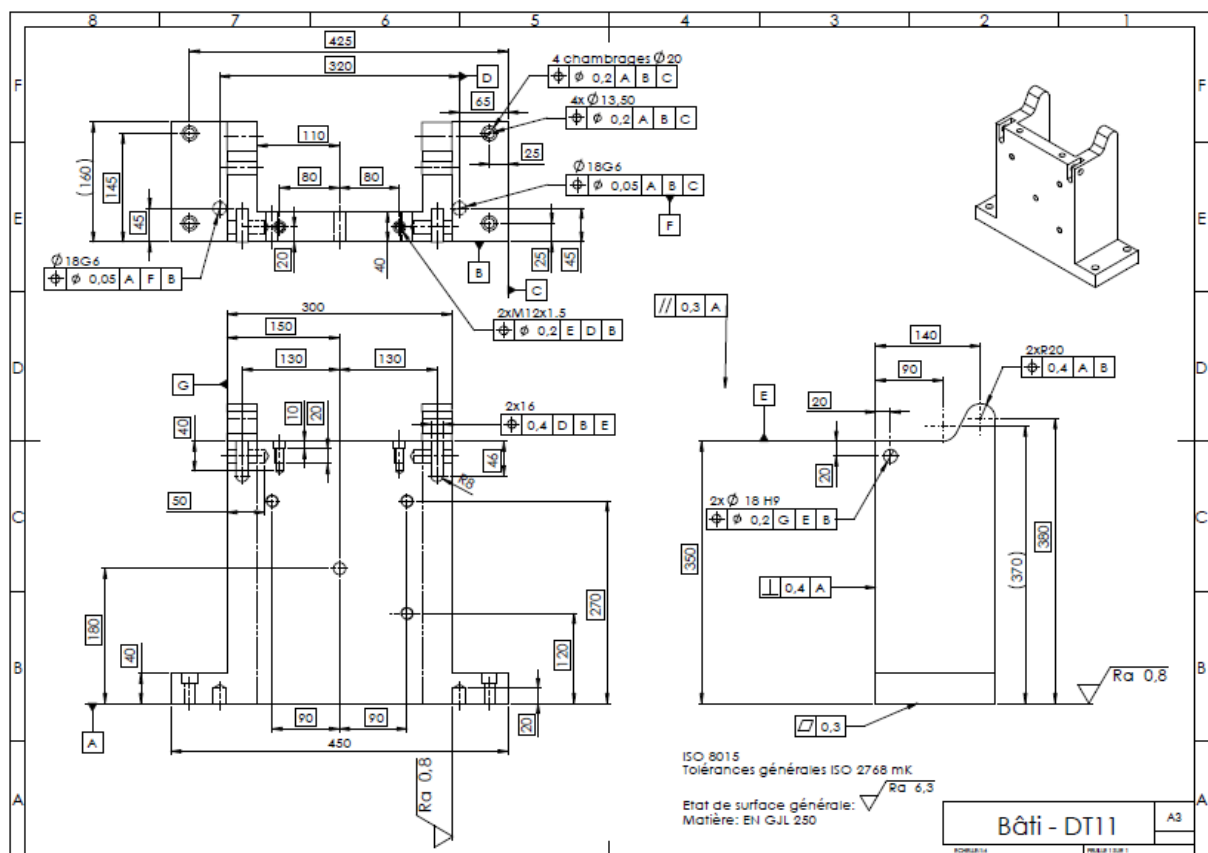




Tolérancement géométrique – états de surface – cotation fonctionnelle

J. LANDIER

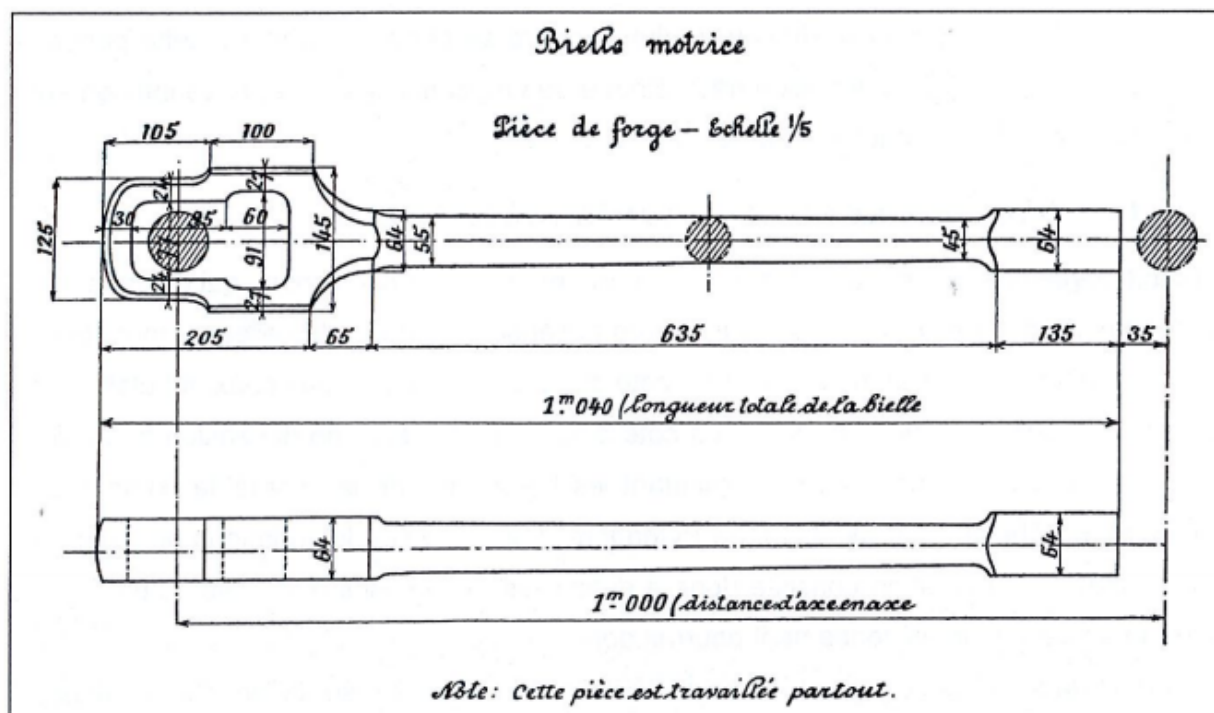
2^{ème} année
Semestre 3



Ce cours d'une durée de 2 heures, présente les différents outils permettant de décoder ou de définir la cotation d'une pièce en vue de sa réalisation dans le respect des normes en vigueur.

1- Introduction :

Le dessin technique ci-dessous est tiré d'un cours publié en 1918. Seules quelques cotes apparaissent.

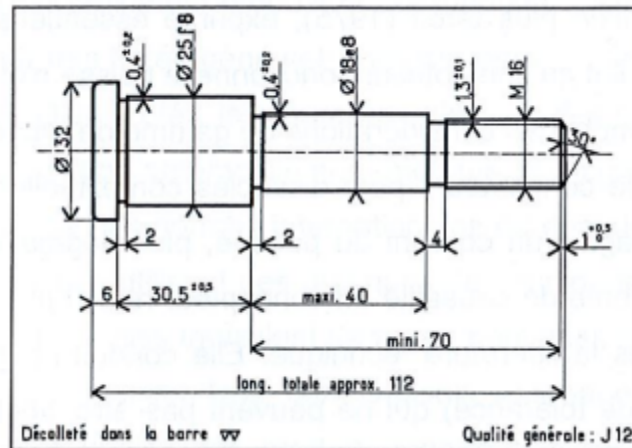


Cours de dessin industriel – Tome II – Technique du dessin industriel – André DUPUIS – Joanny LOMBARD – H. DUNOD et E. PINAT Editeurs - 1918

Ce dessin est destiné à un opérateur qui réalise la pièce. Celui-ci connaît ou réalise la fabrication des autres pièces du système de façon à en assurer la comptabilité. Les indications sont donc minimales. L'opérateur doit être qualifié et prendre en charge tout ce qui n'est pas spécifié. La qualité de la pièce et du mécanisme se trouve directement liée à la qualité de l'exécutant.

Au fur et à mesure du temps, l'industrie se structure autour de la sous-traitance. Il y a donc un partage des tâches.

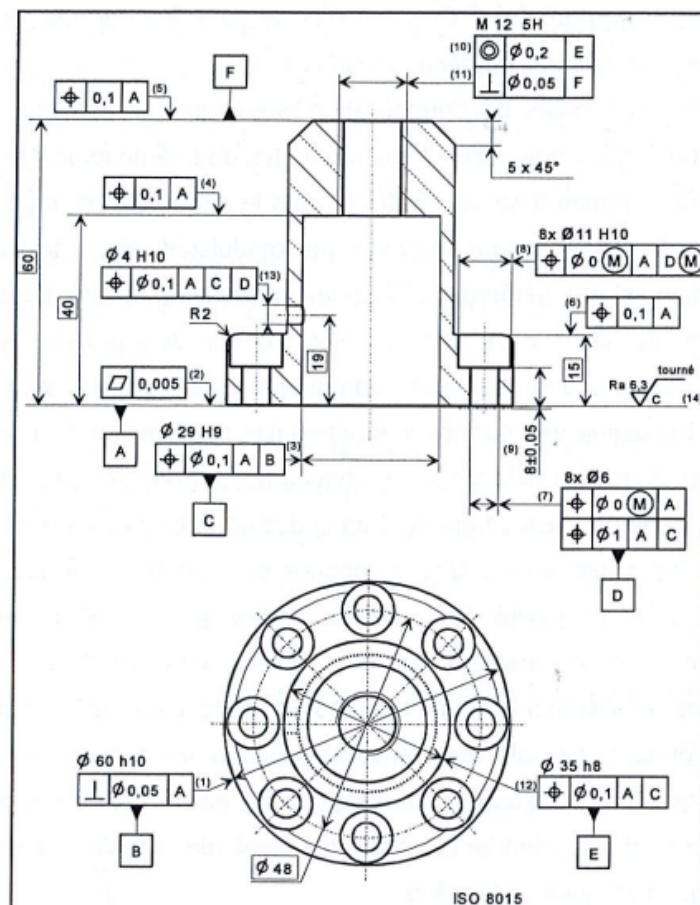
L'exécutant réalise la pièce ou une opération sans connaître le reste de la fabrication. La qualité dépend du concepteur et non du fabricant. La cotation est toujours dimensionnelle mais avec des tolérances. Le dessin de l'axe ci-après illustre cette évolution jusqu'au début des années 1990.



Principes de cotation fonctionnelle – G PETIT – Masson et Cie – 1967

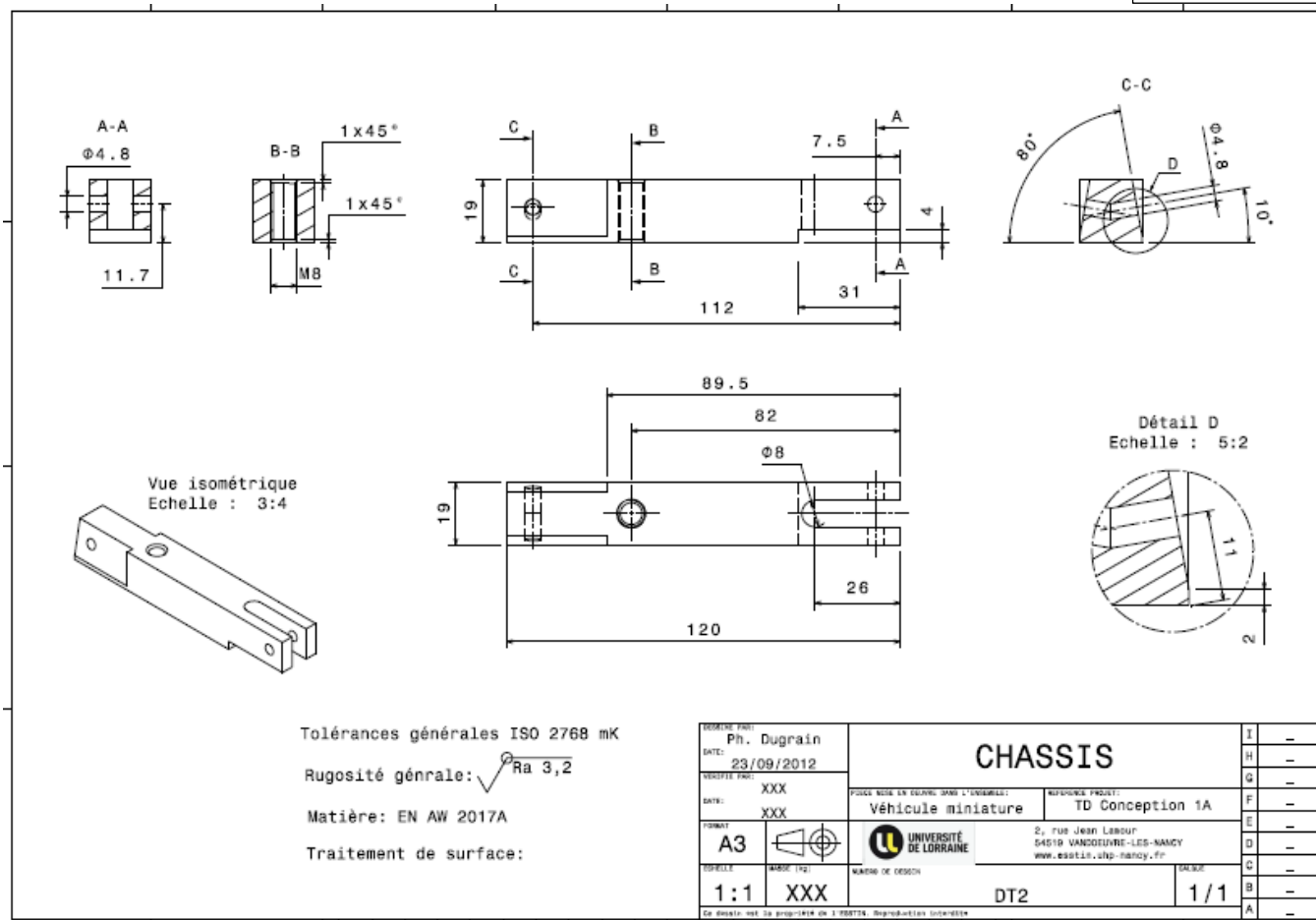
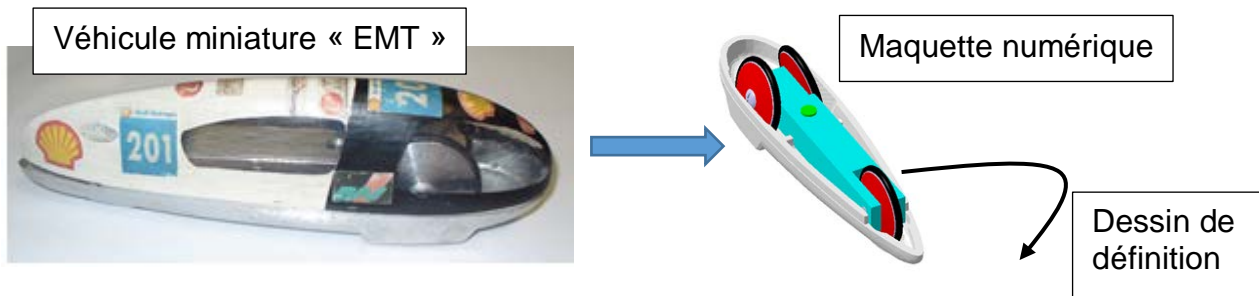
Par contre les paramètres géométriques (autres que les dimensions) ne sont pas tolérancés et sont laissés libres. Une des raisons est que les outils et méthodes ne sont pas encore disponibles. L'opérateur utilise son savoir-faire pour réaliser la pièce avec un tolérancement géométrique implicite.

A partir des années 90, l'évolution des normes favorise l'utilisation du tolérancement géométrique. Les grandes entreprises sont moteurs et poussent les sous-traitants à appliquer les normes. Le dessin du couvercle ci-dessous est représentatif des dessins de définitions actuels.



Couvercle de détenteur haute pression – 2000

2- Rappel 1A – S1 TD3 : Dessin de définition



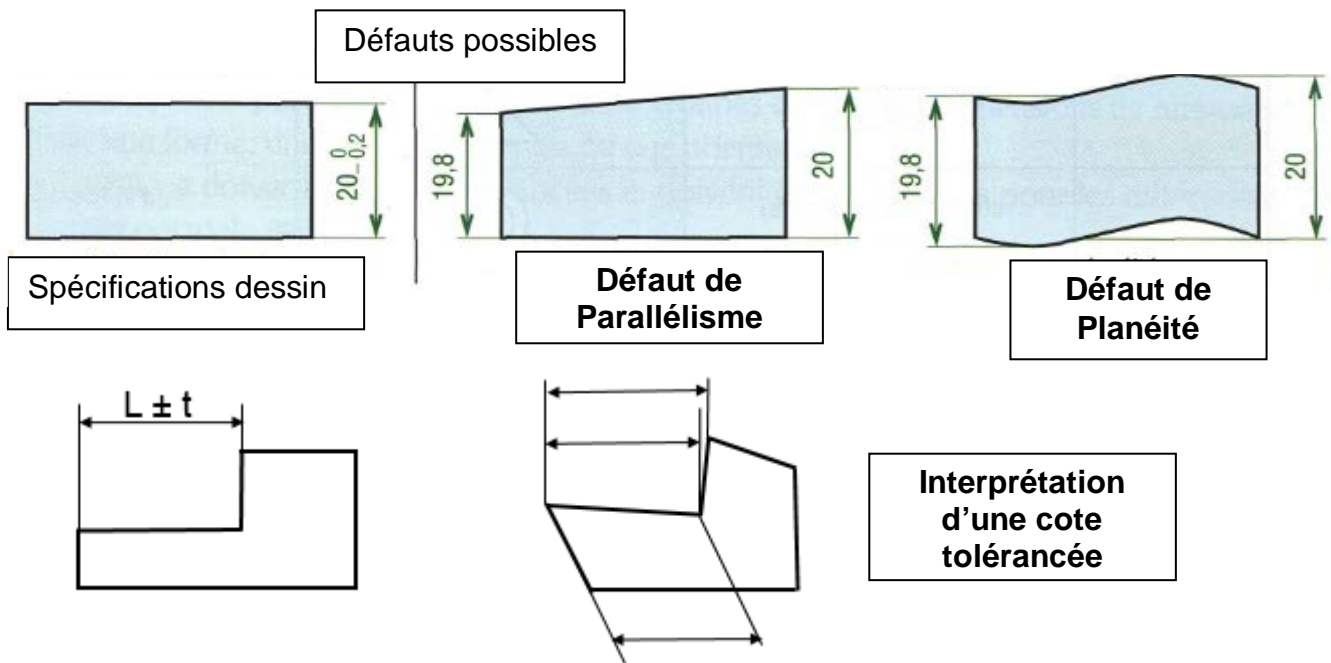
Un dessin de définition comporte la géométrie de la pièce mais aussi toutes les indications nécessaires à la réalisation :

- Les cotes tolérancées (voir cours 1A)
- Les spécifications géométriques de surfaces,
- Le matériau,
- Les états de surface,
- Les traitements thermiques (éventuel).

3- Les tolérances géométriques : (NF EN ISO 1101, ISO 8015 ...)

3-1 Présentation

Les tolérances dimensionnelles usuelles (ajustements...) ne suffisent pas toujours pour définir rigoureusement la forme géométrique d'un objet. Malgré la cotation tolérancée des dimensions, des défauts géométriques nuisibles au fonctionnement et à l'assemblage sont toujours possibles.



Les tolérances géométriques (normes internationales) permettent de corriger ces défauts et précisent les variations permises. Elles sont toujours restrictives par rapport aux tolérances dimensionnelles. Leur emploi ne doit pas être systématique. Un excès de spécifications amène un surcoût inutile. Les tolérances retenues doivent rester aussi larges que possible.

type de tolérances	cas	symbole (ISO)
tolérances de forme	rectitude	—
	planéité	▱
	circularité	○
	cylindricité	⊘
	profil d'une ligne	⌒
	profil d'une surface	⌒

sans élément de référence

type de tolérances	cas	symbole (ISO)
tolérances d'orientation	parallélisme	∥
	perpendicularité	⊥
	inclinaison	∠
tolérances de position	concentricité (centres) coaxialité (axes)	⊙
	symétrie	≡
	localisation	⊕
tolérances de battement	battement circulaire	↗
	battement total	↗↘

avec élément de référence

3-2 inscription des tolérances géométriques

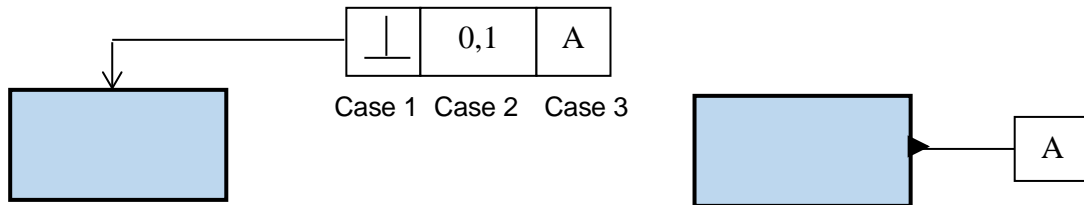
3-2-1 Inscription

Les tolérances s'inscrivent dans un cadre pouvant avoir jusqu'à 5 cases :

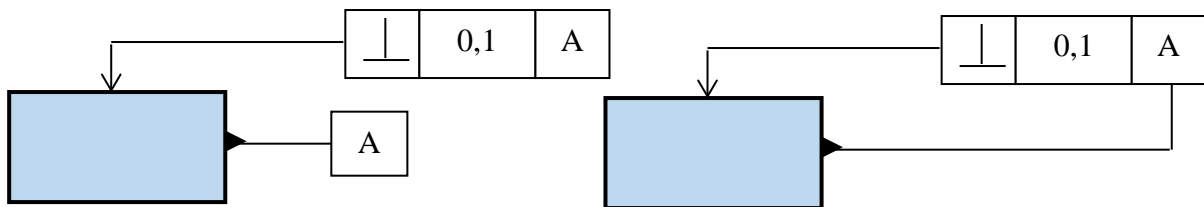
Case 1 : symbole de la tolérance

Case 2 : valeur de la tolérance en mm

Case 3,4,5 : lettre repère de l'éléments de référence.

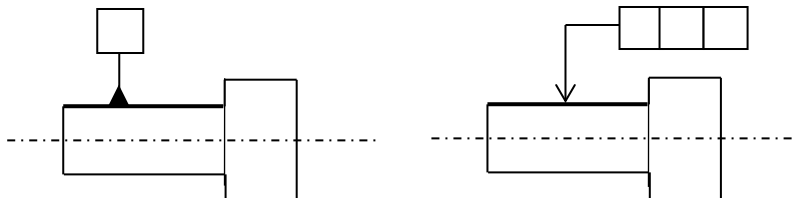


- La direction de la flèche donne la direction de la mesure.
- L'élément de référence se repère par une lettre majuscule.
- Lorsque l'élément de référence est proche du cadre d'inscription de la tolérance, il est possible de les relier directement. 2 écritures sont autorisées :

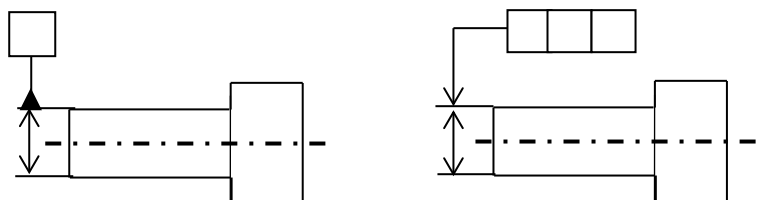


3-2-1 – Indication de l'élément

- Si le triangle ou la flèche se trouve sur l'élément ou sur une ligne de rappel, l'indication concerne l'élément lui – même.



- Si le triangle ou la flèche se trouve dans le prolongement d'une ligne de cote, l'indication concerne l'axe ou le plan médian de l'élément ainsi coté.

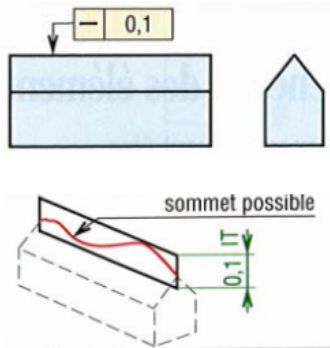
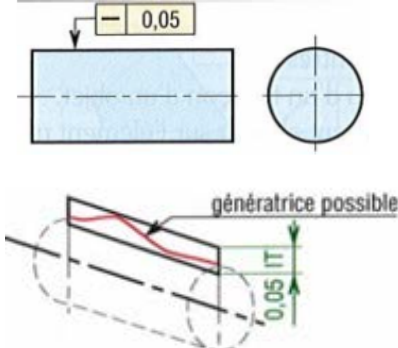
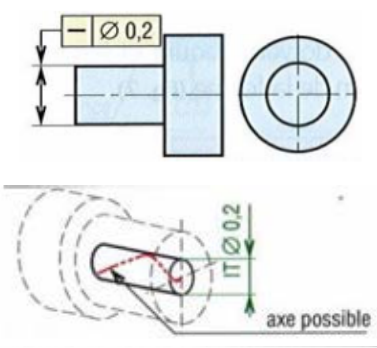


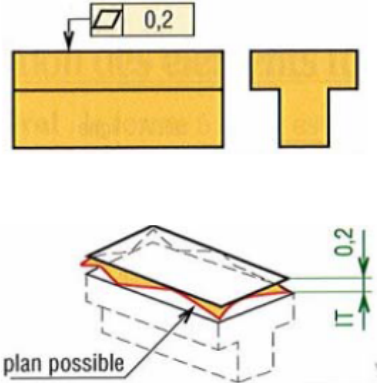
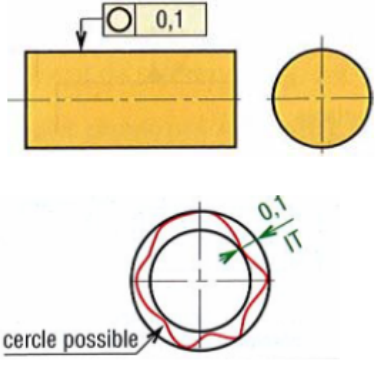
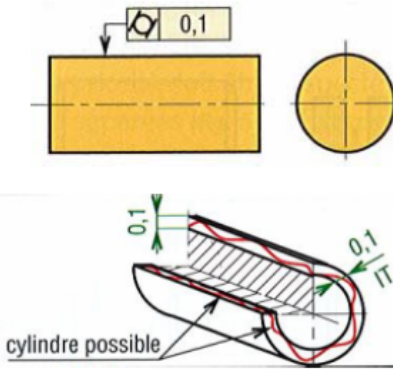
3-3 Différents types de tolérances



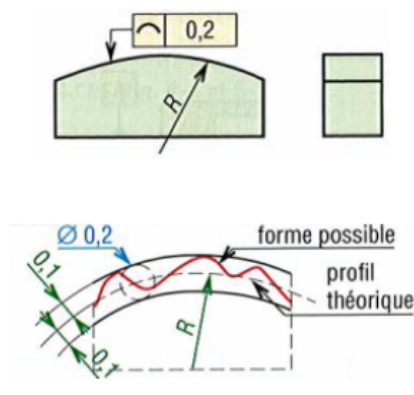
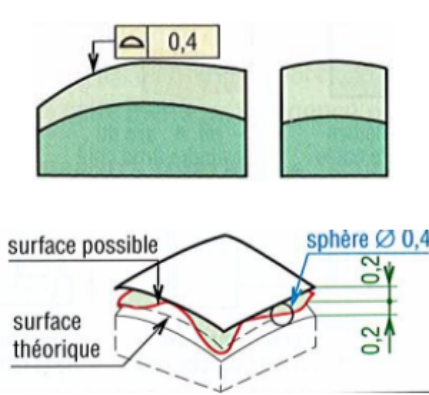
On distingue 4 types de tolérances :

- **Tolérances de forme,**
- **Tolérances d'orientation,**
- **Tolérances de position,**
- **Tolérances de battement.**


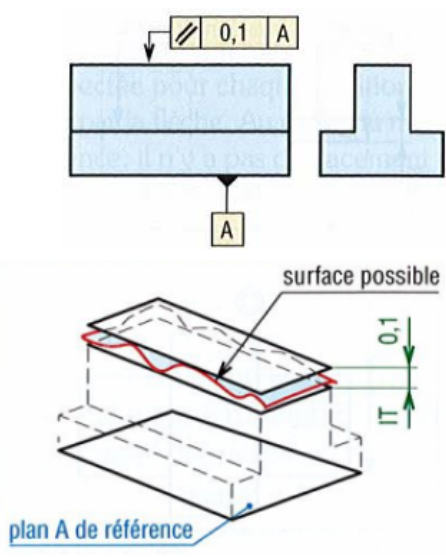
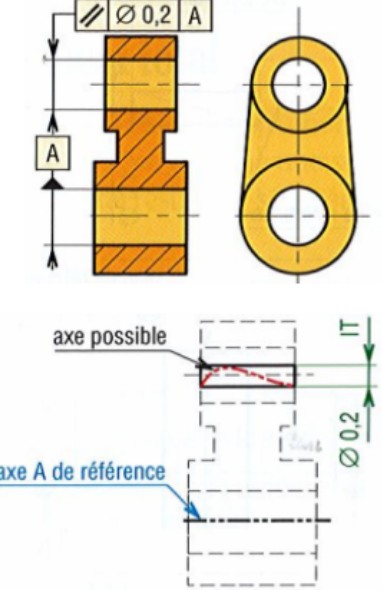
3-3-1 Tolérances de forme :

Rectitude —		
 <p>La ligne sommet doit rester entre 2 droites parallèles distantes de 0,1mm parallèles ou non aux autres parties de l'objet.</p>	 <p>Chaque génératrice du cylindre doit rester entre 2 droites // distantes de 0,05 // ou non à l'axe</p>	 <p>L'axe du cylindre doit être contenu dans une zone cylindrique de ϕ 0,2 coaxiale ou non à l'axe de la pièce</p>

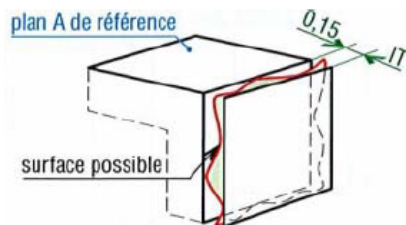
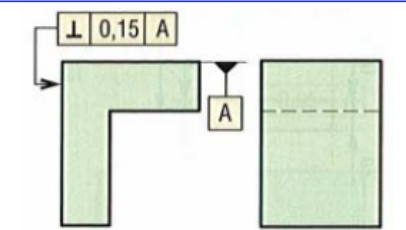
Planéité ▱	Circularité ○	Cylindricité ⌀
 <p>La surface de la pièce doit rester entre 2 plans parallèles distants de 0,2mm parallèles ou non autres parties de la pièce.</p>	 <p>Le profil de chaque section perpendiculaire à l'axe doit rester entre 2 cercles concentriques distants de 0,1mm centrés ou non sur l'axe.</p>	 <p>La périphérie du cylindre doit être contenue entre 2 cylindres coaxiaux distants de 0,1mm (englobe la rectitude et la circularité).</p>

Profil d'une ligne 	Surface quelconque 
 <p>Le profil de chaque ligne doit rester entre 2 lignes qui enveloppent des cercles de ϕ 0,2mm centrés sur le profil théorique spécifié.</p>	 <p>La surface de l'objet doit rester entre 2 surfaces qui enveloppent des sphères de ϕ 0,4mm centrées sur la surface théorique spécifiée.</p>

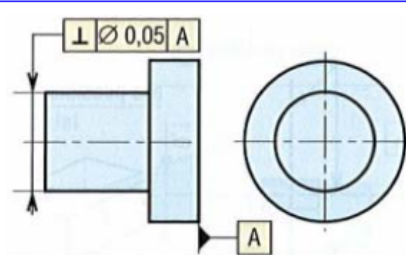
3-3-2 Tolérances d'orientation

Parallélisme 	
 <p>La surface supérieure doit rester entre 2 plans distants de 0,1mm et parallèles au plan de référence A.</p>	 <p>L'axe du trou supérieur doit être contenu dans un cylindre de ϕ 0,2mm d'axe parallèle à l'axe de référence A.</p>

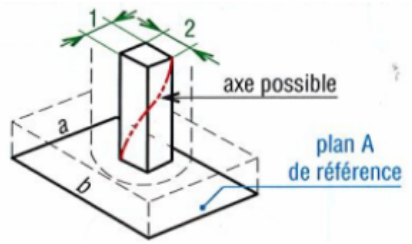
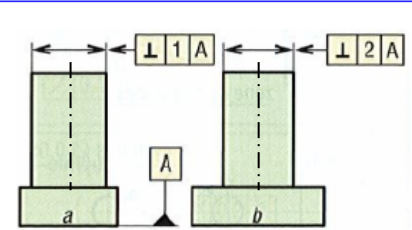
Perpendicularité \perp



La surface latérale gauche doit rester entre 2 plans parallèles distants de 0,15mm et perpendiculaires au plan de référence A.

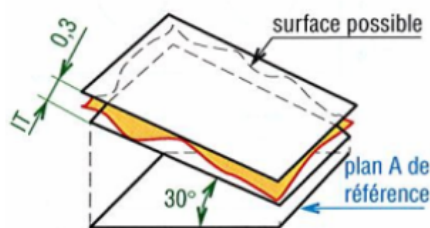
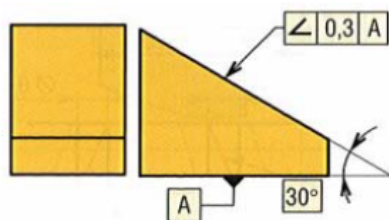


L'axe du cylindre à gauche doit être contenu dans une zone cylindrique de ϕ 0,5mm et d'axe perpendiculaire à A.

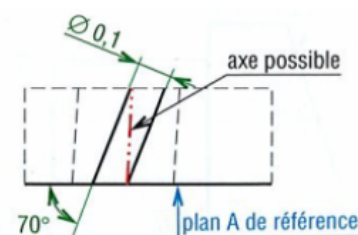
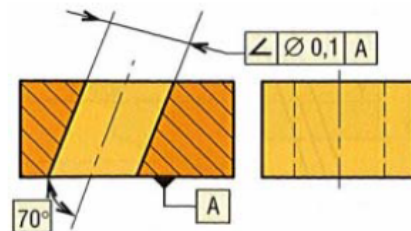


L'axe du cylindre doit être contenu dans une zone parallélépipédique (1x2) perpendiculaire au plan A ($a \times b$).

Inclinaison \angle



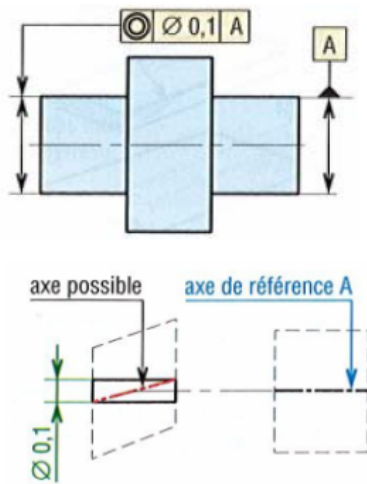
La surface doit rester entre 2 plans parallèles distants de 0,3mm et inclinés de 30° par rapport au plan de référence A.



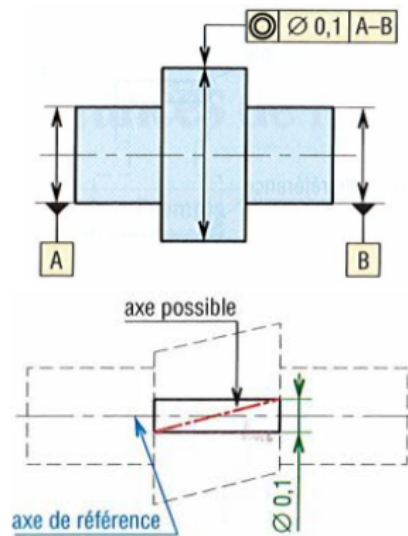
L'axe du trou doit être contenu dans une zone cylindrique de ϕ 0,1mm inclinée de 70° par rapport au plan A.

3-3-3 Tolérances de position

Concentricité et coaxialité

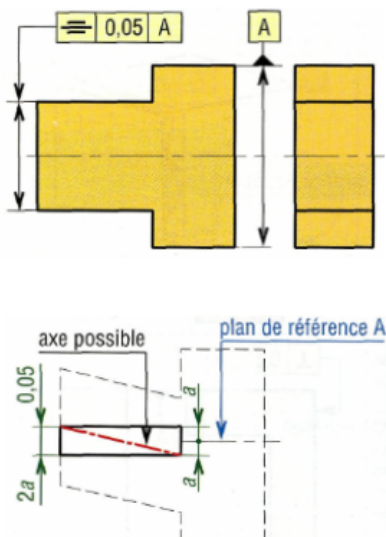


L'axe du cylindre à gauche doit être contenu dans une zone cylindrique de $\phi 0,1$ mm dont l'axe est celui du cylindre droit (A).

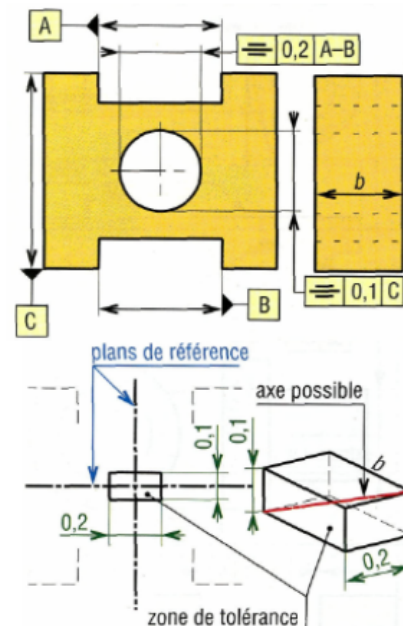


L'axe du cylindre au milieu doit être contenu dans une zone cylindrique de $\phi 0,1$ mm dont l'axe est celui des 2 autres cylindres.

Symétrie

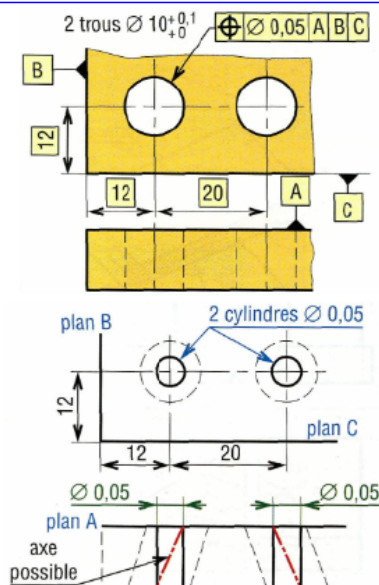


Le plan médian de la partie gauche doit rester entre 2 plans parallèles distants de 0,05 mm et disposés symétriquement par rapport au plan A médian de la partie droite.

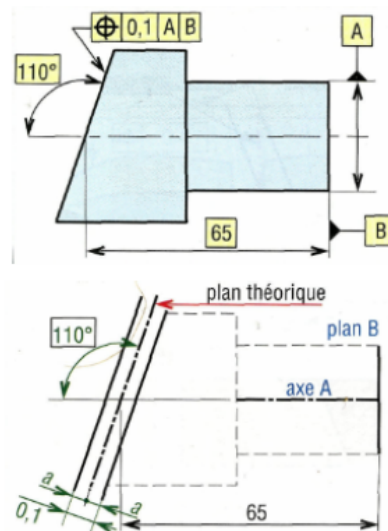


L'axe du trou doit être contenu dans un parallélépipède $0,2 \times 0,1$ d'épaisseur b , d'axe d'intersection des plans médians A-B et C.

Localisation



Les axes des trous doivent être contenus dans des cylindres de $\phi 0,05$ mm d'axes perpendiculaires à A et positionnés par les cotes encadrées.



La surface doit rester entre 2 plans parallèles distants de 0,1mm, inclinés de 110° par rapport à A symétriquement par rapport au plan théorique et distant de 65 par rapport à B.

Remarque : il existe d'autres tolérances non abordées ici (voir des ouvrages spécifiques)

3-4 Tolérances générales :

Tolérances générales ISO 2768 mK

Classe de précision	Usinage mm											
	Dimension linéaire					Angle cassé (chanfrein ou rayon)			Dimension angulaire (côté le plus court)			
	>0,5 à 3 inclus	>3 à 6	>6 à 30	>30 à 120	>120 à 400	>0,5 à 3 inclus	>3 à 6	>6	≤10	>10 à 50 inclus	>50 à 120	>120 à 400
f (fin)	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,2	± 0,5	± 1	± 1°	± 30'	± 20'	± 10'
m (moyen)	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,2	± 0,5	± 1	± 1°	± 30'	± 20'	± 10'
c (large)	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 0,4	± 1	± 2	± 1°30'	± 1°	± 30'	± 15'
v (très large)	—	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 0,4	± 1	± 2	± 3°	± 2°	± 1°	± 30'

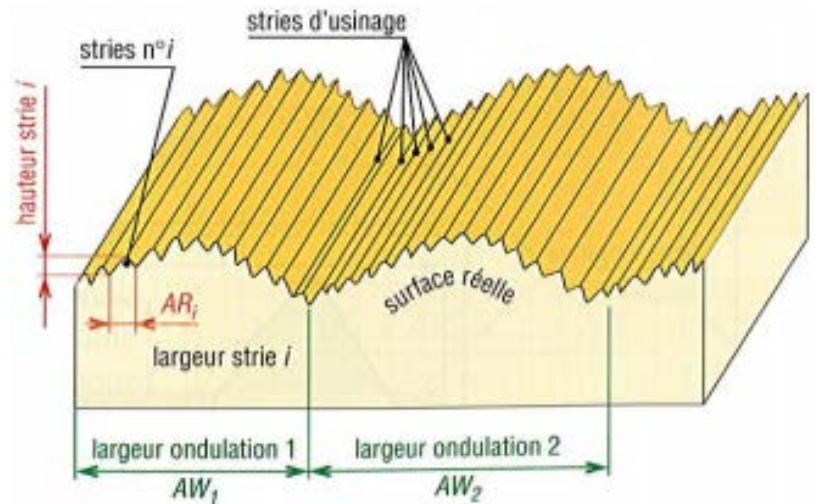
Classe de précision	Tolérances géométriques mm											
	Rectitude (—) - Planéité (□)					Perpendicularité (⊥)			Symétrie (≡)			Battement (/ ff)
	≤10	>10 à 30 inclus	>30 à 100	>100 à 300	>300 à 1000	≤100	>100 à 300	>300 à 1000	≤100	>100 à 300	>300 à 1000	—
H (fin)	0,02	0,06	0,1	0,2	0,3	0,2	0,3	0,4	0,5	0,5	0,5	0,1
K (moyen)	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,4	0,6	0,8	0,6	0,6	0,8	0,2
L (large)	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	0,6	1	1,5	0,6	1	1,5	0,5

4. États de surface (NF EN ISO 4287 – NF EN ISO 1302 – NF ISO 12085)

4.1 Principaux défauts de surfaces

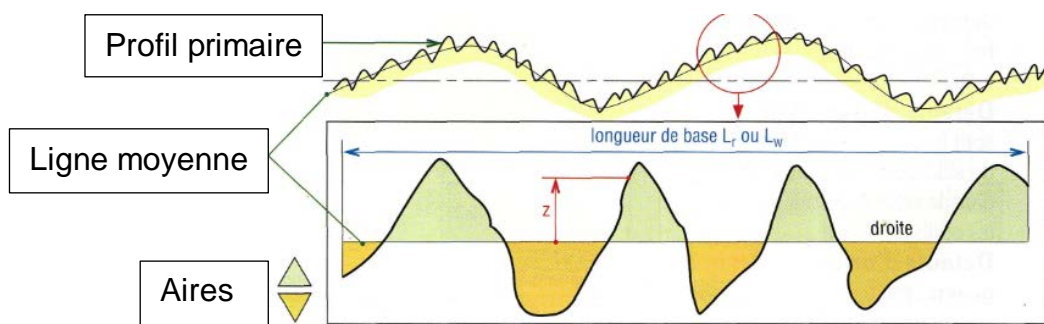
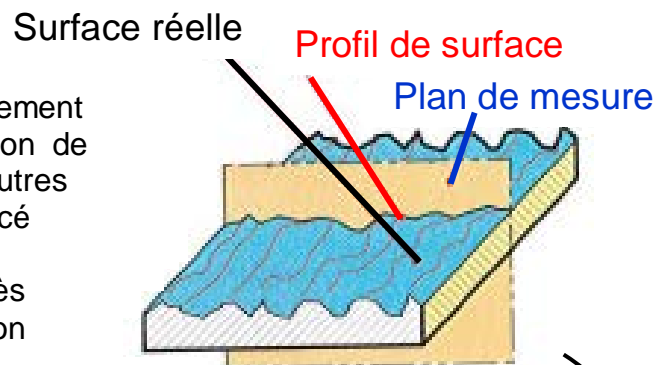
On distingue 4 catégories (du plus petit au plus grand) de défauts sur la surface d'une pièce :

- Ordre 1 : planéité, rectitude, circularité ...
- Ordre 2 : ondulations (liées aux vibrations, déformations des machines)
- Ordre 3 : stries de rugosité par les outils de coupe
- Ordre 4 : accidentels (arrachements, fentes ...)



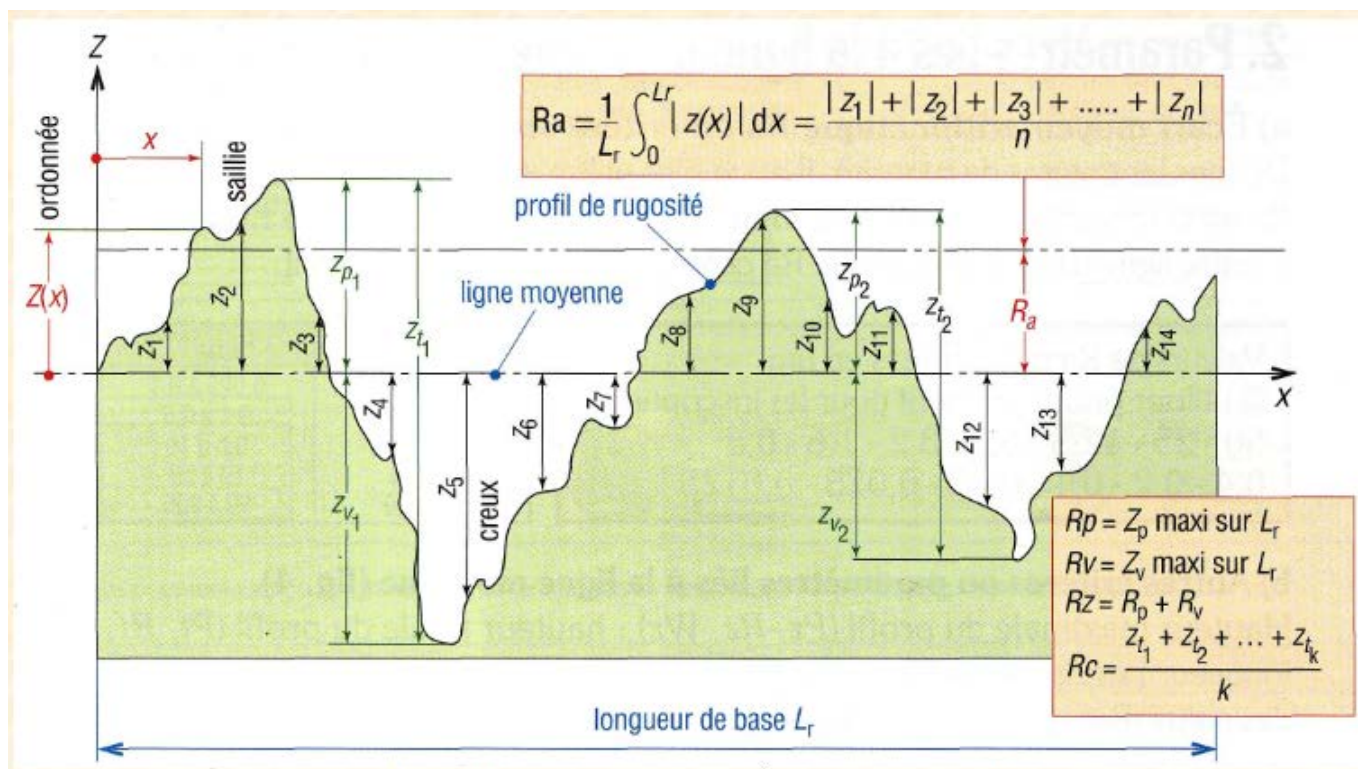
4.2 Définitions – terminologie et principaux paramètres normalisés

- **Surface réelle** : elle correspond à la surface obtenue après fabrication de l'objet.
- **Profil de surface** : il peut être considéré comme une tranche plane très mince judicieusement découpée dans la surface, suivant la direction de mesurage. Il sert de base pour définir les autres profils. Le centre du palpeur donne un profil tracé numérisé en profil total.
- **Profil primaire** : issu du profil de surface après mesure et filtrage, il sert de base à l'évaluation des paramètres du profil primaire (symbole P).



A partir de ce profil, il est possible de définir différents paramètres de rugosité (μm) :

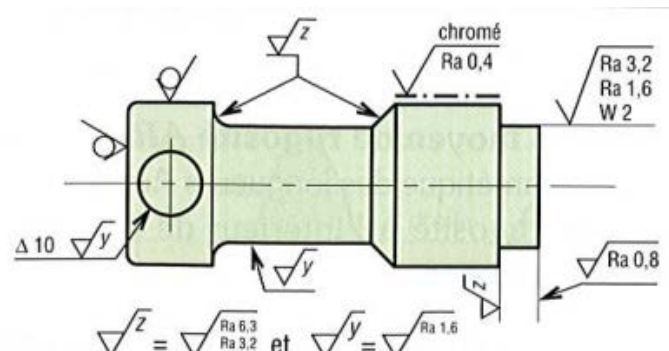
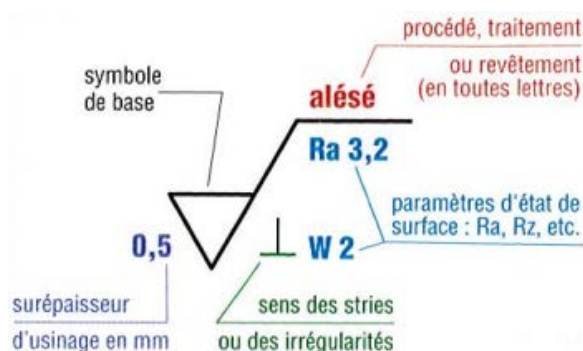
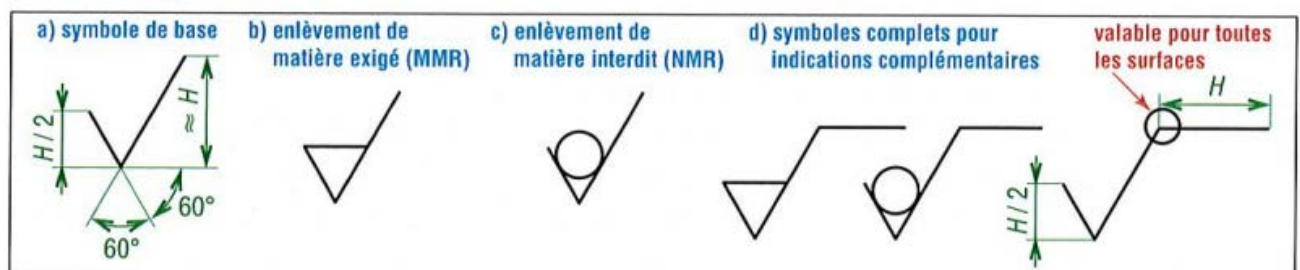
- R_p : hauteur maxi saillies
- R_v : hauteur maxi des creux
- R_z : hauteur maxi du profil = $R_p + R_v$
- R_c : hauteur moyenne
- R_a : écart moyen arithmétique des valeurs absolues des $z(x)$



4.3 Inscription normalisée (NF EN ISO 1302)

Le symbole de base (en forme de V dissymétrique) est employé dans le cas général et ne préjuge d'aucun procédé de fabrication. Si un enlèvement de matière est nécessaire (usinage, etc.), une barre est ajoutée au symbole de base. Si l'enlèvement de matière est proscrit la barre est remplacée par un cercle.

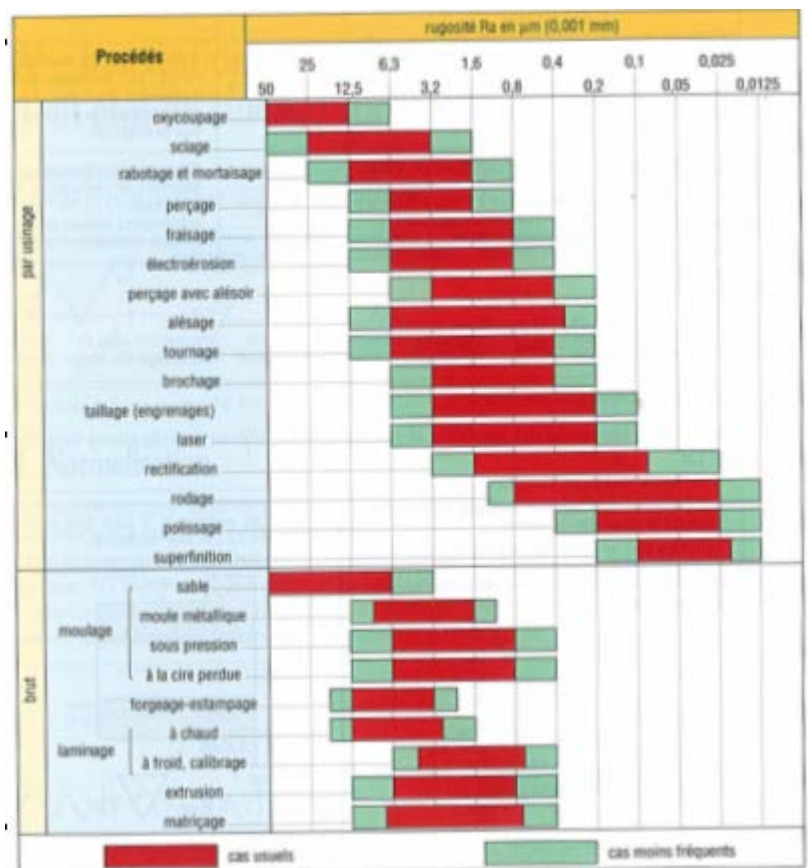
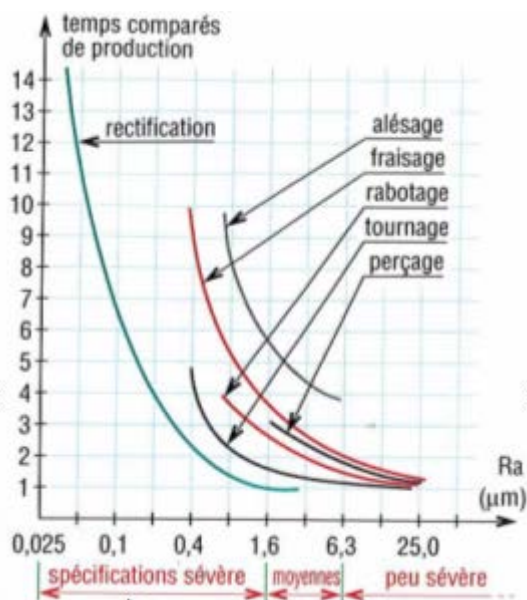
L'écart moyen arithmétique Ra , indiqué en haut, est le critère de base généralement retenu pour la spécification des états de surface.



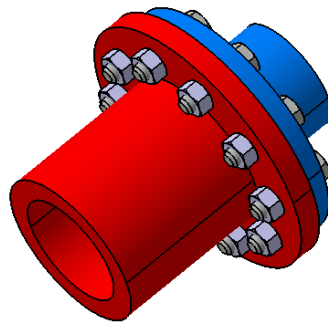
La figure ci-dessous présente les rugosités que l'on peut attendre des principaux procédés de production.

Remarques :

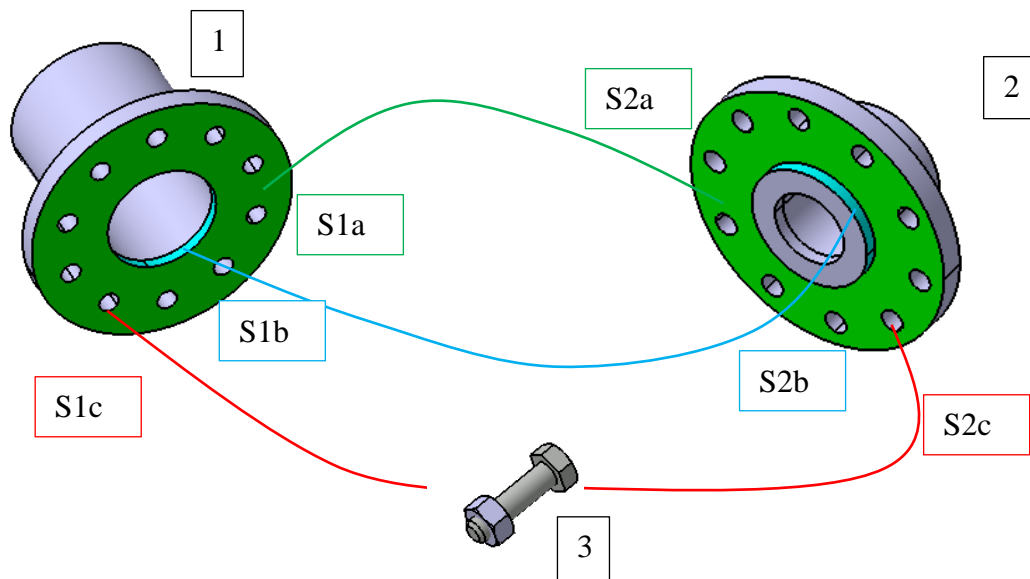
- $Ra > 6,3$: spécifications peu sévères, correspondant à ce qu'il est possible d'obtenir avec un grand nombre de pièces brutes, sans usinage complémentaire. 6,3 : fini grossier ; 25 : rugueux.
- $1,6 \leq Ra \leq 6,3$: spécifications moyennes, correspondent à ce qu'il est possible d'obtenir usuellement avec les procédés d'usinages classiques.
- $Ra < 1,6$: spécifications devenant sévères, l'utilisation de ces valeurs doit être faite avec réflexion et concertation car les temps de production et les prix de revient augmentent très rapidement à partir de ce cas. 0,4 : fini très fin ; 0,0125 : extra-fin.



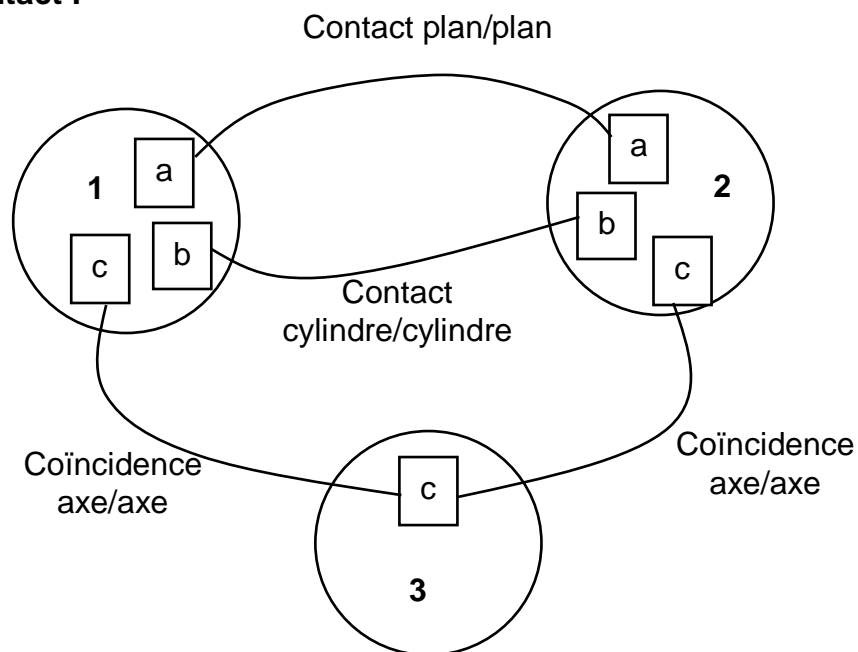
5. Exemple de cotation : assemblage des 2 brides



Graphe de contact / surfaces fonctionnelles:



Graphe de contact :



Conditions d'assemblage:

Bride 1 :

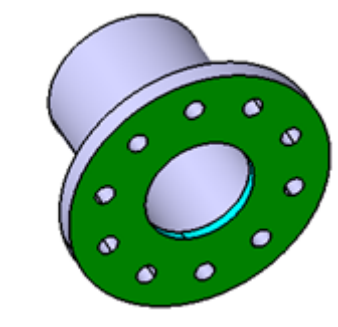
- La surface S1a doit être perpendiculaire à la surface S1b
- La surface S1a doit respecter une condition de planéité.
- La surface S1b doit respecter une condition dimensionnelle (ajustement avec S2b)
- L'axe de S1c doit respecter une condition positionnement par rapport à l'axe de la bride

Bride 2 :

- La surface S2a doit être perpendiculaire à la surface S2b
- La surface S2a doit respecter une condition de planéité.
- La surface S2b doit respecter une condition dimensionnelle (ajustement avec S1b)
- L'axe de S2c doit respecter une condition de positionnement par rapport à l'axe de la bride

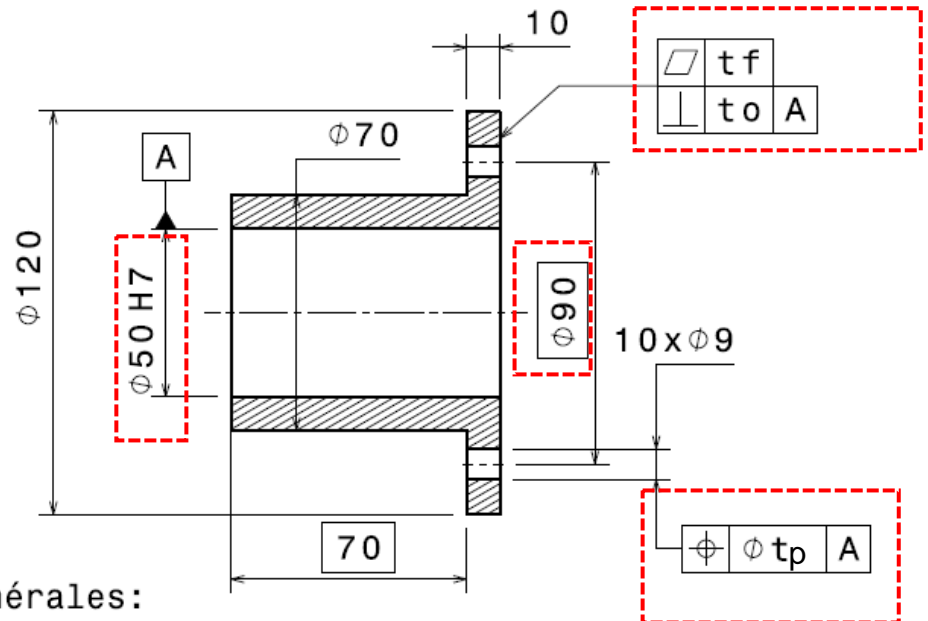
Cotation des pièces

Bride 1

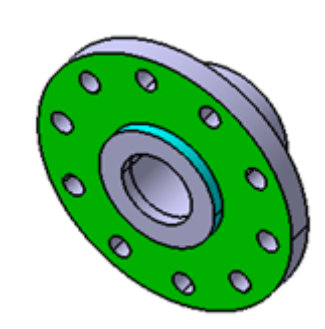


Matière: C40

Tolérances générales:
ISO 2768 mK



Bride 2



Matière: C40

Tolérances générales:
ISO 2768 mK

