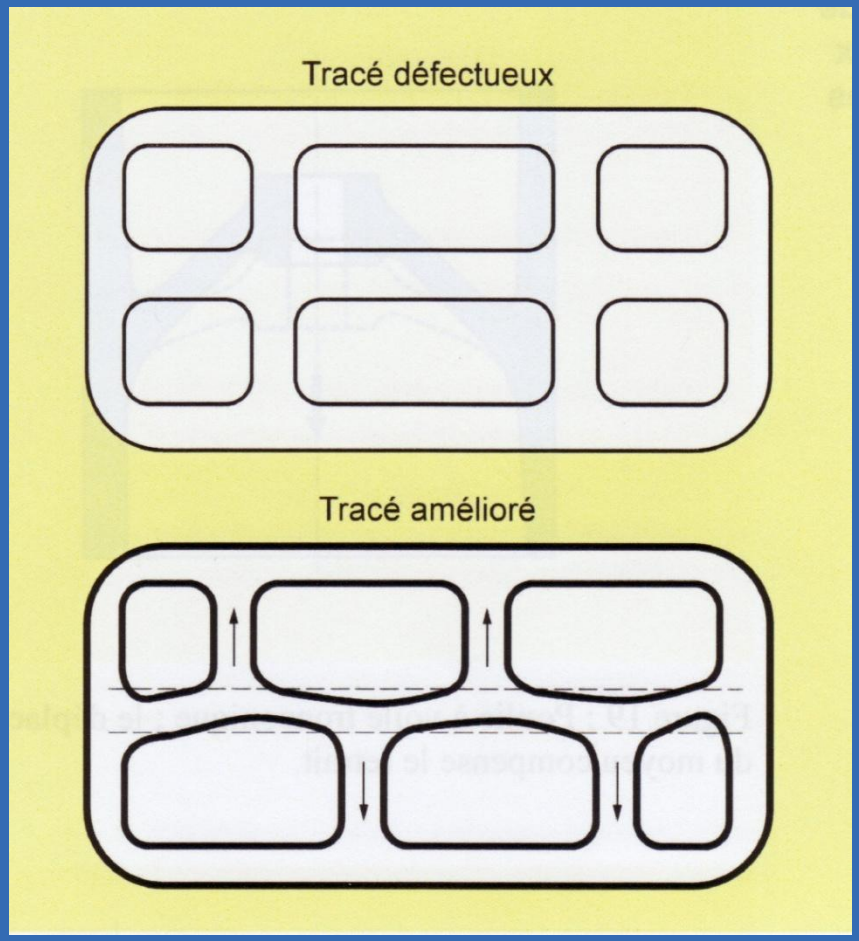


Tracé recommandé permettant
une certaine élasticité de l'ensemble

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Amélioration des conditions de retrait

Quadrillage indéformable remplacé par un cloisonnement en quinconce permettant le retrait



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Simplification des opérations de moulage

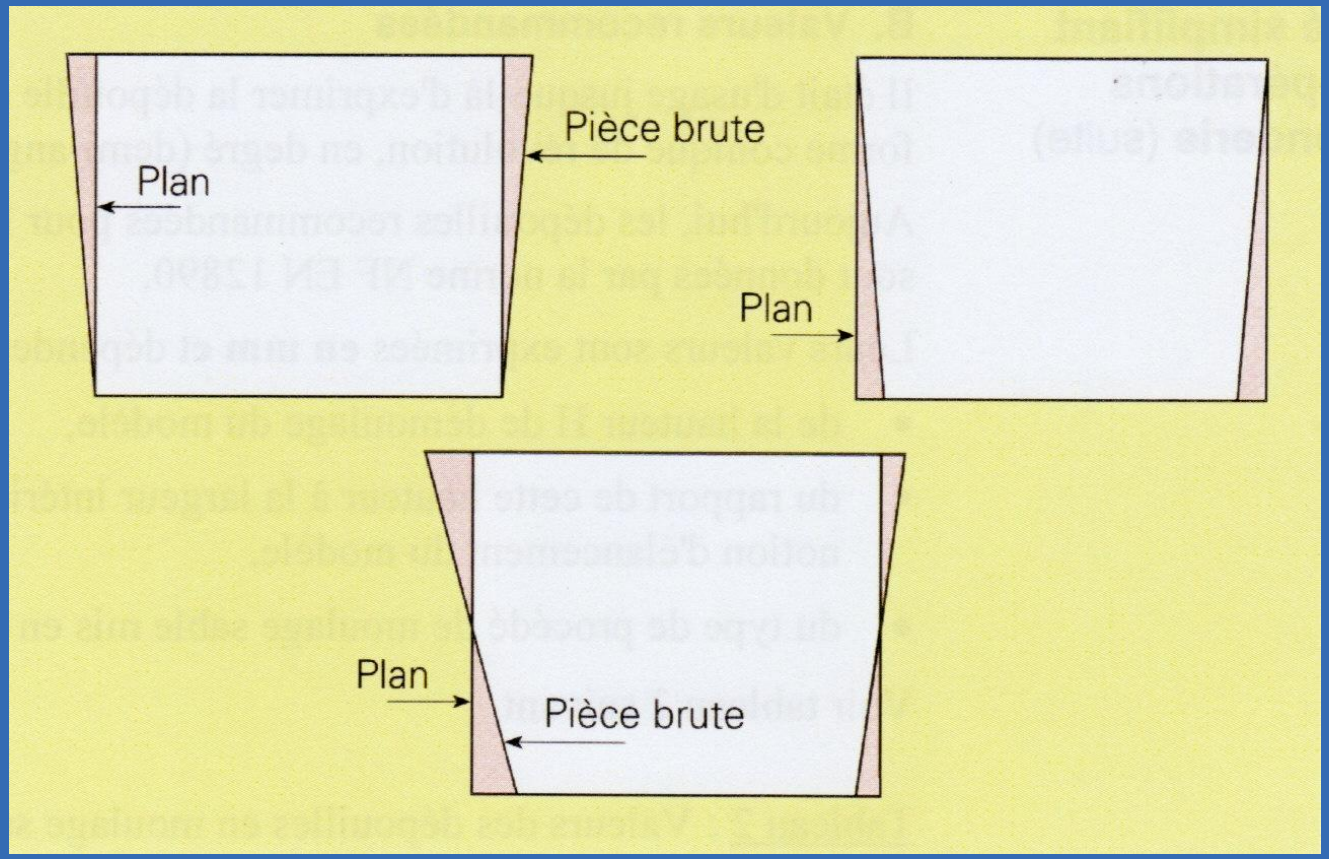
Ces opérations peuvent se résumer à:

- la mise en place de dépouilles
- la modification de formes
- la suppression de contre dépouilles
- la recherche de joints plans
- la simplification du noyautage et du remmoulage
- l ’amélioration des conditions d ’ébarbage

Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Simplification des opérations de moulage

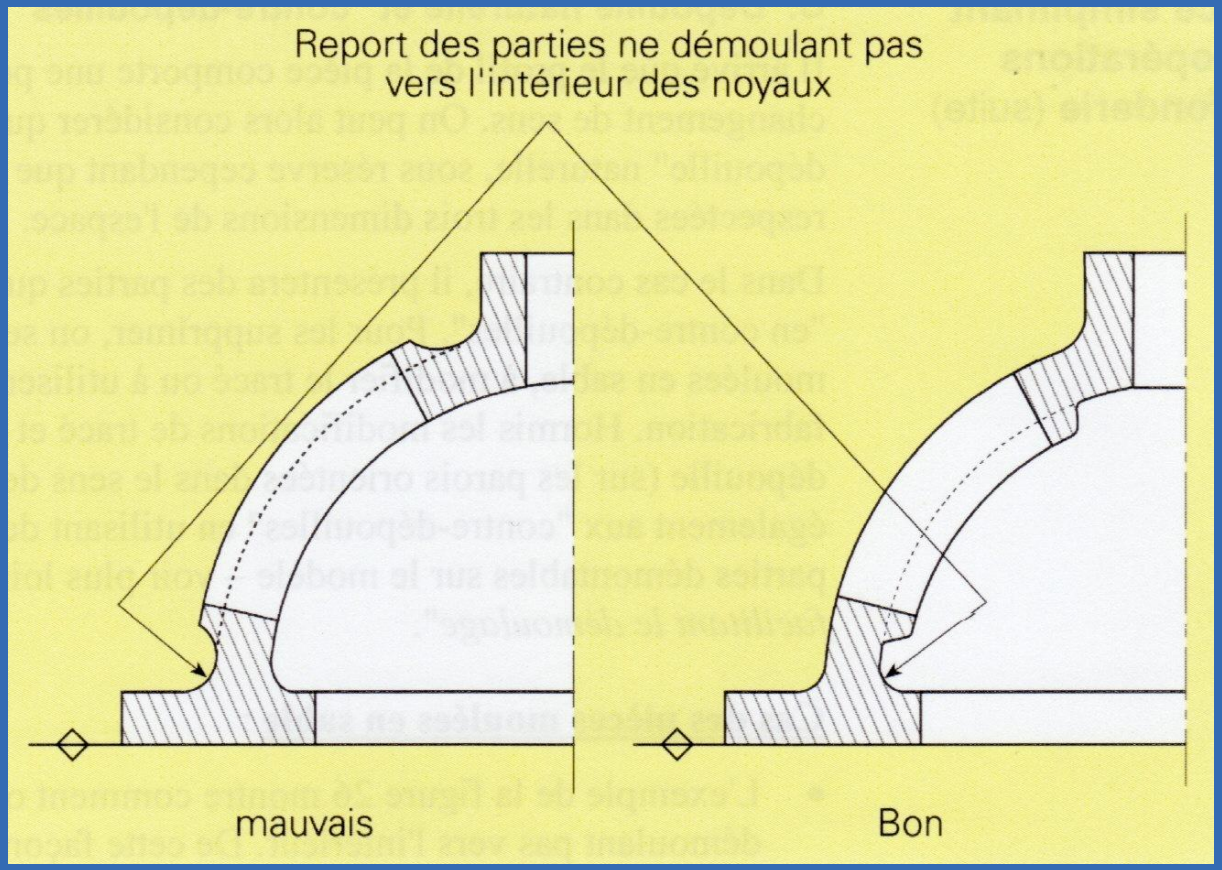
Mise en place de dépouilles



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Simplification des opérations de moulage

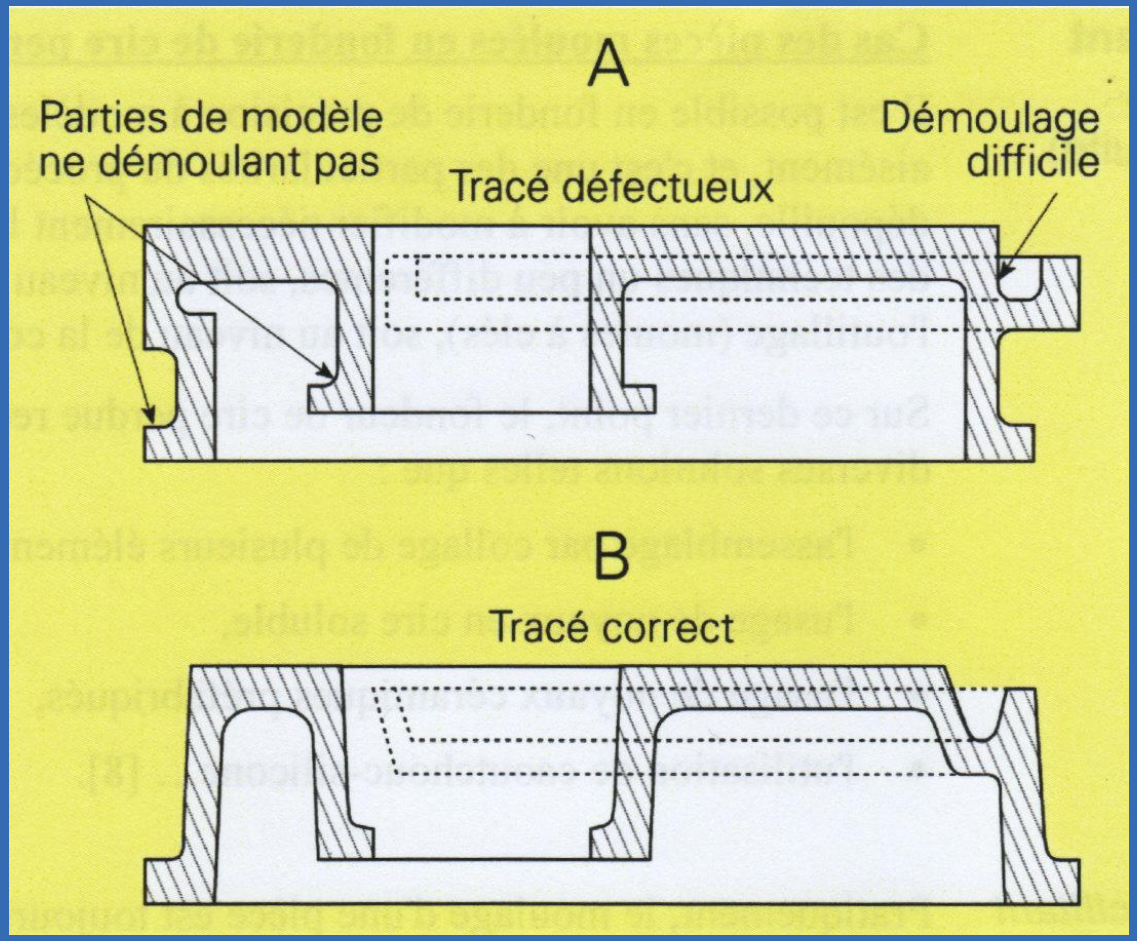
Difficulté de moulage reportée vers l ’intérieur



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

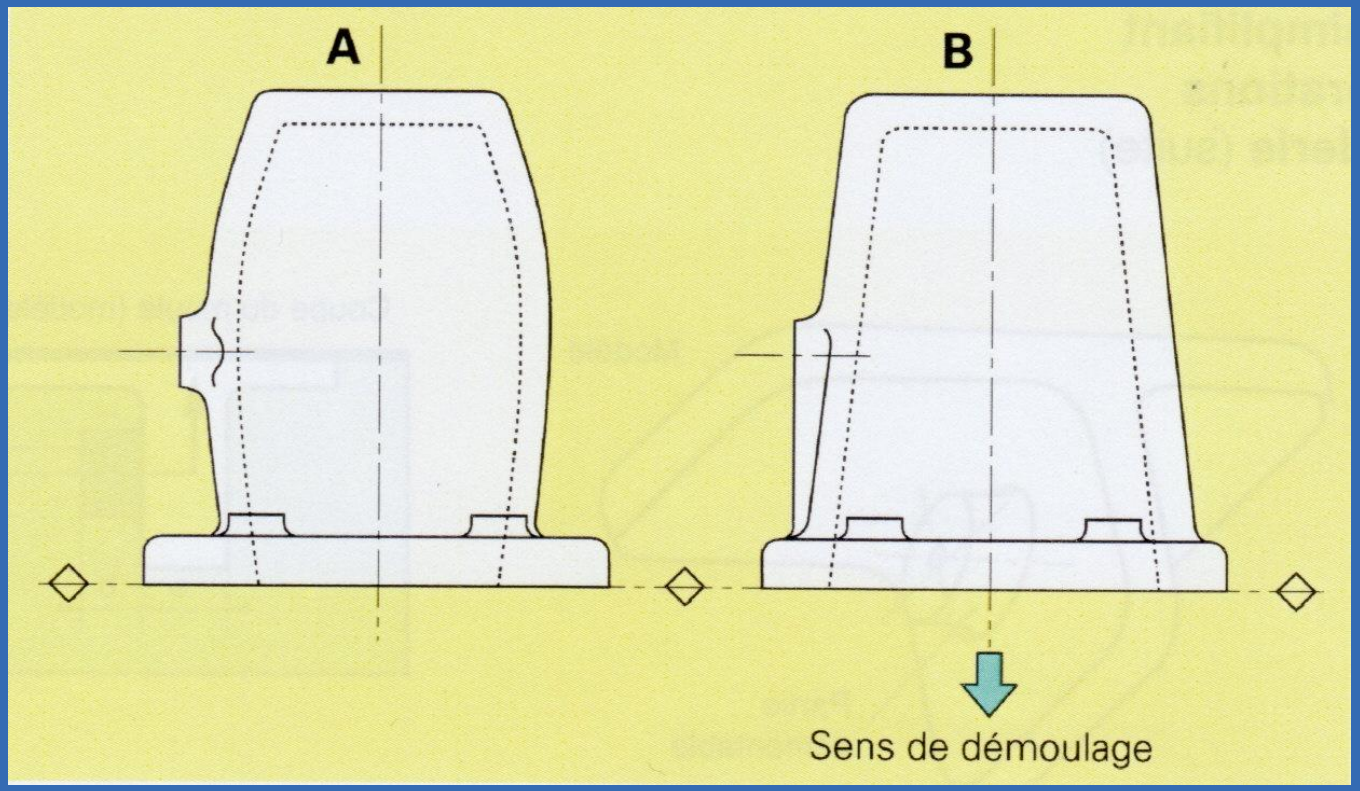
Simplification des opérations de moulage

Simplification du moulage d ’un bâti



Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

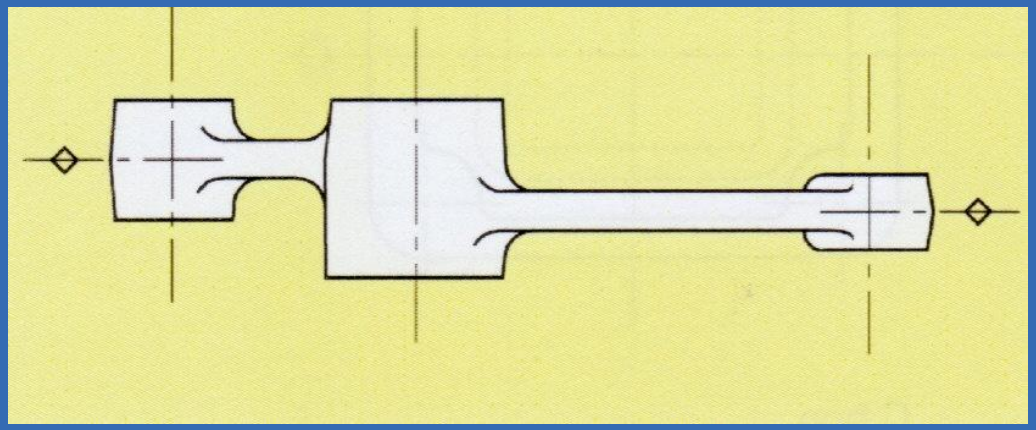
Simplification des opérations de moulage

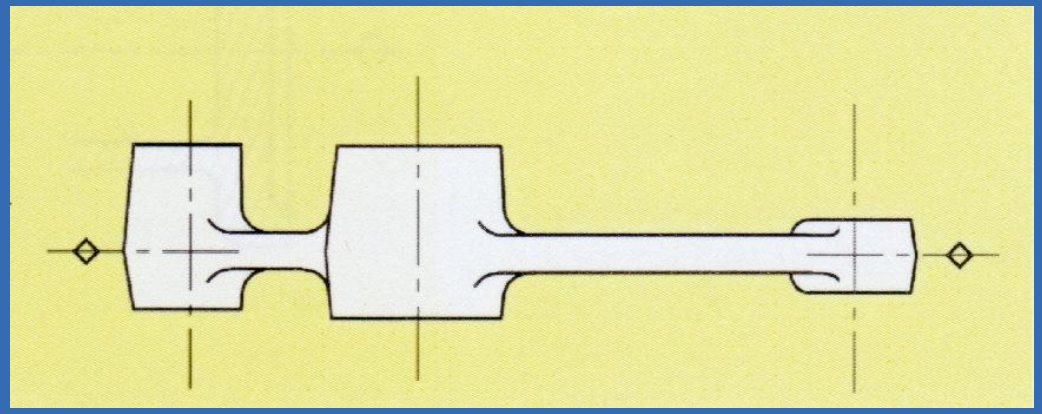


Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Simplification des opérations de moulage

Remplacement d ’un joint décroché par un joint plan

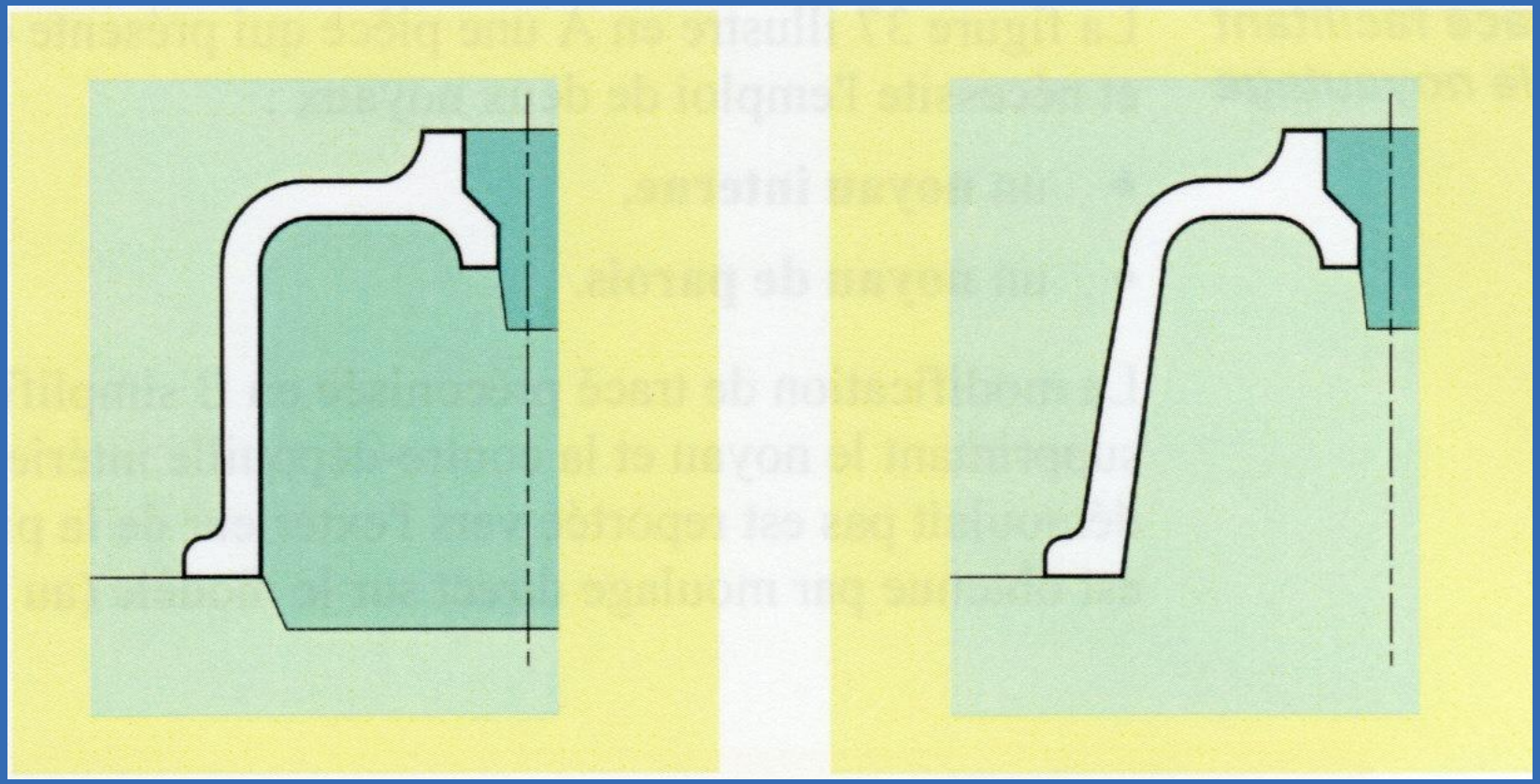




Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Simplification des opérations de moulage

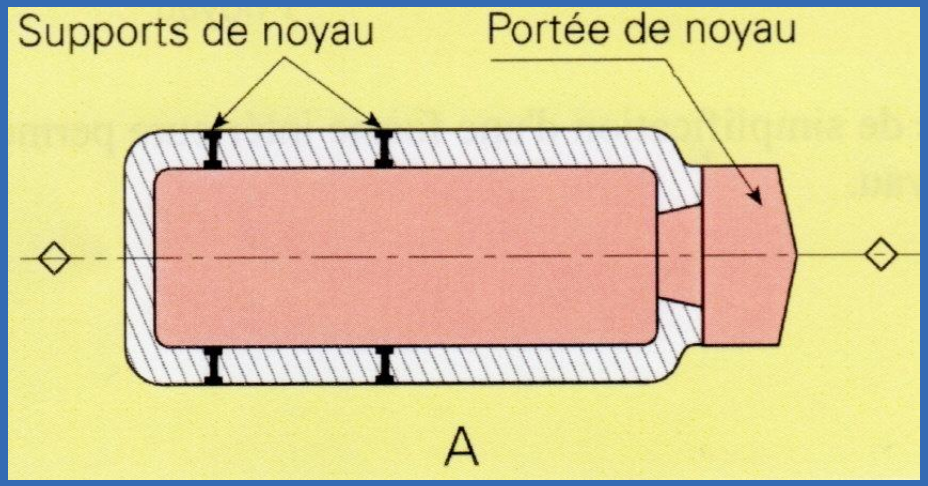
Forme interne obtenue par moulage après modification

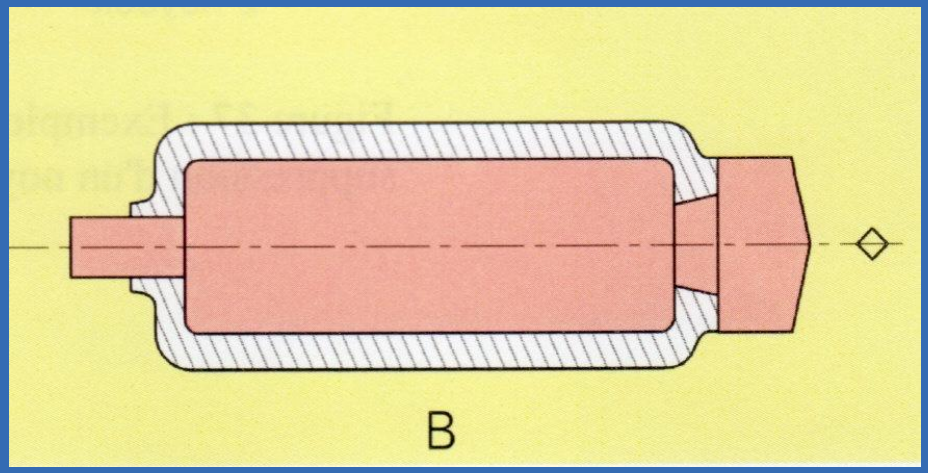


Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

Simplification des opérations de moulage

Remplacement des supports par une portée supplémentaire

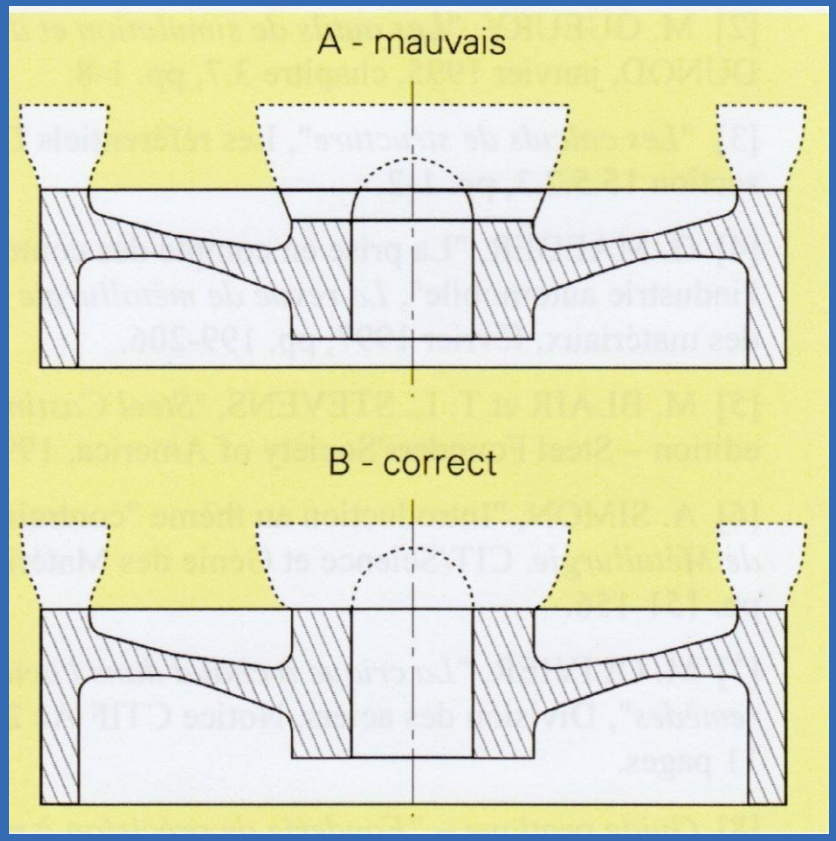


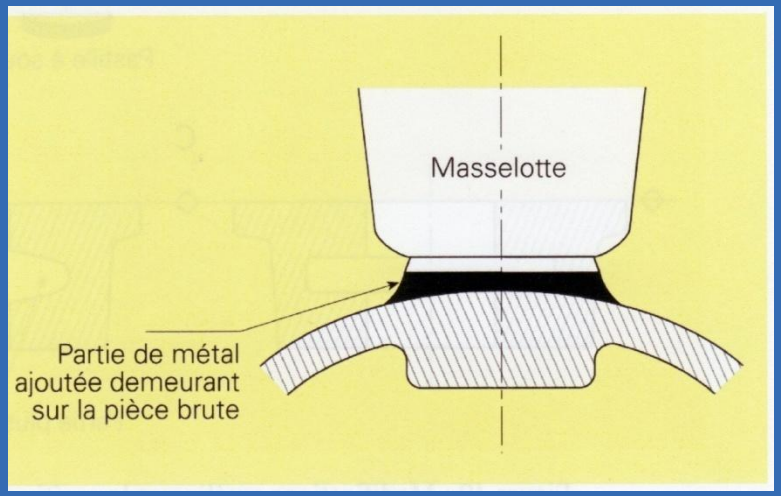


Les Règles de Tracé – Pièce brute - Fabrication

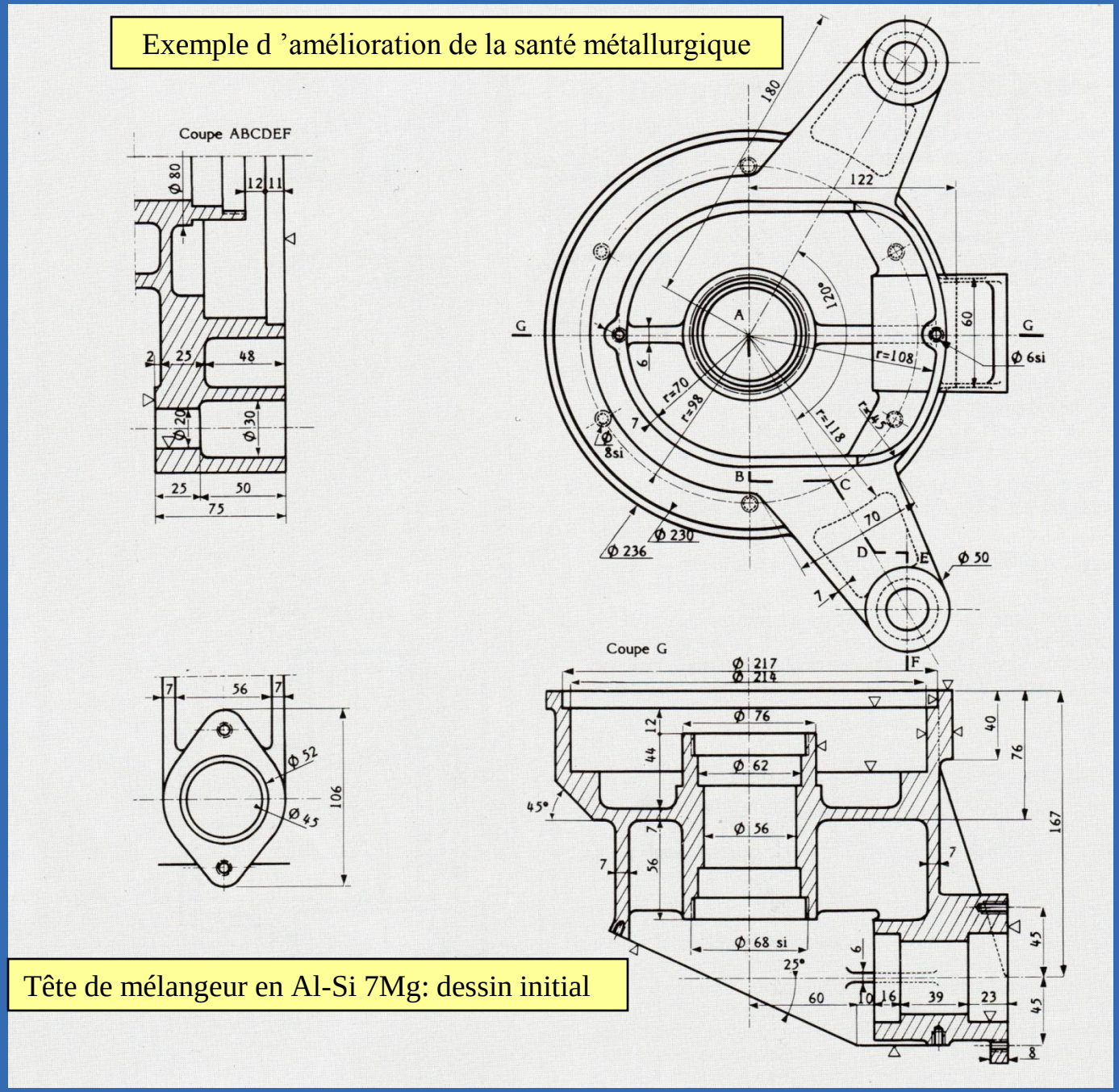
Simplification des opérations de finition

Tracé facilitant l ’ébarbage



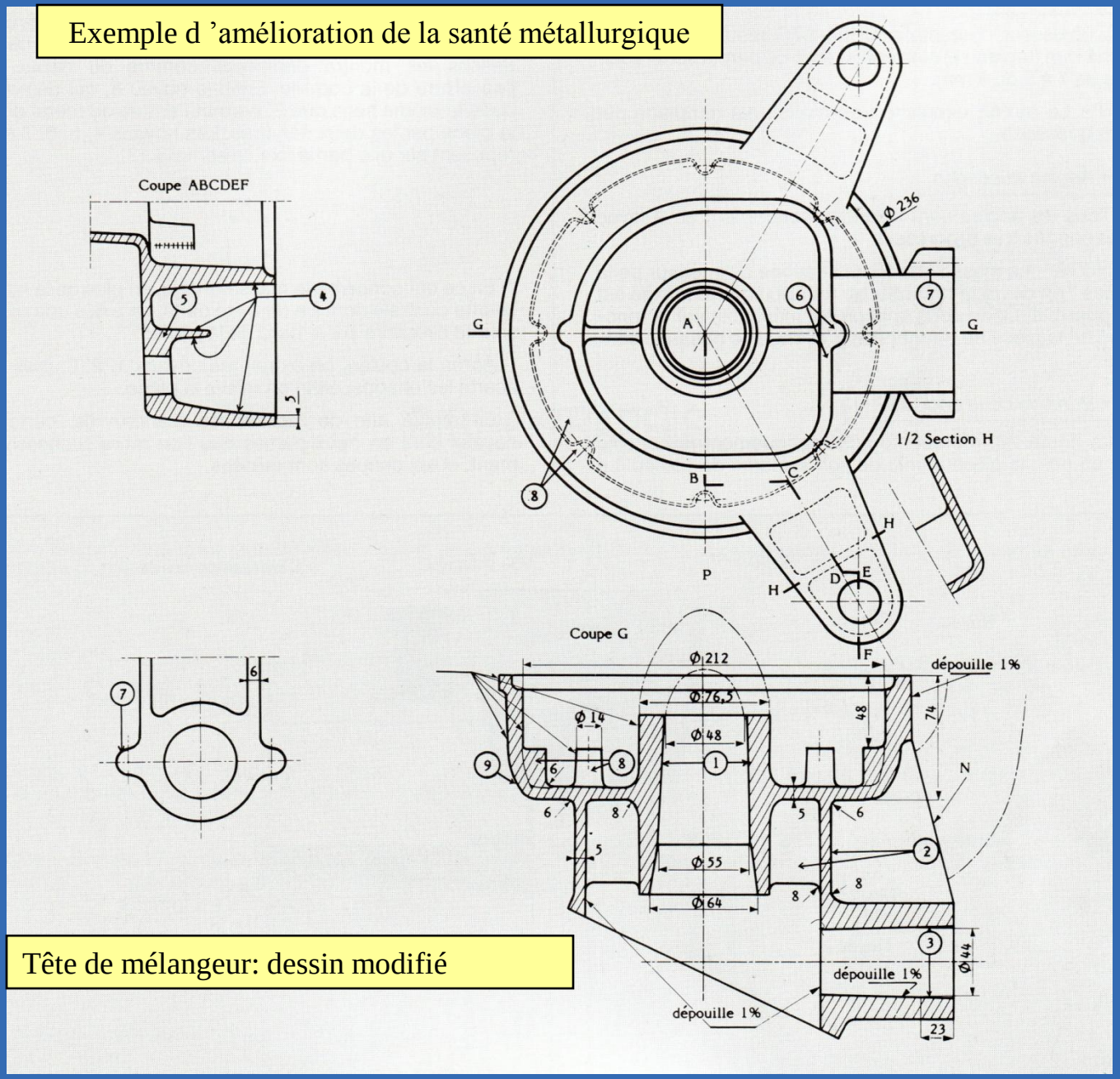


Exemple d ’amélioration de la santé métallurgique



Tête de mélangeur en Al-Si 7Mg: dessin initial

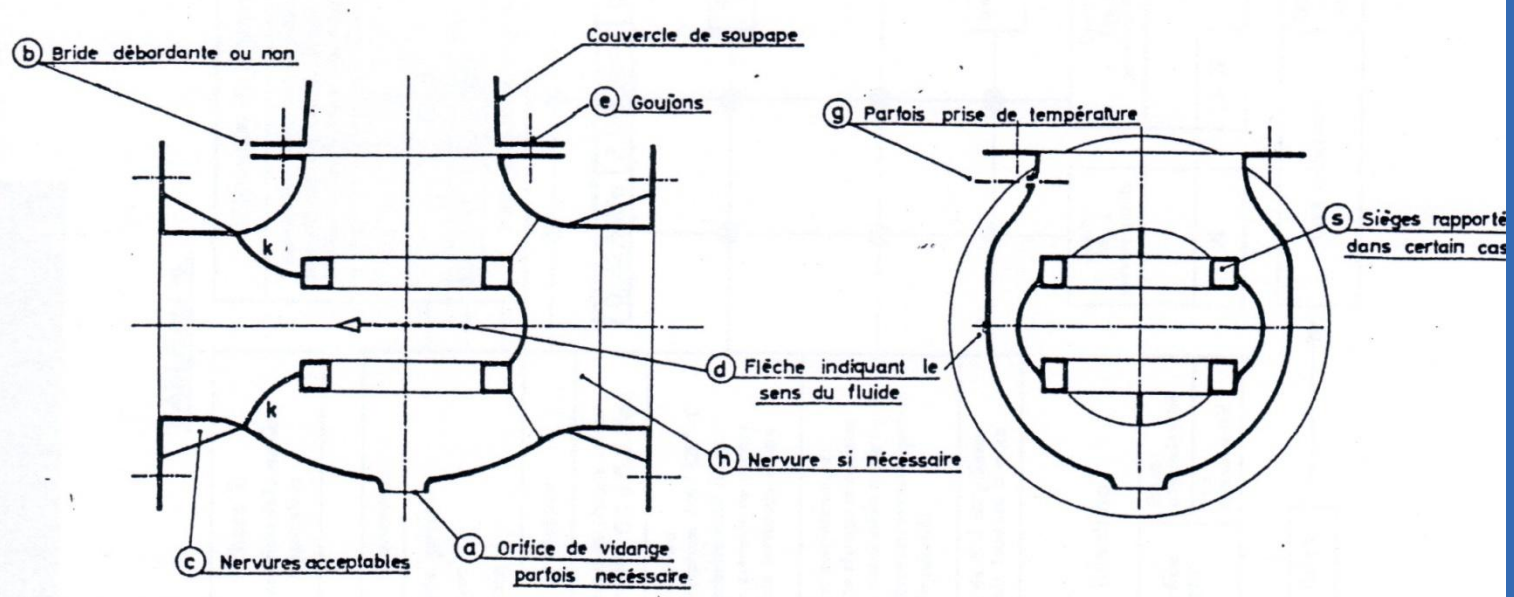
Exemple d ’amélioration de la santé métallurgique

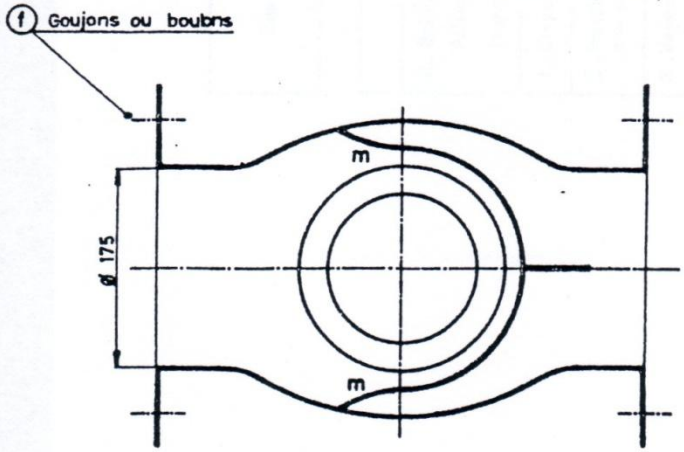


Tête de mélangeur: dessin modifié

Exemple d e définition d'un corps de soupape

Phase 1: Définition des options de base



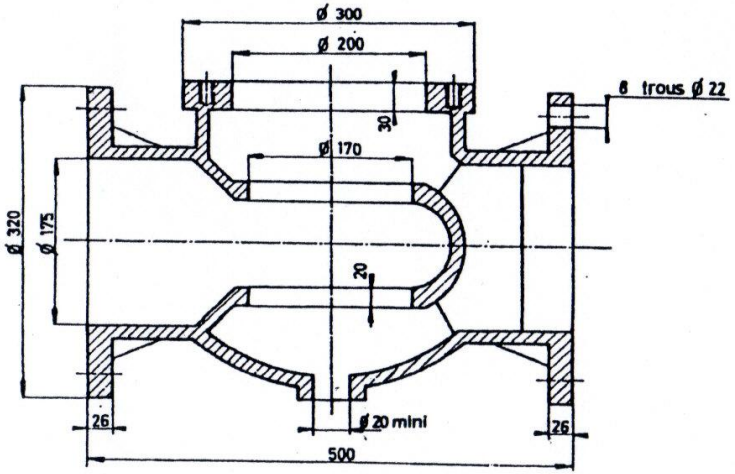


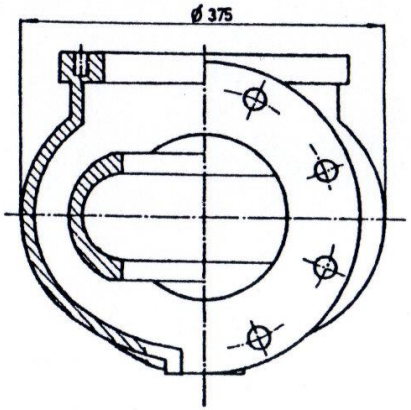
Données :

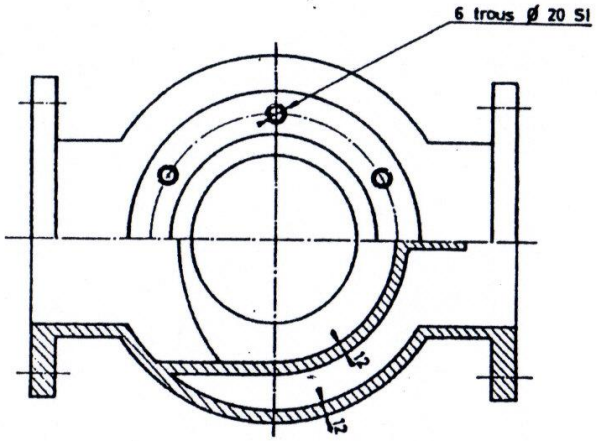
- Pression de service jusqu'à 3,7 Mpa.
- Essai de pression à l'eau sous 1,5 x pression de service soit jusqu'à 5,5 Mpa.
- Température jusqu'à 425°C.
- Intérieur : bel état de surface.
- Pertes de charges minimales.
- Encombrement minimal : sans impératif.
- Séries de 5 à55 pièces tous les 6 mois.

CORPS DE SOUPAPE	ETAPE N°1
	FIG : 1

Phase 2: Répartition de la matière - EN-GJL 250







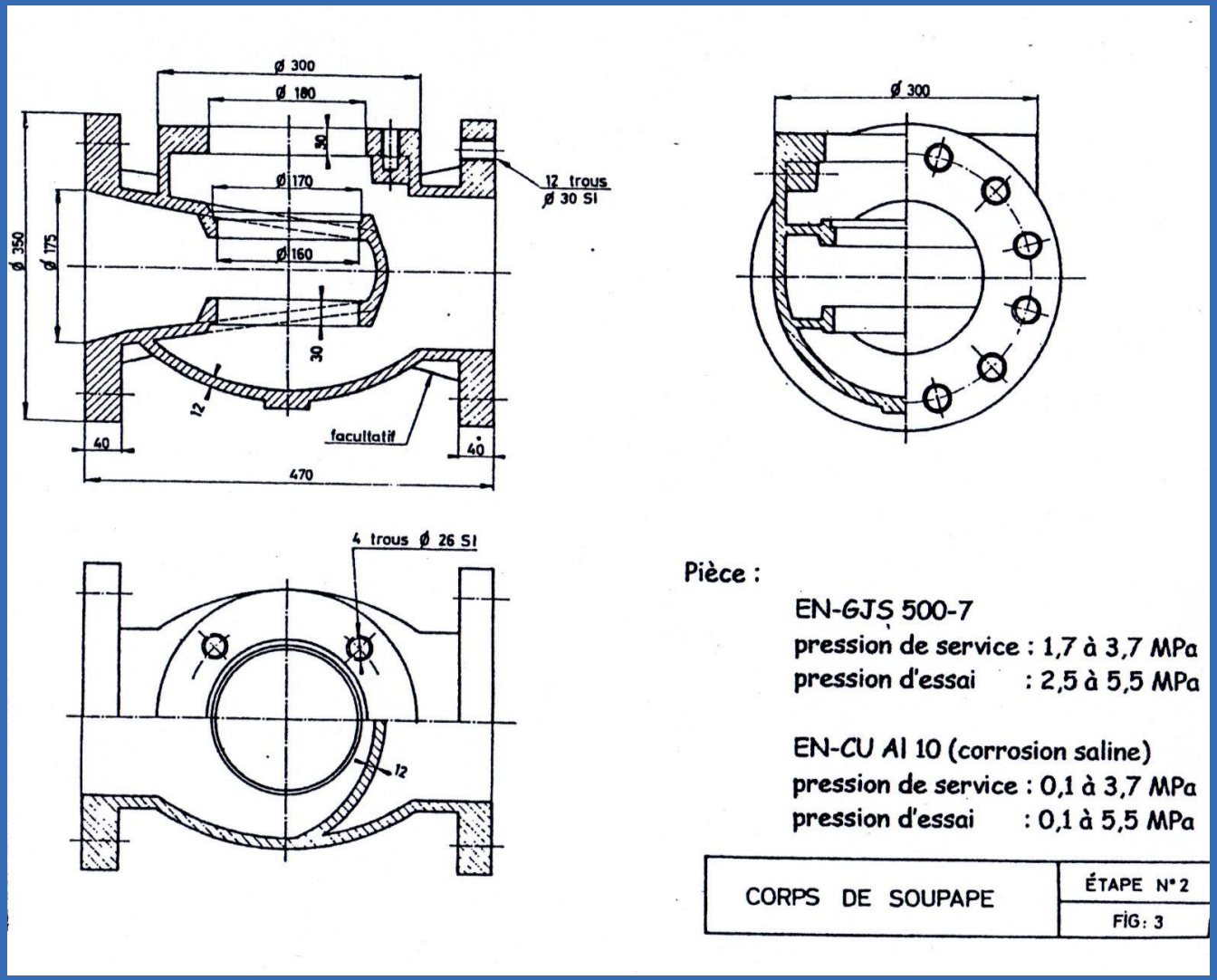
Pièce : EN-GJL 250

pression de service : 0,1 à 1,7 Mpa

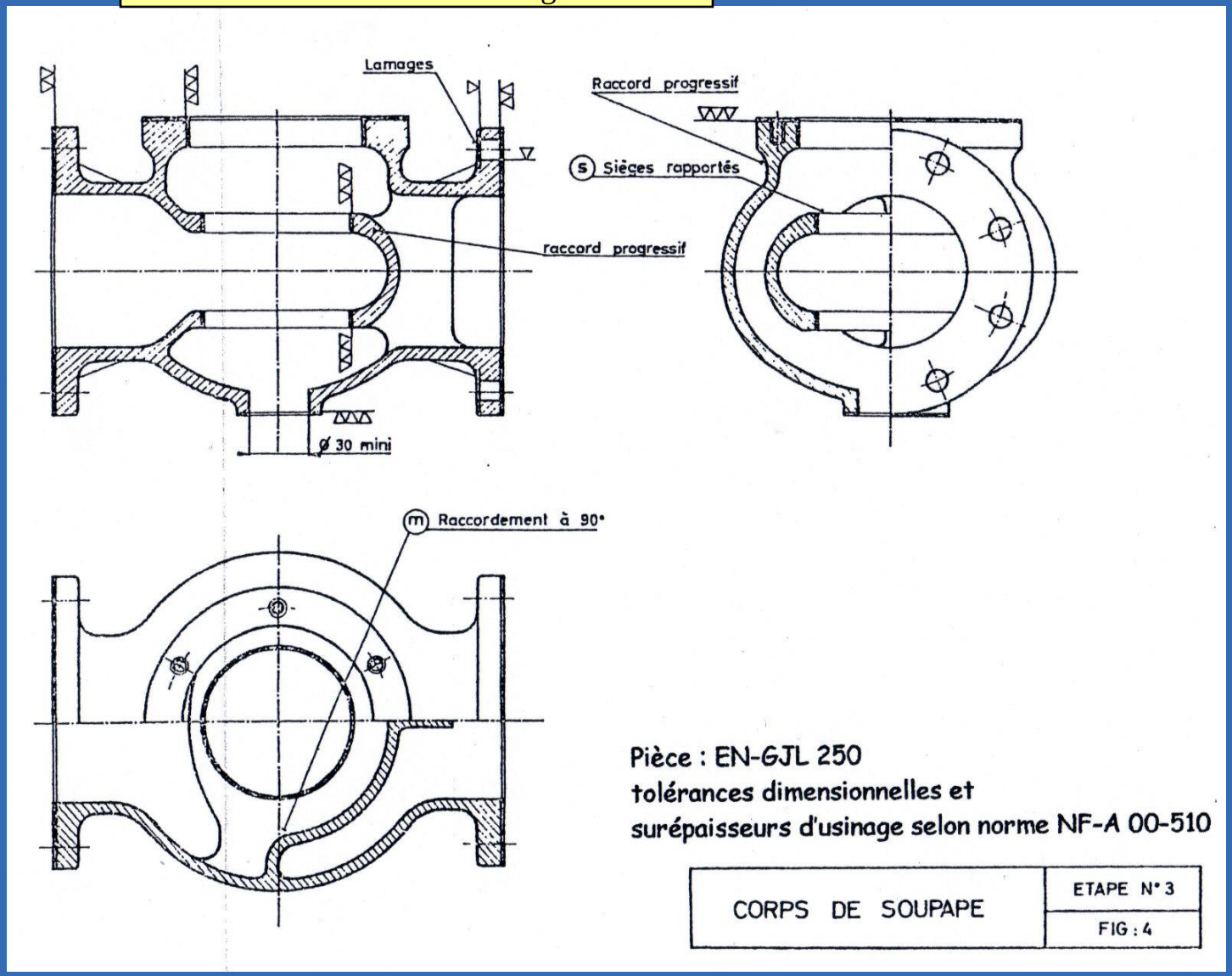
pression d'essai : 0,1 à 2,5 Mpa

CORPS DE SOUPAPE	ETAPE N° 2
	FIG : 2

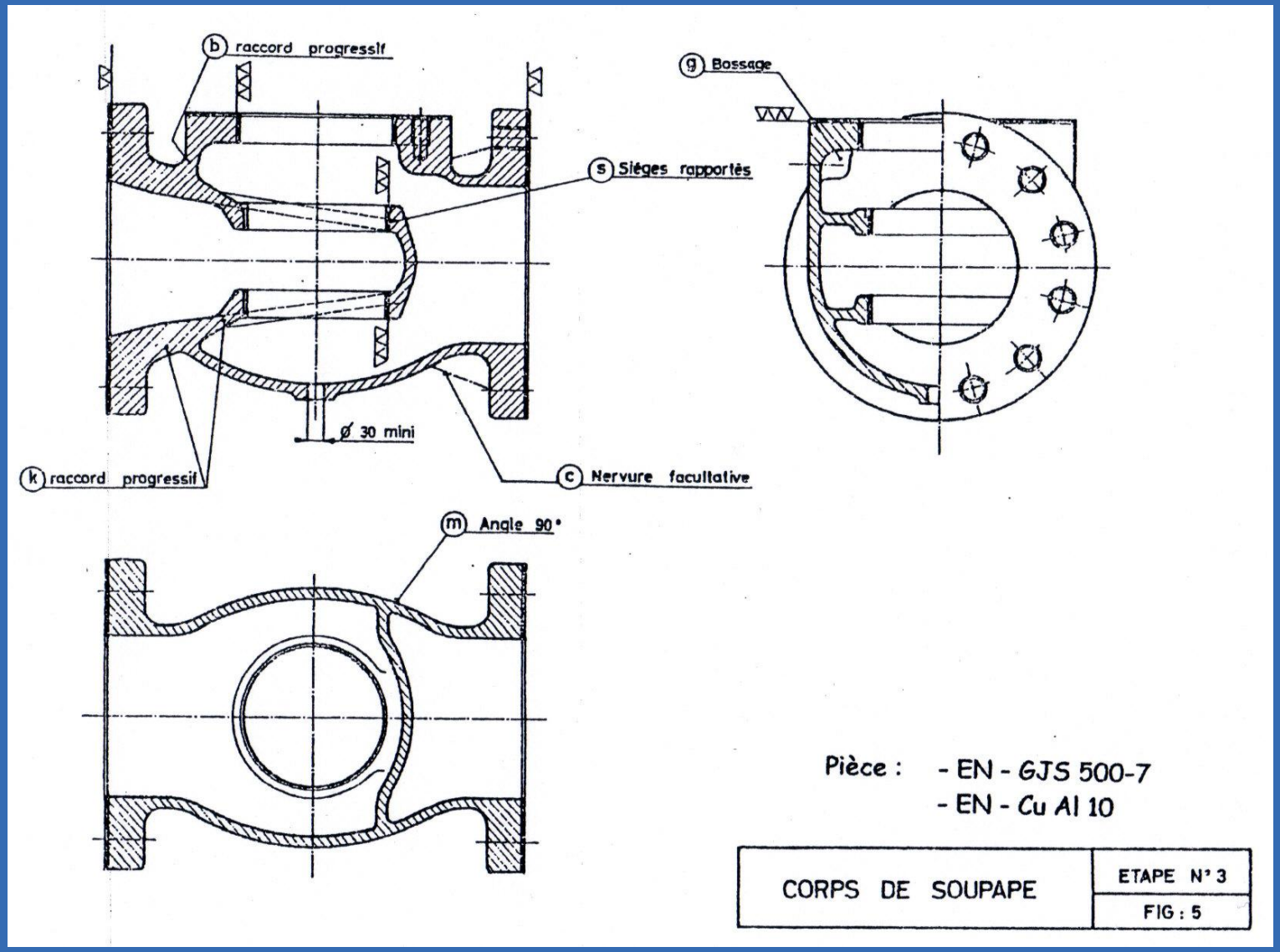
Phase 2: Répartition de la matière - EN-GJS 500-7



Phase 3: Définition du brut
Formes et dimensions figées

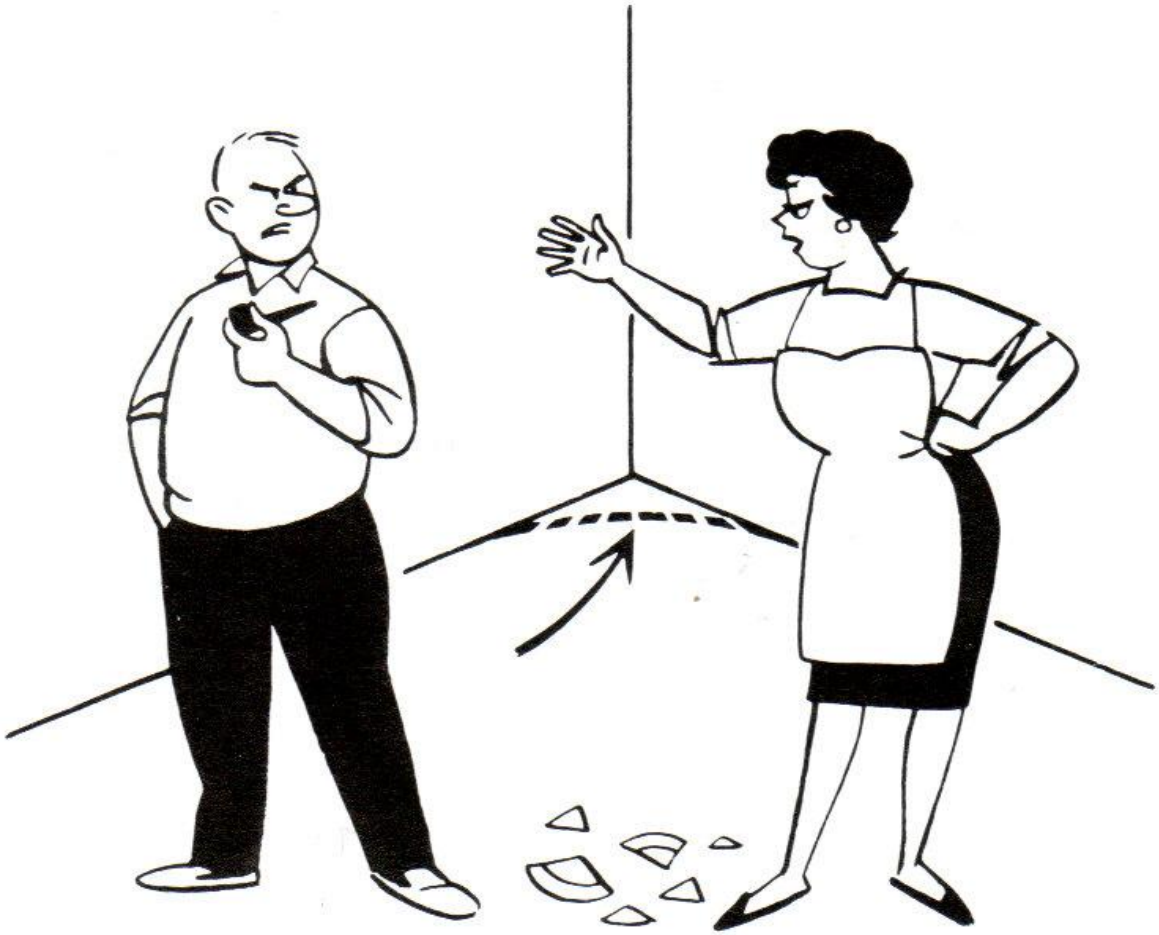


Phase 3: Définition du brut
Formes et dimensions figées

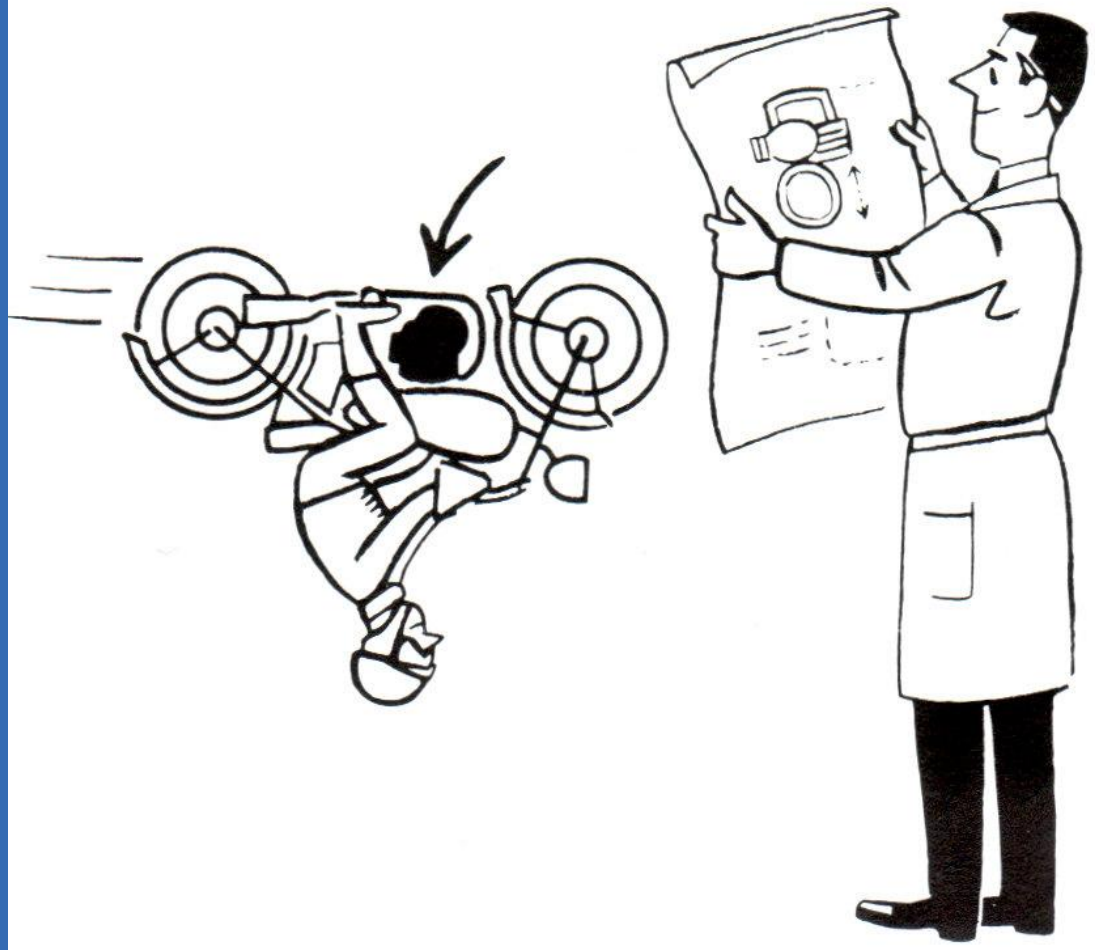


Pour être bien moulée, la pièce doit être d'épaisseur aussi régulière que possible.

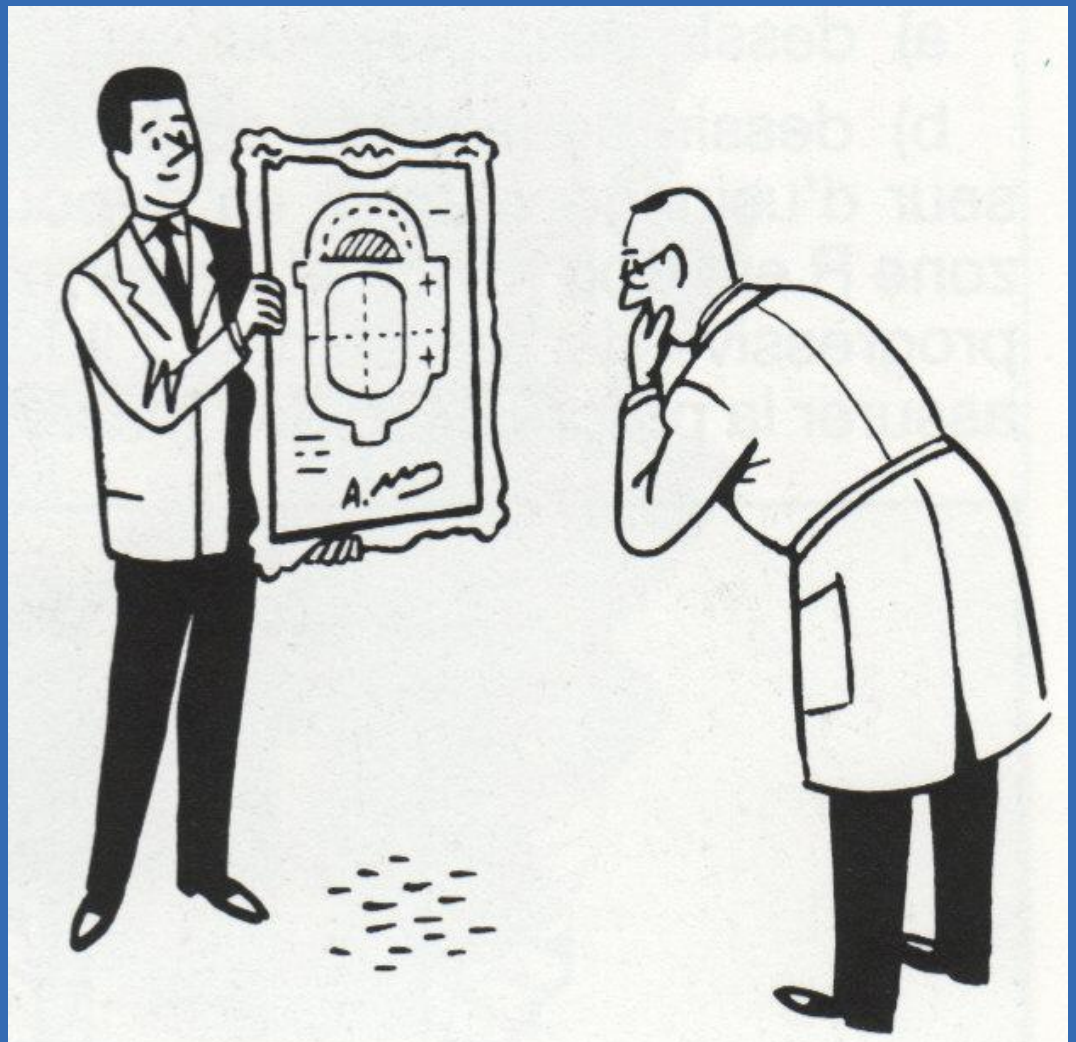
Une dépouille aussi grande que possible est souhaitable.



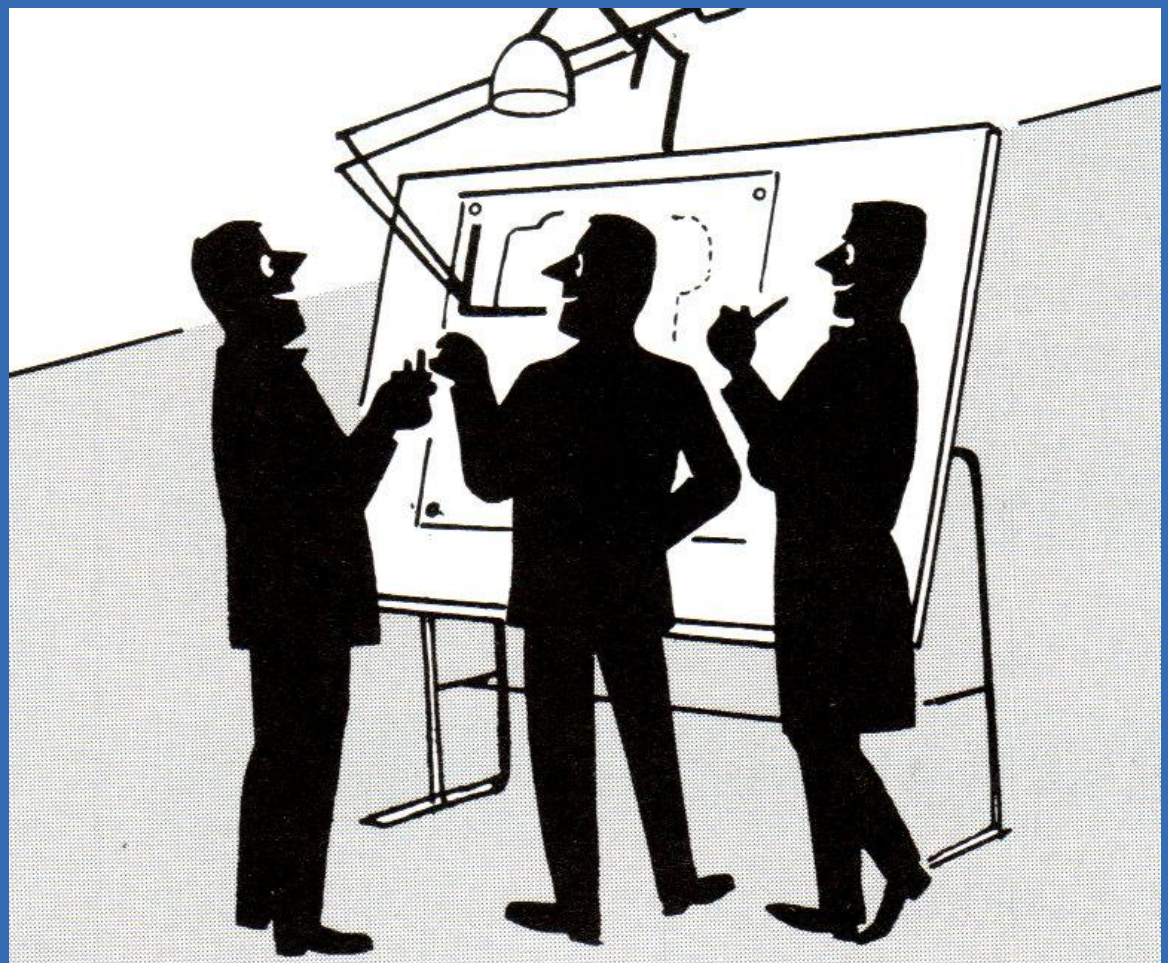
Pour le dessin des pièces moulées,
comme dans la vie courante,
il faut savoir arrondir les angles.



Le dessinateur doit imaginer le sens de moulage indépendamment du sens de fonctionnement de la pièce.



N'attendez pas que votre dessin soit fin pour consulter votre fondeur.



La réunion cordiale
autour du dessin de l'usineur et du fondeur
aboutit à la pièce la meilleure
au meilleur prix.