

Spécification Géométrique des Produits (GPS) : Tolérancement dimensionnel et géométrique ISO

Support de formation

Eric Pairel,

Enseignant-chercheur à Polytech'Annecy-Chambéry

Université de Savoie

Juin 2005



Table des matières

• I. Principe de base et tolérancement dimensionnel	
– Spécification géométrique des produits	1
– Le principe d'indépendance	9
– Le tolérancement dimensionnel	10
– Tolérances générales	29
– Définition des notions de «dimension locales réelles» et d'«axe réel»	36
– Structure des normes GPS	41
• II. Tolérancement géométrique : Notions de base	
– Généralités et règles d'écriture	1
– Tolérances de forme	10
– Tolérances d'orientation	12
– Tolérances de position	18
– Quelques conseils de cotation	27
– Tolérancement de la «forme+position» : Battement	28

Table des matières

• III. Tolérancement géométrique : Notions avancées	
– Étendue de la zone de tolérance	1
– Localisation d'un groupe d'éléments	6
– Références et systèmes de références	19
– Tolérancement des lignes et des surfaces de formes quelconques	45
– Tolérancement des cônes	52
– Tolérancement des pièces non rigides	60
– Exigence du maximum de matière	64

Spécification Géométrique des Produits (GPS)

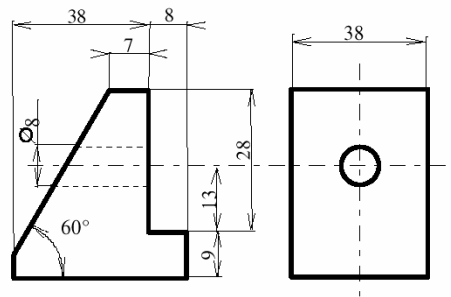
Introduction

ISO/TR14638:1995, Geometrical product specification (GPS) -- Masterplan

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

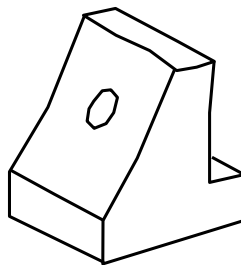
Contexte général

Un mécanisme idéal nécessiterait des pièces s'ajustant parfaitement, et donc ayant des formes parfaites : Plan parfait, cylindre de révolution parfait, ...



Pièce parfaite
(Définie par un dessin)

Les pièces fabriquées ne sont jamais parfaites :



Pièce réelle
(Fabriquée)

Il est donc nécessaire de définir l'ensemble des géométries réelles acceptables du point de vue fonctionnel :
C'est l'objectif de la **Spécification Géométrique des Produits (GPS)**.

Spécification géométrique des produits (GPS)

Introduction du rapport ISO/TR14638:1995 «GPS -- Schéma directeur» :

La spécification géométrique des produits, symbolisée GPS, consiste à définir, au travers d'un dessin de définition :

- *La forme, les dimensions et les caractéristiques de surface d'une pièce qui en assure un fonctionnement optimal,*

Définition de géométrie optimale : Dimensionnement + états de surface

- *ainsi que les dispersions autour de cet optimal pour laquelle la fonction est toujours satisfaite.*

Définition des tolérances : Tolérancement

Cotation = Dimensionnement + Tolérancement

En fait il est important de bien séparer les deux opérations :

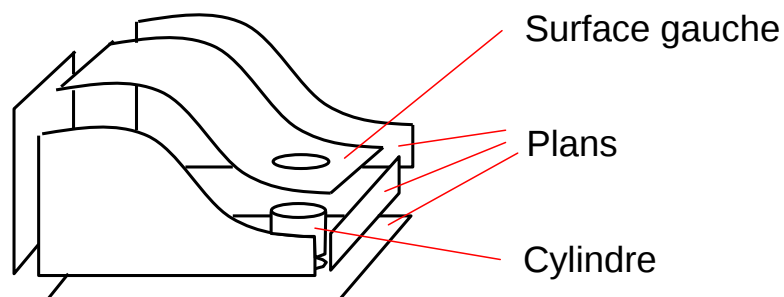
- 1^{er}ement, définition de la géométrie idéale/optimal : **Dimensionnement**
- 2^èement, définition des écarts géométriques autorisés autour de l'optimal : **Tolérancement**

Le terme «cotation» n'a pas d'équivalent anglophone.

En anglais, on parle du «Dimensionning and Tolerancing» (D&T).

Modélisation de la géométrie d'une pièce

La pièce doit être considérée comme étant constituée d'un **ensemble de surfaces élémentaires** :



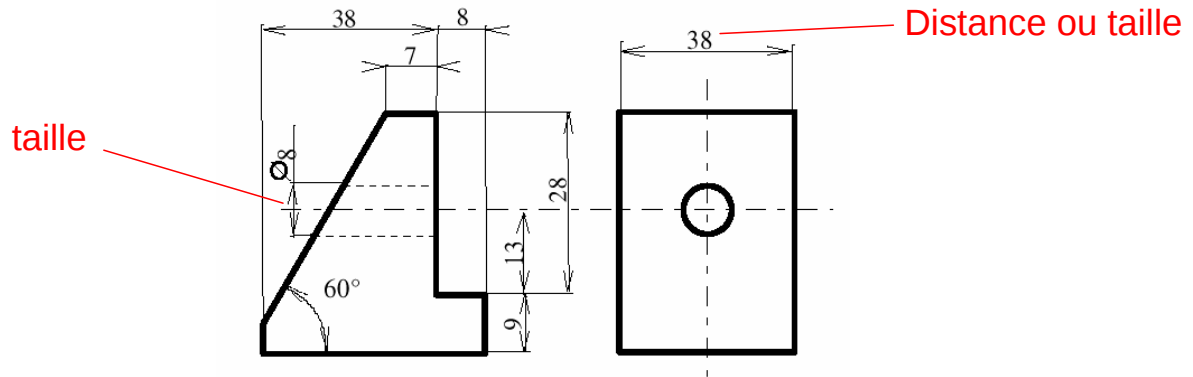
Dimensionnement : Définir, par un dessin 2D ou un modèle CAO 3D, la **forme**, la **taille** et la **position** par rapport aux autres surfaces, de chacune des surfaces élémentaires de la pièce.

Tolérancement : Définir, par des tolérances, les écarts maximaux que peuvent avoir les surfaces réelles par rapport aux surfaces parfaites.

Dimensionnement : Définition du nominal

La géométrie nominale est définie par un dessin qui fait apparaître :

- la forme des surfaces qui compose la «peau» de la pièce,
- 2 types de cotes :
 - Les cotes de *taille* des surfaces élémentaires ($\varnothing$ cylindre, sphère, angle d'un cône)
 - Les cotes de distances ou d'angles entre les surfaces élémentaires :

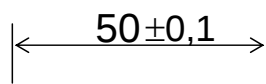


- Certains paramètres de distances et d'angles entre les surfaces sont implicites sur le dessin : Perpendicularité, parallélisme, distances nulles...
- Les traits d'axe participent à la définition du nominal.

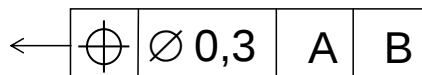
Tolérancement : Limitation des écarts géométriques

Il existe 2 «outils» de tolérancement normalisés :

- Le **tolérancement dimensionnel**, qui s'exprime par une cote tolérancée, linéaire ou angulaire :



- Le **tolérancement géométrique**, qui s'exprime par un *cadre de tolérance* :



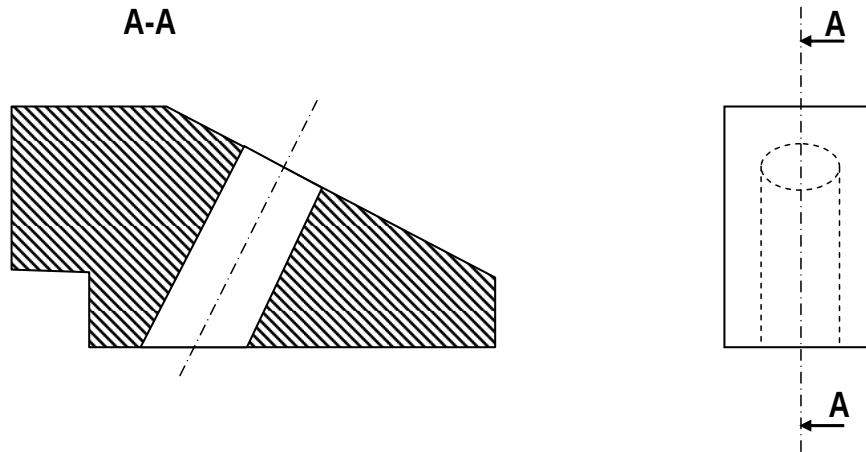
Les normes définissent les règles d'écriture des tolérances sur les dessins (la **syntaxe**) et leurs sens par rapport aux surfaces réelles (la **sémantique**).

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005



Application : Définir un nominal

Proposez une cotation permettant de définir intégralement et sans redondance, la géométrie nominale de la pièce suivante :



Que représente les traits d'axe sur chacune des vues ?

Le tolérancement dimensionnel

ISO 129:1985, NF E 04-521:1986, Principes généraux, **disposition des cotes** et exécution matérielle.

NF ISO 406:1995, **Tolérancement** de dimensions linéaires et angulaires. (Indication des tolérances sur les cotes)

ISO 8015:1985, E 04-561:1991, Principe de tolérancement de base. (**Sens des tolérances** dimensionnelles)

Règles d'écriture et normes

L 'ISO 129:1985 porte sur l'indication des cotes (Valeurs nominales. Pas de tolérance).

A noter en particulier les trois écritures suivantes :

- $\boxed{30}$: cote encadrée = cote pour dimension de référence
- (30) : cote auxiliaire = cote pour information, dérivée des autres indications
- 30 : cote soulignée = cote non à l'échelle

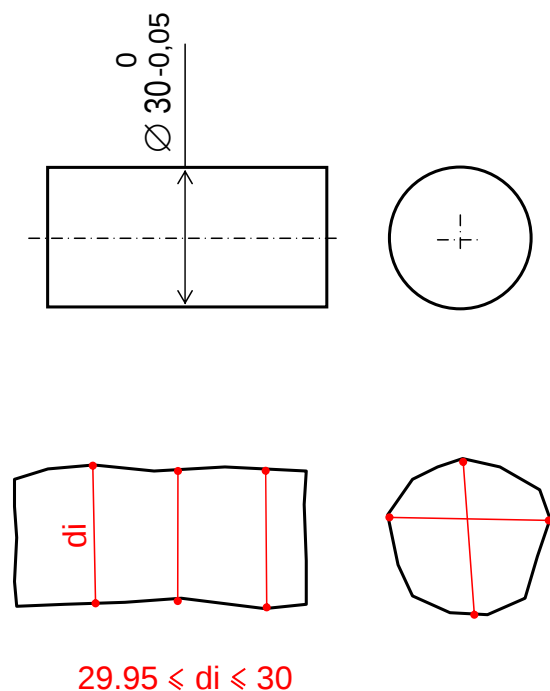
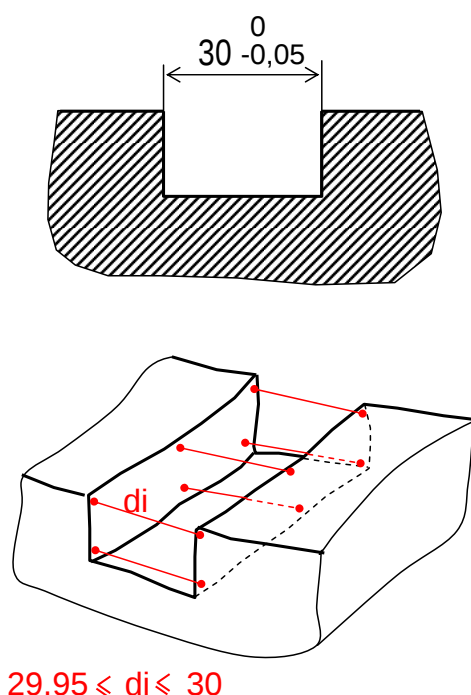
L 'ISO 406:1987 porte sur l'indication des tolérances linéaires et angulaires sans indication particulière sur ce qu'il est possible de tolérer ainsi (distance ou taille).

L 'ISO 8015:1985 définit le sens «par défaut» d'une tolérance dimensionnelle linéaire ou angulaire, levant ainsi l'ambiguïté qui existait jusqu'alors sur l'interprétation d'une tolérance dimensionnelle qui pouvait se faire suivant le principe de l'indépendance ou celui de l'enveloppe.

ISO 8015 : Tolérances dimensionnelles linéaires

Une tolérance linéaire limite uniquement les dimensions locales réelles (mesure entre deux points) d'un élément mais pas ses écarts de forme.

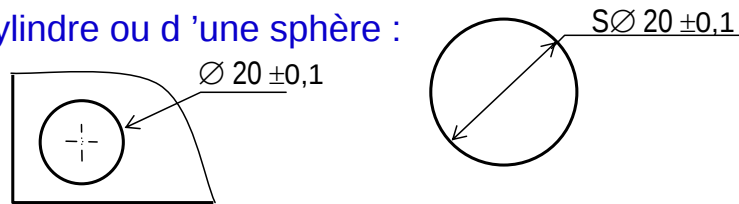
... un élément consiste en une surface cylindrique ou en deux surfaces planes parallèles.



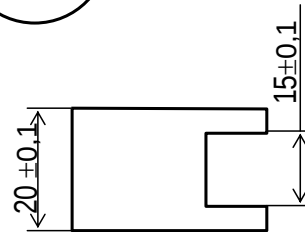
Conséquence : Tolérancement des «tailles»

Les tolérances linéaires ne peuvent être utilisées que pour tolérer :

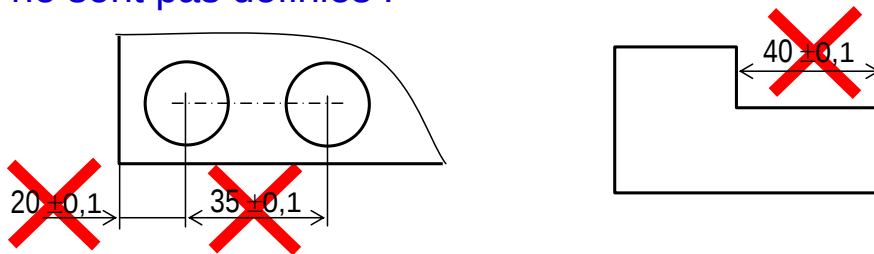
- le diamètre d'un cylindre ou d'une sphère :



- la largeur entre 2 plans parallèles en vis à vis :

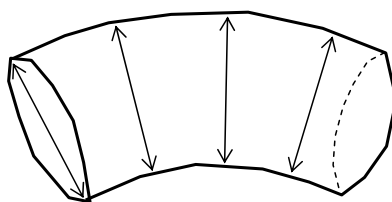


En effet pour les autres cotes (cotes de distances), les *dimensions locales réelles* ne sont pas définies :



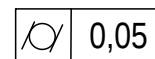
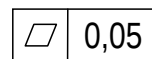
Conséquence : Indépendance par rapport à la forme

Une tolérance dimensionnelle linéaire ne limite pas le défaut de forme de l'élément :



Par conséquent ... les écarts de forme doivent être limités par les critères suivants :

- tolérance de forme indiquée individuellement,



- tolérance de forme générale, ISO 2768 - m K

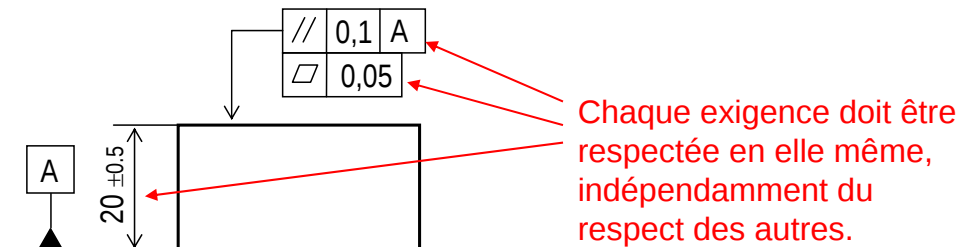
- exigence d'enveloppe



ISO 8015 : Principe d'indépendance

L'ISO 8015 pose comme principe de base pour le tolérancement, le fait que les tolérances dimensionnelles sont indépendantes des tolérances géométriques :

Chaque exigence dimensionnelle ou géométrique spécifiée sur un dessin doit être respectée en elle-même (indépendamment), sauf si une relation particulière est spécifiée.



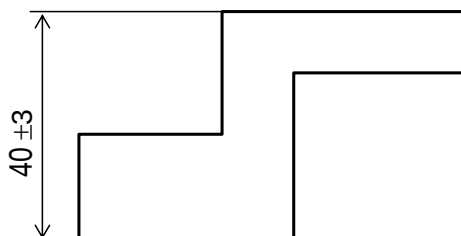
Les relations particulières sont :

- L'exigence de l'enveloppe : Relation entre la taille et la forme (E)
- L'exigence du maximum de matière : relation entre la taille, la forme et la position. (M)

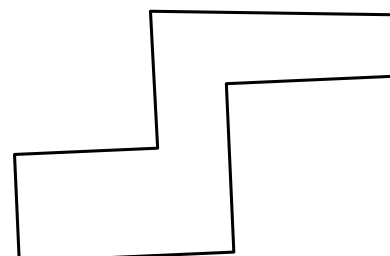
Application : Ambiguïté d'une tolérance dimensionnelle appliquée à une distance

Contrôler sur la pièce «réelle» représentée à l'échelle 1 ci-dessous, la cote tolérancée indiquée sur le dessin, en prenant en référence l'un des plans (au choix).

Dessin

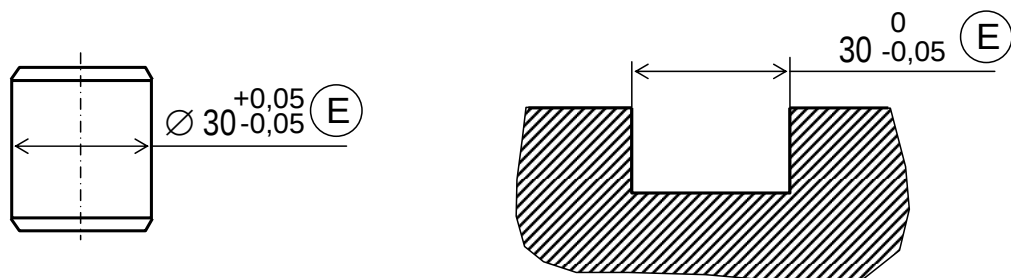


Pièce réelle

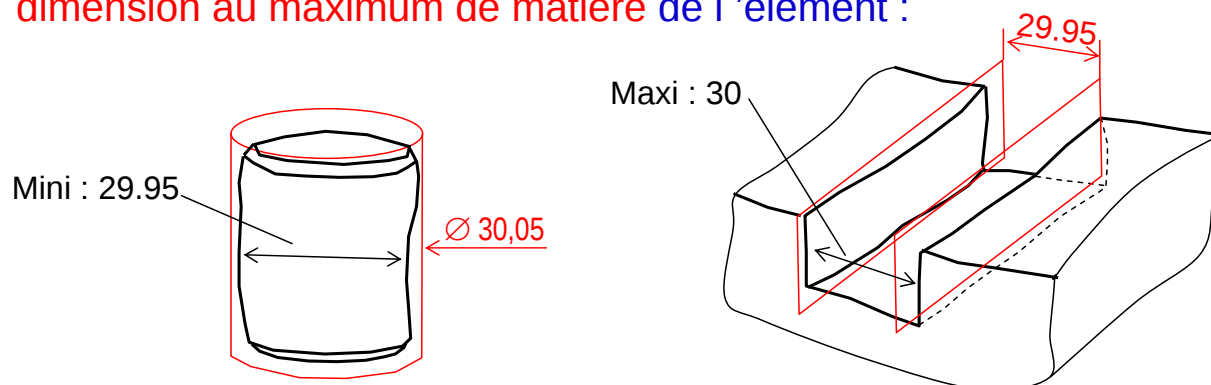


Exigence d'enveloppe (ISO 8015)

Une exigence d'enveloppe peut être ajoutée à la suite d'une tolérance linéaire :

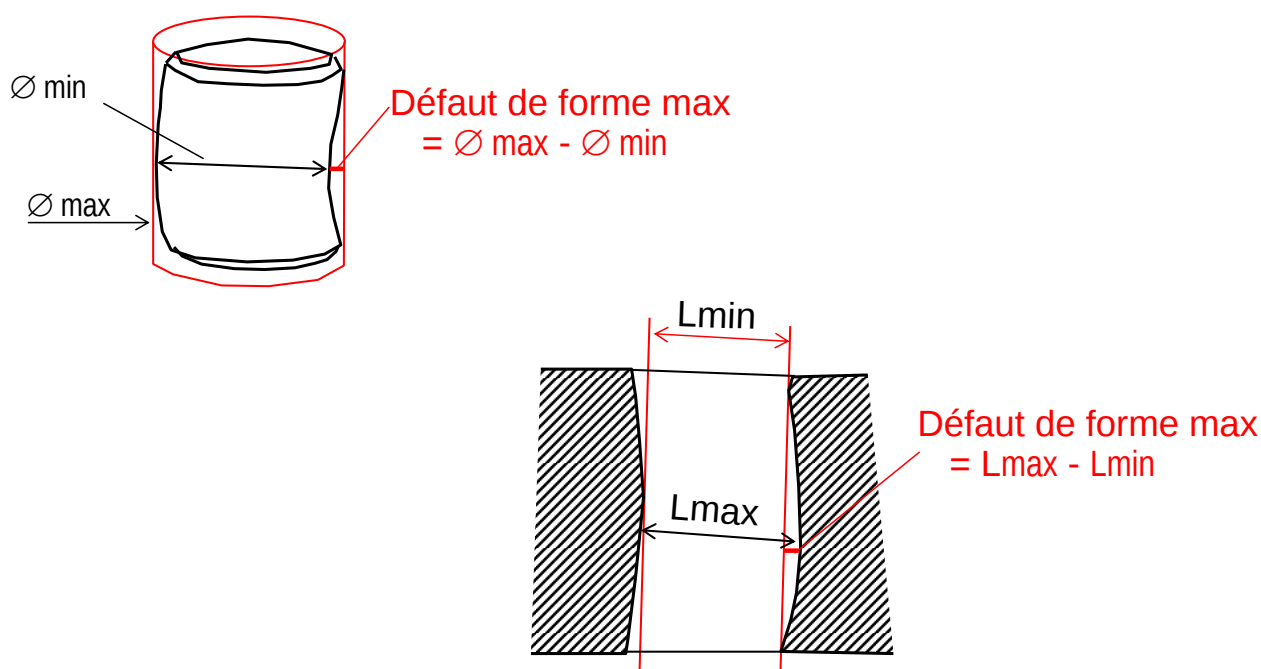


Elle signifie, qu'en plus des conditions sur les dimensions locales réelles, la surface ne doit pas dépasser une **enveloppe de forme parfaite** à la **dimension au maximum de matière** de l'élément :



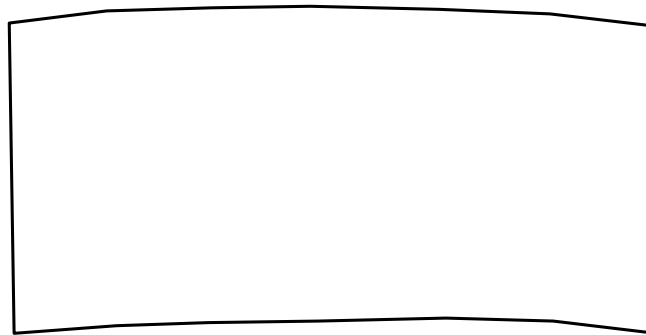
Exigence d'enveloppe

L'exigence d'enveloppe limite de défaut de forme :



Application : Vérification avec ou sans exigence d'enveloppe

La pièce «réelle» ci-dessous respecte t'elle la cote de $52,5 \pm 2,5$?



Respecte t'elle également l'exigence d'enveloppe $52,5 \pm 2,5 \text{ (E)}$?

Quand s'applique le principe d'indépendance ?

Selon l'ISO 8015, *les dessins pour lesquels le principe d'indépendance s'applique doivent être identifiés par l'indication suivante, à l'intérieur ou près du cartouche :*

Tolérancement ISO 8015

Selon l'AFNOR, qui a adopté et publié cette norme en 1991, le principe d'indépendance s'applique tout le temps.

Il convient donc de considérer qu'il s'applique pour tous les dessins, quelque soit leur age et que la mention Tolérancement ISO 8015 soit indiquée ou non, sauf éventuellement pour les tolérances du système d'ajustement ISO (voir le paragraphe relatif à ce système).

Remarques:

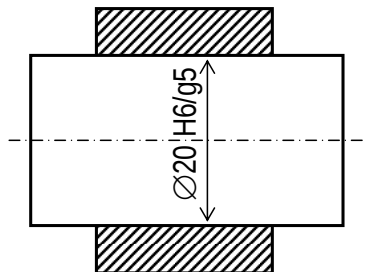
- Le tolérancement des distances n'est pas explicitement interdit dans les normes. Le problème est que son sens n'est pas défini !
- L'ISO 8015 a été publiée en France par l'AFNOR en 1991 sous la forme d'une «norme expérimentale» en raison du fait qu'elle *n'indique pas la façon de coter et de tolérer les éléments pour lesquels les dimensions locales n'existent pas.*

Système ISO de tolérances et d'ajustements

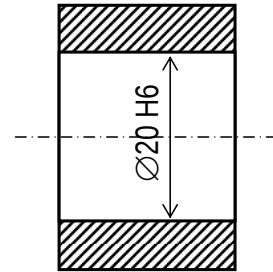
Norme: ISO 286 -1:1988, Système ISO de tolérances et d'ajustements

Indication sur les dessins :

Dessin d'ensemble



Dessin de définition



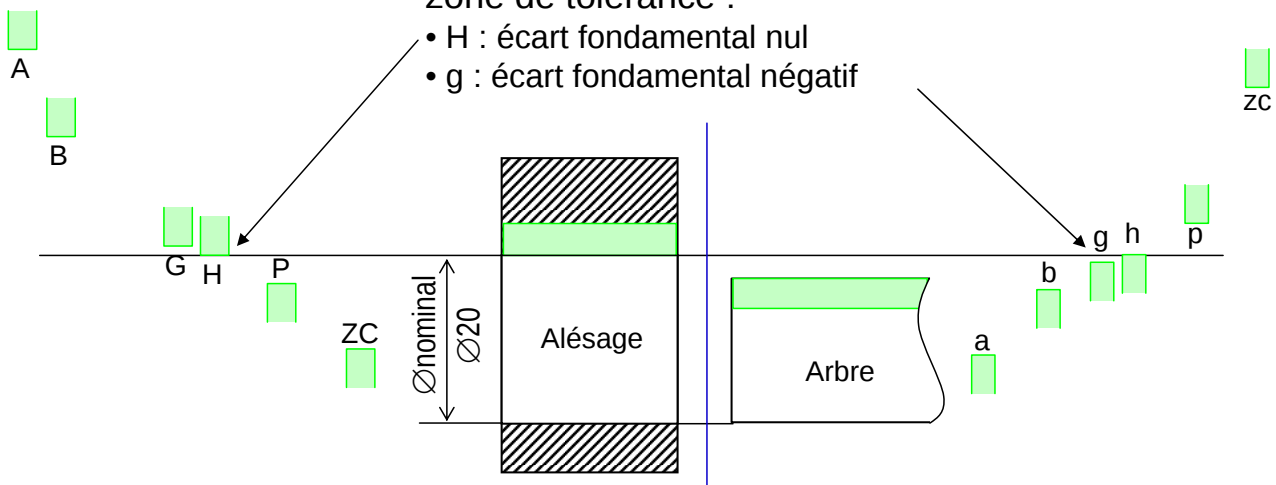
Système ISO de tolérances et d'ajustements

Alésage

Arbre

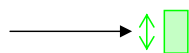
La lettre indique la position de la zone de tolérance :

- H : écart fondamental nul
- g : écart fondamental négatif



Le nombre indique la valeur de la tolérance : Pour $\varnothing 20$:

- IT 7 = $21\mu\text{m}$
- IT 6 = $13\mu\text{m}$



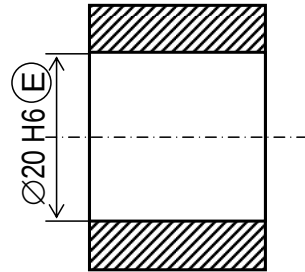
Interprétation d'une tolérance du «système ISO»

Deux situations :

- Le dessin comporte l'indication Tolérancement ISO 8015 :

Sans exigence d'enveloppe, seules les dimensions locales effectives doivent être vérifiées.

Pour garantir le jeu minimal ou le serrage maximal, il est donc nécessaire d'ajouter l'exigence d'enveloppe :



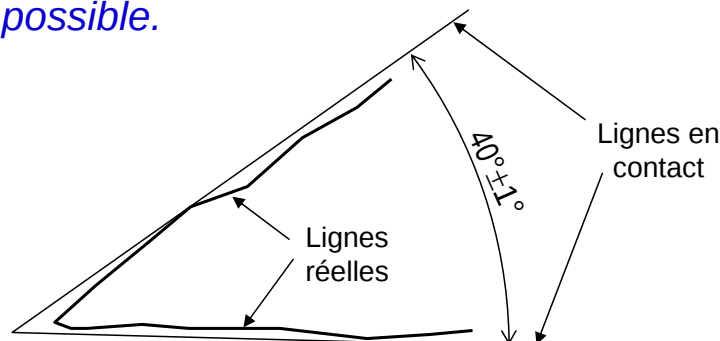
- Le dessin ne comporte pas l'indication Tolérancement ISO 8015 :

L'exigence d'enveloppe est prise en compte : La surface réelle ne doit pas dépasser l'enveloppe de forme parfaite à la dimension au maximum de matière de l'élément permise par la tolérance.

Tolérances dimensionnelles angulaires

Une tolérance angulaire... limite uniquement l'orientation générale des lignes... mais pas leurs écarts de forme.

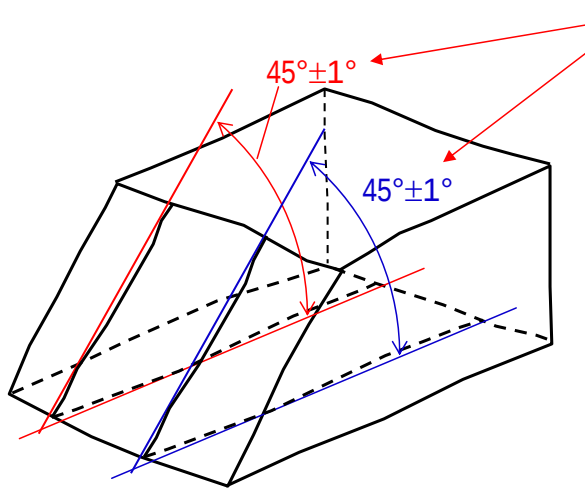
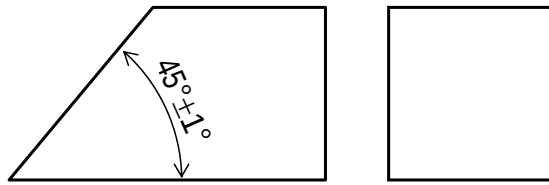
L'orientation générale de la ligne dérivée de la surface réelle est l'orientation de la ligne en contact de forme géométrique parfaite. La distance maximale entre cette ligne en contact et la ligne réelle doit être la plus faible possible.



Cependant, les écarts de forme doivent être limités par les critères suivants :

- tolérance de forme indiquées individuellement
- tolérances géométriques générales

Cas de l'angle entre deux plans :

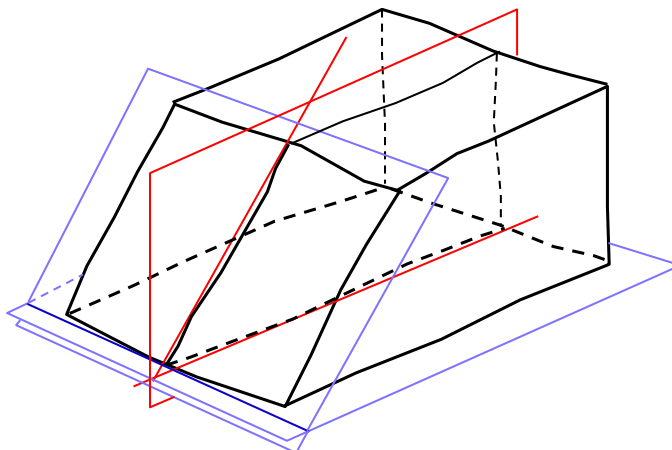


La tolérance angulaire doit être respectée indépendamment en toute section de la pièce

Quels plans de coupe faut-il considérer ?

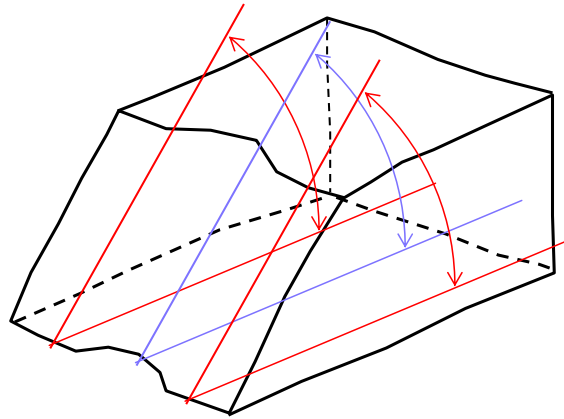
- Les normes ne le précisent pas !

Construction possible : Plans perpendiculaires aux plans tangents aux surfaces réelles :



Conséquence : Indépendance par rapport à la forme

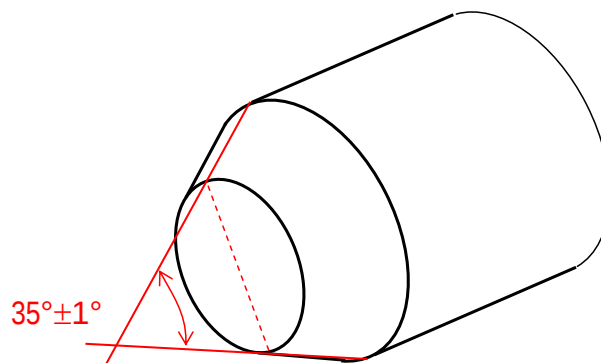
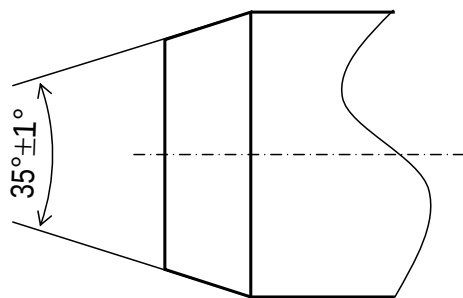
Exemple de défaut de forme possible :



Les tolérances générales géométriques permettent de limiter les défauts de planéité des surfaces.

Si elles ne sont pas suffisamment petites, on indiquera des tolérances de planéité individuelles.

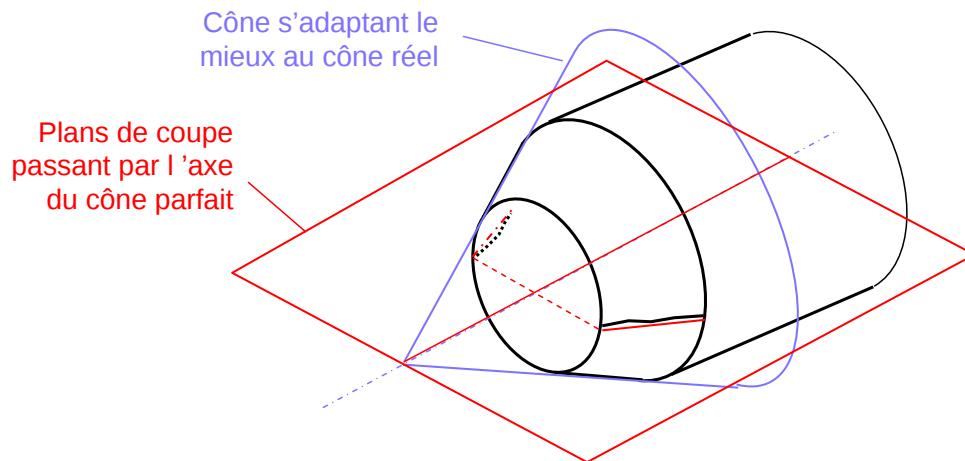
Cas de l'angle d'un cône



Quels plans de coupe faut-il considérer ?

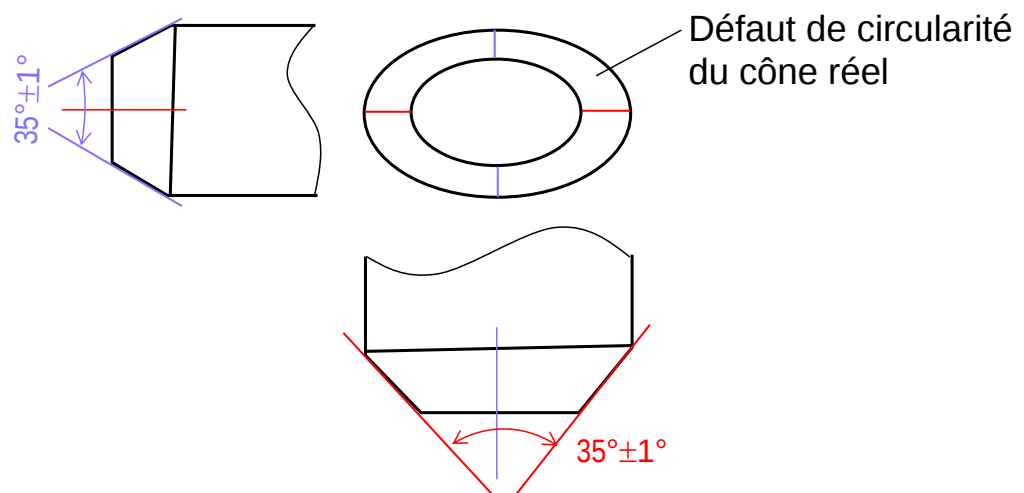
- Les normes ne le précisent pas !

Construction possible : Plans de coupe passant par l'axe du cône parfait s'adaptant le mieux à la surface réelle :



Conséquence : Indépendance par rapport à la forme

Exemple de défaut de forme possible :



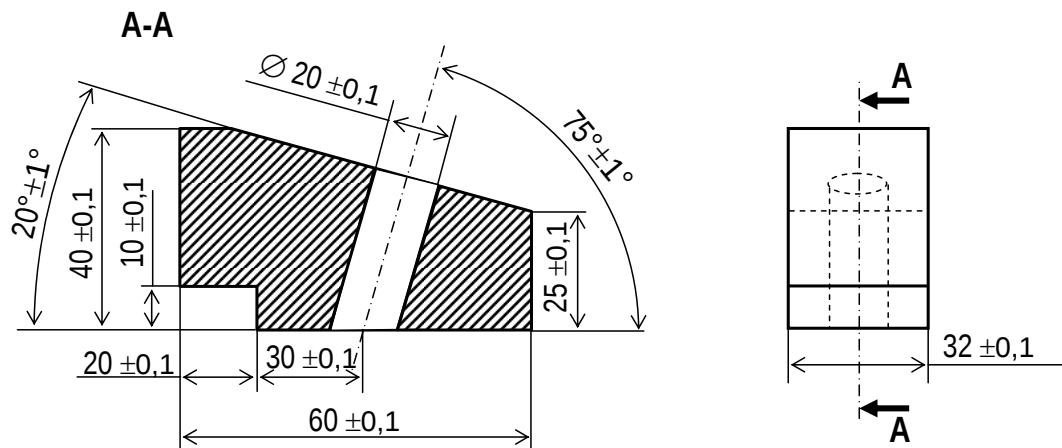
Les tolérances générales géométriques permettent de limiter les défauts de forme de la surface conique.

Des tolérances particulières peuvent être indiquées.

Les cônes font l'objet d'une norme de tolérancement particulière. Cette norme préconise de ne pas tolérer directement l'angle (voir chapitre sur le tolérancement des cônes)

Application

Barrer les tolérances dimensionnelles qui n'ont aucun sens normalisé sur le dessin suivant :



Tolérances générales

Généralités

Normes :

- NF EN 22768-1:1993, ISO 2768:1989 : Partie 1 : Tolérances générales -- Tolérances pour dimensions linéaires et angulaires non affectées de tolérances individuelles.
- NF EN 22768-2:1993, ISO 2768:1989 : Partie 2 : Tolérances générales -- Tolérances géométriques pour éléments non affectées de tolérances individuelles.
- E 02-351:1993, Tolérances générales -- Guide d'application de la norme NFE 22768-2.

Il n'est pas utile ni toujours réalisable de tout tolérer individuellement sur un dessin. Certaines dimensions et certains défauts géométriques peuvent se satisfaire des tolérances générales. Dans ce cas, on ne les tolérances pas et on fait référence sur le dessin à une norme de tolérances générales.

Tolérances générales linéaires et angulaires

L 'ISO 2768-1 :

- *Vise à simplifier les dessins techniques et spécifie les tolérances générales pour les dimensions linéaires et angulaires sans indication de tolérances...*
- *Concerne les dimensions des pièces exécutées par **enlèvement de matière** ou des pièces exécutées **en tôle**. (des normes analogues existent, par exemple l 'ISO 8062 pour les pièce moulées)*

Elle s'applique aux dimensions sans indication de tolérance individuelles suivantes :

- *dimensions linéaires (par exemple diamètres, rayons, distances, rayons extérieurs et hauteurs de chanfrein pour arêtes abattues);*
- *dimensions angulaires, y compris les angles droits à moins qu'il soit fait référence à l 'ISO 2768-2.*

Elle ne s'applique pas :

- *aux dimensions auxiliaires indiquées entre parenthèses;*
- *aux dimensions théoriques indiquées dans un cadre rectangulaire;*
- *aux dimensions dont les tolérances générales sont définies par référence à d'autres normes de tolérances générales.*

Tolérances générales linéaires et angulaires

L'ISO 2768-1 définit **4 Classes de tolérances**: fine: f, moyenne: m, grossière: c, très grossière: v

La norme donne un tableau de tolérances générales pour :

- les dimensions linéaires à l'exception des dimensions d'arêtes abattues;

Tableau 1 — Écart admissible pour dimensions linéaires à l'exception des dimensions d'arêtes abattues
(pour rayons extérieurs et hauteurs de chanfrein, voir tableau 2)

Valeurs en millimètres

Classe de tolérance		Écart admissible pour des plages de dimensions nominales							
Désignation	Description	0,5 ¹⁾ jusqu'à 3	au-delà de 3 jusqu'à 6	au-delà de 6 jusqu'à 30	au-delà de 30 jusqu'à 120	au-delà de 120 jusqu'à 400	au-delà de 400 jusqu'à 1 000	au-delà de 1 000 jusqu'à 2 000	au-delà de 2 000 jusqu'à 4 000
f	fine	± 0,05	± 0,05	± 0,1	± 0,15	± 0,2	± 0,3	± 0,5	—
m	moyenne	± 0,1	± 0,1	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2
c	grossière	± 0,2	± 0,3	± 0,5	± 0,8	± 1,2	± 2	± 3	± 4
v	très grossière	—	± 0,5	± 1	± 1,5	± 2,5	± 4	± 6	± 8

1) Pour les dimensions nominales inférieures à 0,5 mm, l'écart doit figurer à la suite de la dimension nominale.

- les dimensions linéaires d'arêtes abattues (rayons extérieurs et hauteurs de chanfrein);
- les dimensions angulaires.

Indication dans ou près du cartouche du dessin :

Exemple : ISO 2768-m

Tolérances générales géométriques

L'ISO 2768-2 définit les tolérances géométriques générales suivantes :

- Tolérances de forme : **Rectitude**, **planéité** et **circularité**
- Tolérances d'orientation : **Parallélisme** et **perpendicularité**
- Tolérances de position : **Symétrie** et **battement circulaire** radial, axial et toute surface de révolution (battement simple).

Elle ne concerne pas les tolérances suivantes car les défauts correspondant sont limités par les tolérances précédentes :

- Cylindricité : Limité par la circularité, la rectitude et le parallélisme des génératrices
- Inclinaison : Limité par les tolérances générales angulaires et de forme
- Coaxialité : Inférieur au battement circulaire

Elle ne concerne pas les tolérances suivantes qui doivent être indiquées individuellement :

- Forme d'une ligne ou d'une surface quelconque
- Localisation
- Battement total

Tolérances générales géométriques

L'ISO 2768-2 définit **3 classes de tolérances** : H, K et L

- Rectitude et planéité : Valeur fonction de la plus grande longueur latérale de la surface
- Circularité : Égale à la tolérance sur le diamètre mais inférieure à la tolérance de battement circulaire.
- Parallélisme: Égale à la tolérance dimensionnelle ou à la tolérance de planéité/rectitude.
- Perpendicularité : Valeur fonction de la longueur la plus courte des deux cotés. Le côté le plus long est pris en référence
- Battement circulaire : Une seule valeur par classe : 0,1 ; 0,2 et 0,5 mm.
- Symétrie : Fonction de la longueur la plus courte.

Tableau 1 — Tolérances générales de rectitude et de planéité

Classe de tolérance	Tolérances générales de rectitude et de planéité pour des plages de longueurs nominales					
	Valeurs en millimètres					
	jusqu'à 10	au-delà de 10 jusqu'à 30	au-delà de 30 jusqu'à 100	au-delà de 100 jusqu'à 300	au-delà de 300 jusqu'à 1 000	au-delà de 1 000 jusqu'à 3 000
H	0,02	0,06	0,1	0,2	0,3	0,4
K	0,05	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
L	0,1	0,2	0,4	0,8	1,2	1,6

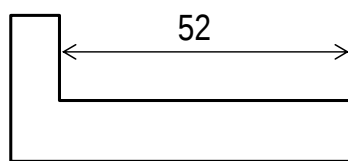
Le choix de la classe doit se faire en fonction de la *précision habituelle de l'atelier*.

Indication dans ou près du cartouche du dessin :

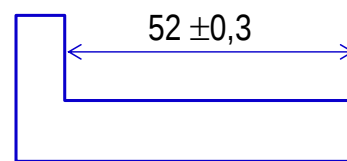
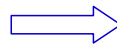
Exemples : ISO 2768-K ou ISO 2768-mK

Application des tolérances générales dimensionnelles

Du point de vue théorique, l'utilisation des tolérances générales dimensionnelles **pose un problème d'application**. En effet toutes les distances non tolérancées explicitement sont affectées d'une tolérance dimensionnelle générale. Or de telles tolérances n'ont pas de sens normalisé :



ISO 2768-mK



Tolérance n'ayant aucun sens normalisé !

Du point de vue pratique, il convient de ne pas tenir compte de cette difficulté théorique pour les raisons suivantes :

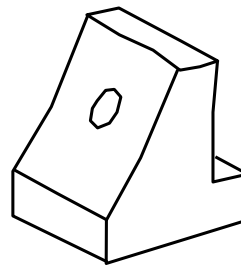
- En pratique les tolérances générales ne sont pas vérifiées sur les pièces.
- Les tolérances générales sont tellement larges au regard de la précision de moyens de fabrication actuels que quelque soit la manière dont on les contrôlerait, le résultat serait le même.
- Même si une tolérance générale est dépassée, cela n'entraîne pas automatiquement le rebus la pièce (ISO 2768-1:1989)

Application des tolérances générales géométriques

D'un point de vue théorique, l'application des tolérances générales ISO est très complexe, car pour chaque face non tolérancée de la pièce il est possible de contrôler de multiples tolérances d'orientation ou de position par rapport aux autres surfaces non tolérancées.

L'AFNOR a d'ailleurs publié un guide d'application de l'ISO 2768-2 visant à limiter les contrôle à effectuer en particulier en ne considérant que les faces adjacentes (E 02-351:1993)

En pratique, il convient de considérer que les tolérances générales géométriques, comme les tolérances générales dimensionnelles, ne sont pas vérifiées et qu'on s'est assuré que les moyens de fabrication utilisés permettaient de les tenir aisément.

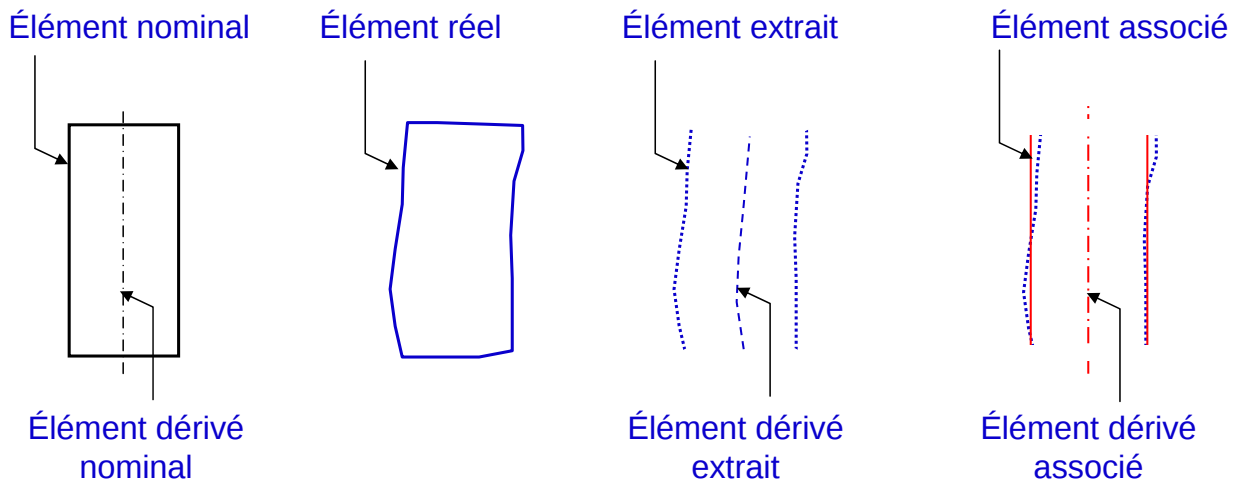


Définition des notions de «dimension locales réelles» et d'«axe réel»

ISO 14660:1999, Geometrical Product
Specifications (GPS) -- Geometrical features --

Part 1: General terms and definitions

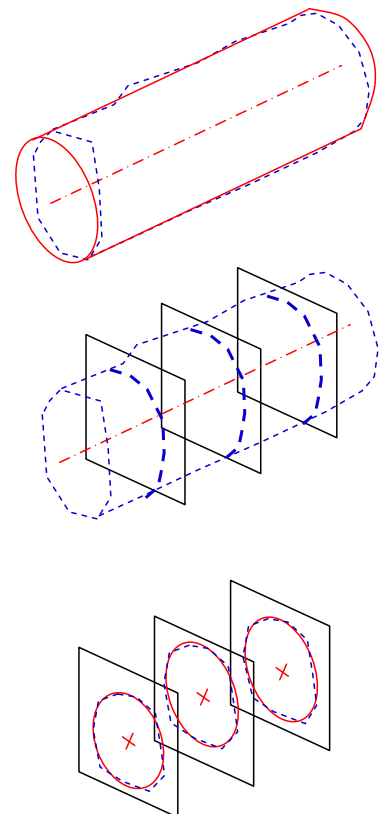
Part 2: Extracted median line of a cylinder and a
cone, extracted median surface, local size of an
extracted feature.



Élément dérivé : Centre, ligne médiane ou surface médiane ...

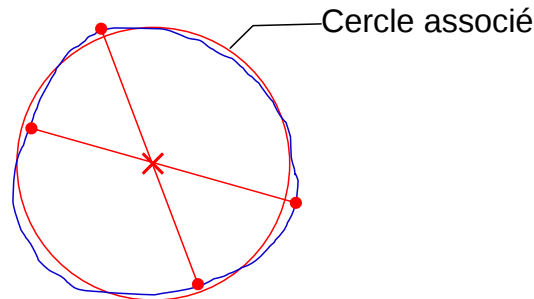
Définition de l'axe extrait d'un cylindre ou d'un cône

1. Associer un cylindre (cône) à la surface extraite (critère des moindres carrés)
2. Extraire des lignes de la surface réelle suivant plusieurs plans de coupe perpendiculaires à l'axe associé.
3. Associer un cercle à chaque ligne extraite.
4. L'ensemble des centres de ces cercles donne l'axe extrait.



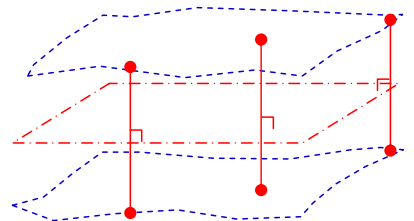
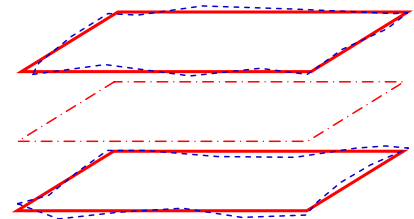
Définition de la taille locale extraite d'un cylindre

Dans chaque section perpendiculaire à l'axe associé,
mesurer la distance entre deux points opposés de la ligne réelle suivant une
droite passant par le centre du cercle associé :



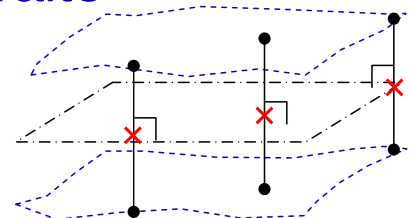
Définition de taille locale extraite de deux surfaces parallèles

1. Associer 2 plans parallèles aux surfaces extraites (critère des moindres carrés, distance entre les plans variable)
2. Mesurer la distance entre deux points appartenant aux surfaces opposées suivant une droite perpendiculaire aux plans associés



Définition de la surface médiane extraite

Ensemble des points milieux de paires de points appartenant aux surfaces opposées suivant des droites perpendiculaires au plan médian dérivé associé



Structure des normes GPS

Rapport CR ISO/TR 14638:1996

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Schéma directeur

Le **groupe d'harmonisation joint** entre les TC "Ajustement", "Cotation et tolérancement" et "Métrologie et propriétés des surfaces" a décidé de structurer les normes GPS suivant le schéma directeur suivant :

- Normes GPS de Base
 - ISO 8015, 14638:Schéma directeur GPS
- Normes GPS globales
 - Concernent tout ou partie des normes générales ou complémentaires. Exemples : VIM, GUM
- Normes GPS générales
 - Normes qui établissent les règles d'indication sur les dessins et de vérification des caractéristiques géométriques. Organisées dans la **matrice GPS générale** qui présente en ligne les différentes caractéristiques géométriques et en colonne les 6 maillons de la chaîne de normes relative à chacune des caractéristiques.
- Normes GPS complémentaires
 - Normes de tolérances en fonction du procédé (usinage, fonderie, etc.) : ISO 2786 notamment.
 - Normes définissant la géométrie de produits particuliers (filetages, engrenage, cannelures, etc.).

Matrice des normes GPS générales

Maillon N°		1	2	3	4	5	6
Caractéristique géométrique de l'élément	Sous-caractéristique de l'élément ou paramètre	Indication dans la documentation du produit - Codification	Définition des tolérances Définition théorique et valeurs	Définition des caractéristiques ou paramètres de l'élément extrait	Evaluation des écarts de la pièce - Comparaison avec les limites de la tolérance	Exigences pour l'équipement de mesure	Exigences d'étalonnage Etalons d'étalonnage
1: Taille		129 (R), 286-1, 406	286-1, 286-2, 1829	286-1, 1938(R), 8015, *14660-1, *-2	Calibre à limites Appareils mesureurs 1938 (R)	1938 (R), 3670 (R), 463, 3599, ...	1938 (R), 3670 (R)
2: Distance	Hauteur (de marche)	129 (R), 406	?	?	?	463, 3599(R), ...	?
	Distance entre élément	129 (R), 406	?	?	?	7863, *10360-1,...	?
...	...	...	...	...	...	...	...
10: Position	Elément réel	1101(R), 2692(R)	1101(R), 5458(R)	?	5460	463(R), *10360	?
	Elément dérivé	1101 (R), 2692 (R), 10578	1101(R), 5458(R), 10578	*14660-1, *-2	5460	*10360	?
...	...	...	...	...	...	...	...

L'objectif des "chaîne de normes" est de relier, sans ambiguïté, l'indication sur le dessin ... à l'unité SI de longueur...

Pour les normalisateurs, cette matrice, en faisant apparaître les normes manquantes, redondantes, etc. est désormais utilisée pour les travaux de normalisation. Pour les utilisateurs, elle permet à tout lecteur d'un dessin technique de savoir quelles sont les normes à utiliser.

Tolérancement géométrique : Notions de base

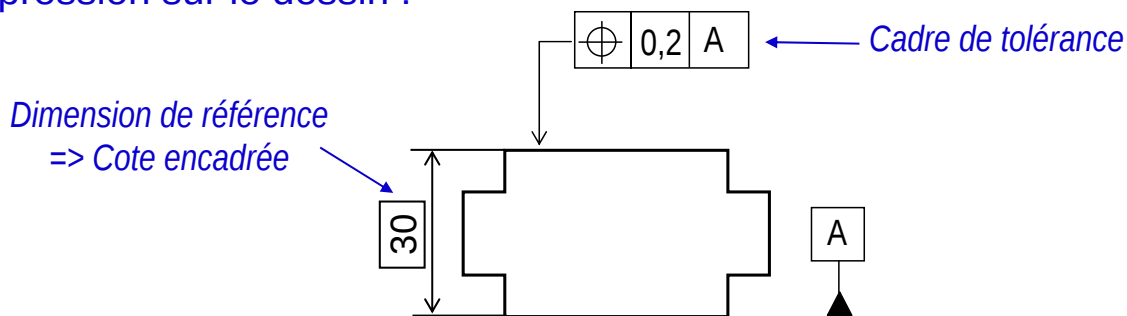
ISO 1101:1983, «Geometrical tolerancing -- Tolerancing of form, orientation, location and run-out -- Generalities, definitions, symbols, indications on drawings»

NF E 04-552:1983, «Tolérancement géométrique -- Généralités, définitions, symboles, indications sur les dessins» en concordance avec l'ISO 1101

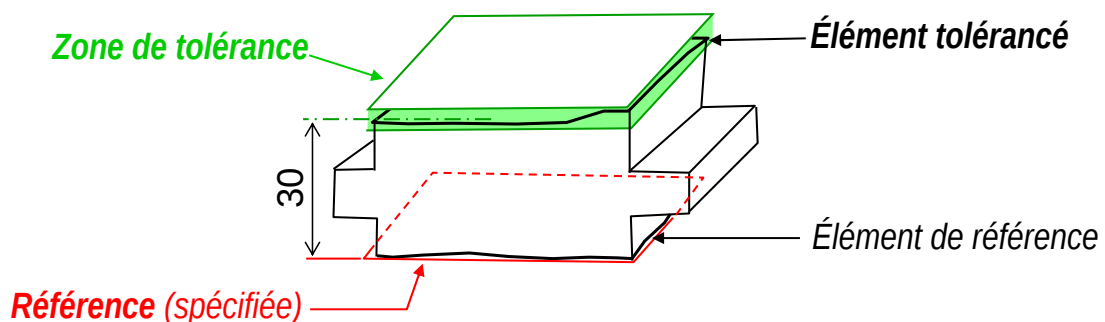
© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Expression sur le dessin et signification sur la pièce

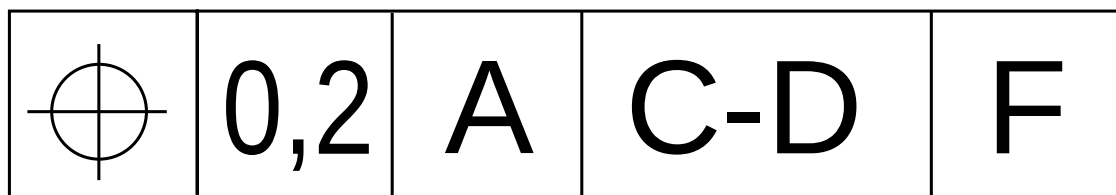
Expression sur le dessin :



Signification sur la pièce et vocabulaire :



Règles d'écriture : Cadre de tolérance



1^{ère} case :

- Obligatoire: un symbole géométrique parmi les 14 normalisés

2^{ème} case :

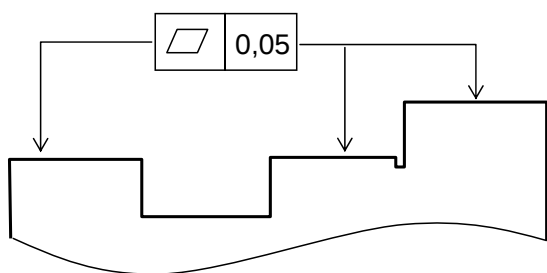
- Obligatoire: la valeur de la tolérance en mm
- Précédée du signe $\varnothing$ si la zone est cylindrique
- Suivie de la longueur de zone
- Suivie d'un «modificateur» si nécessaire ($\textcircled{M}$, $\textcircled{P}$, ...)

3^{ème}, 4^{ème} et 5^{ème} cases :

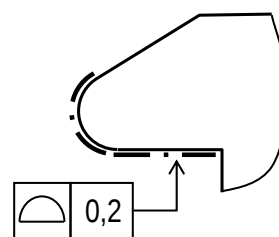
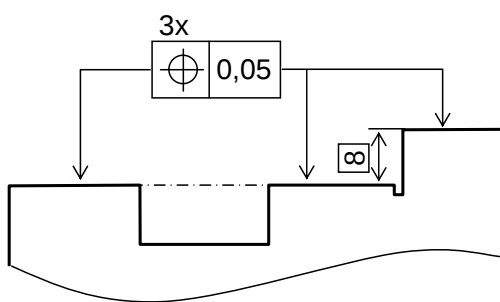
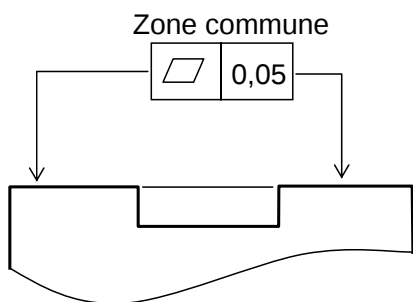
Les lettres désignant la ou les références si nécessaire

Règles d'écriture : Cadre de tolérance

Par simplification on peut relier toutes les lignes de repère au même cadre de tolérance, mais les **zones de tolérances sont indépendantes !**



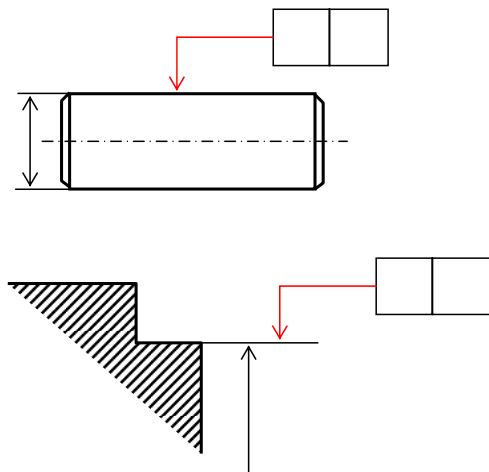
Si on souhaite «relier» les zones, il existe 3 méthodes normalisées :



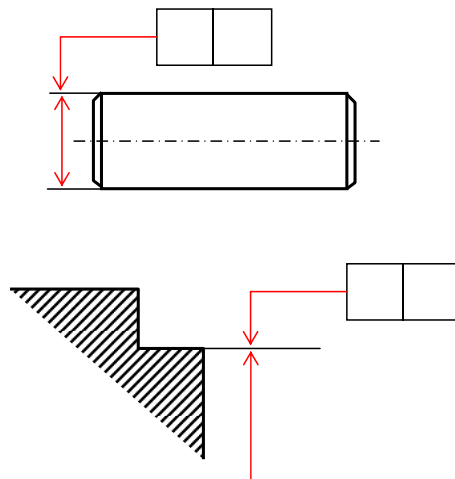
Règles d'écriture : Élément tolérancé

La ligne de repère, terminée par une flèche, aboutit :

Sur le contour de l'élément ou sur le prolongement du contour (mais clairement séparé de la ligne de cote), si la tolérance s'applique à la ligne ou à la surface elle même.



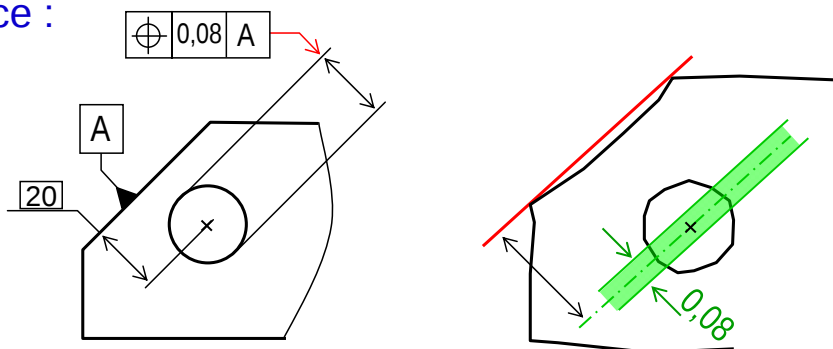
Dans le prolongement de la ligne de cote, lorsque la tolérance s'applique à l'axe ou au plan médian de l'élément ainsi coté.



Note : La même règle permet distinguer l'élément de référence sur la pièce.

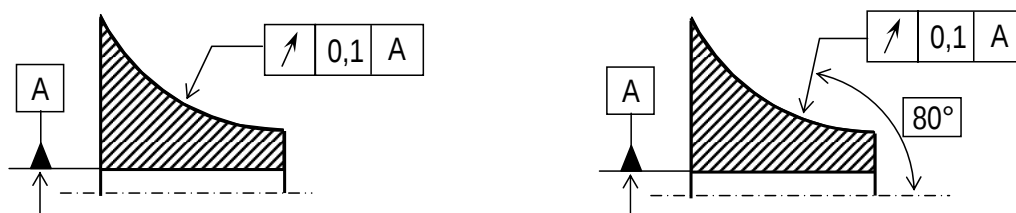
Règles d'écriture : Zone de tolérance

Sauf si la valeur de la tolérance est précédée du signe $\varnothing$, la direction de la flèche, au bout de la ligne de repère, indique la direction de la largeur de la zone de tolérance :



C'est pourquoi, en général, la flèche doit arriver perpendiculairement au contour de l'élément tolérancé.

Si nécessaire la direction de la zone peut être indiquée :



Les différentes forme des zones de tolérance

Zone 3D

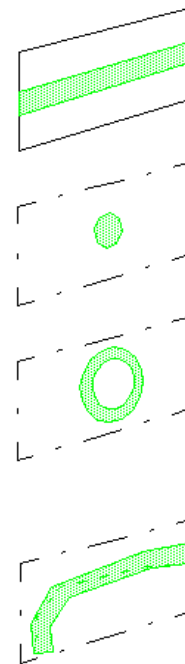
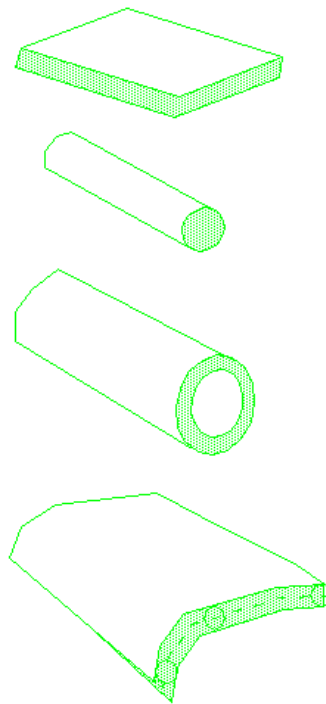
Zone 2D = Intersection
de la zone 3D avec un plan

Plans parallèles

Cylindre

Cylindres
coaxiaux

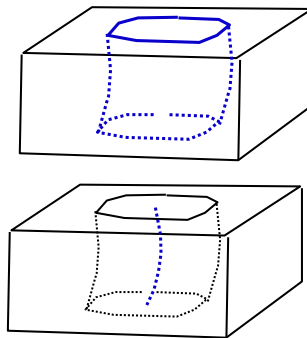
Zone pour surface
de forme quelconque



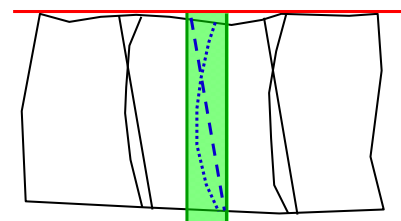
L'élément tolérancé

L'élément tolérancé peut être :

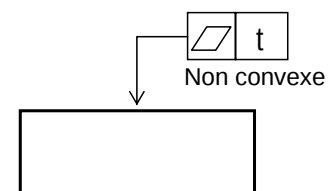
- une surface réelle de la pièce ou une ligne sur une surface :
- ou un élément fictif dérivé de la surface réelle tel qu'un axe ou un plan médian :



A l'intérieur de la zone, l'élément tolérancé
peut avoir n'importe quelle forme :



On peut ajouter des indications
près du cadre pour caractériser la forme
de l'élément à l'intérieur de la zone :



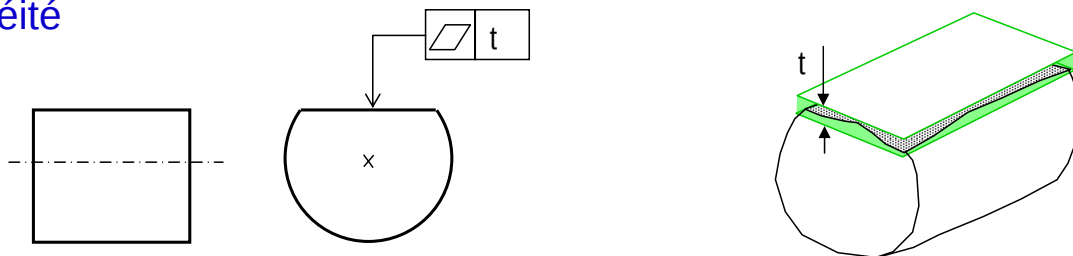
Les 14 symboles géométriques

Les tolérances géométrique servent à tolérer :

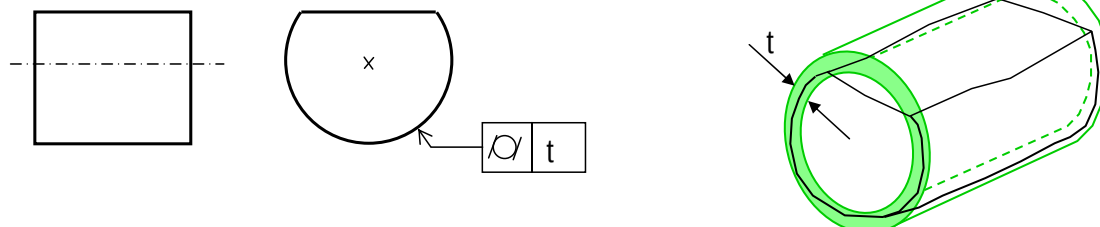
La forme d'une surface :	L'orientation d'une surface ou d'un élément dérivé :	La position	Le battement d'une surface :
 Planéité	 Perpendicularité	 Coaxialité	 total
 Cylindricité	 Parallélisme	 Symétrie	 simple
 Forme quelconque	 Inclinaison	 Localisation	
d'une ligne :			
 Rectitude			
 Circularité			
 Ligne quelconque			

Les tolérances de forme des surfaces

Planéité



Cylindricité

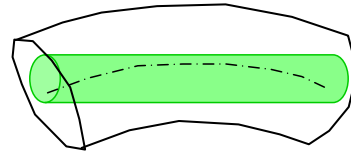
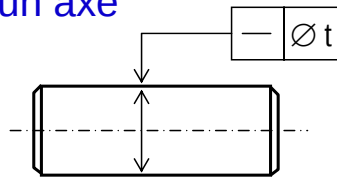


Forme quelconque (voir ISO 1660:1987)

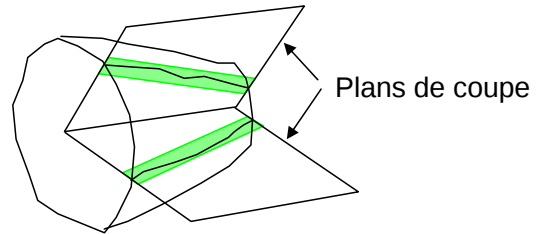
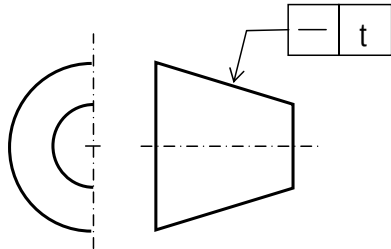


Les tolérances de forme des lignes

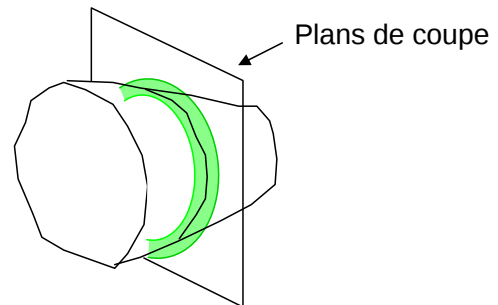
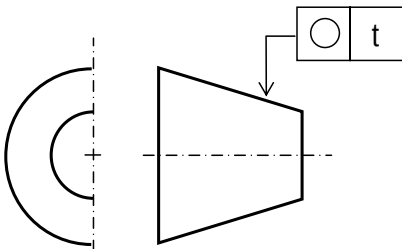
Rectitude d'un axe



Rectitude de lignes extraites de la surface réelle



Circularité de lignes extraites d'une surface de révolution



Les tolérances d'orientation

Il existe 3 symboles d'orientation :

 Perpendicularité

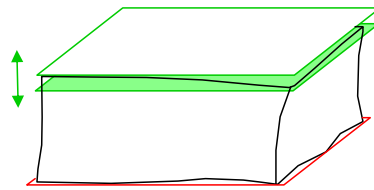
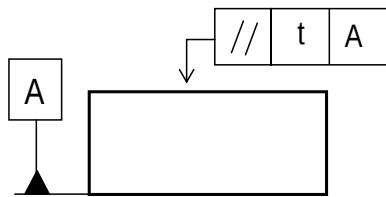
 Parallélisme

 Inclinaison

Une tolérance d'orientation permet de limiter le défaut d'orientation d'un plan ou d'une droite (axe) par rapport à une **référence** qui peut être un plan ou une droite :

- Plan / Plan
- Plan / Droite
- Droite / Plan avec $\varnothing$ et sans $\varnothing$
- Droite / Droite

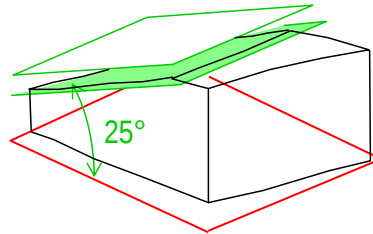
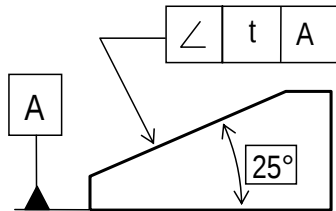
Orientation d'un plan / à un autre plan



Référence : Plan tangent à l'extérieur de la surface

Zone de tolérance : Zone comprise entre 2 plans //, distant de la tolérance, // à la référence.

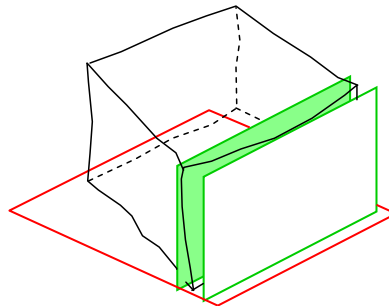
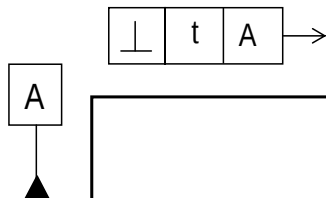
Élément tolérancé : surface supérieure de la pièce



Référence : Idem

Zone de tolérance : Zone comprise entre 2 plans //, distant de la tolérance, incliné à 25° à la référence.

Élément tolérancé : surface inclinée



Référence : Idem

Zone de tolérance : Zone comprise entre 2 plans //, distant de la tolérance, perpend. à la référence.

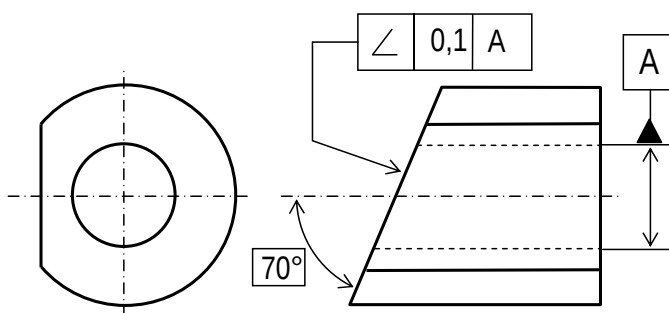
Élément tolérancé : surface latérale de la pièce

II. 13

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Orientation d'un plan / à une droite

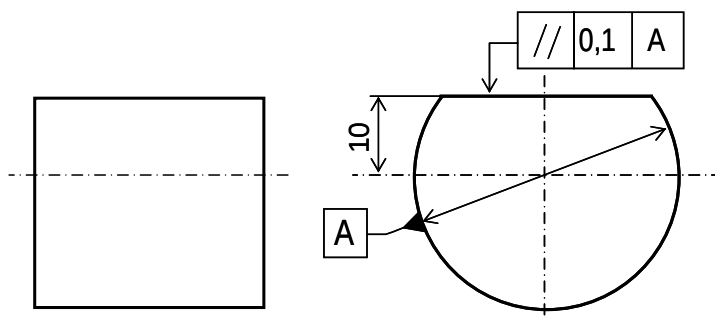
Applications : Précisez la nature et la situation de la zone de tolérance par rapport à la référence



Référence : Axe du plus gros cylindre inscrit dans le trou

Zone de tolérance :

Élément tolérancé :



Référence : Axe du plus petit cylindre théorique circonscrit à la surface réelle

Zone de tolérance :

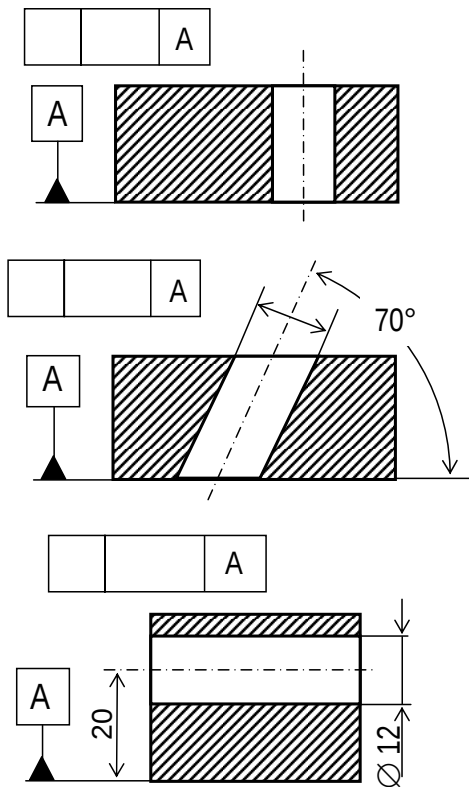
Élément tolérancé :

II. 14

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Orientation d'une droite / à un plan

Applications: Complétez les dessins ci-dessous en donnant une tolérance d'orientation de 0,1mm du trou par rapport au plan de référence.

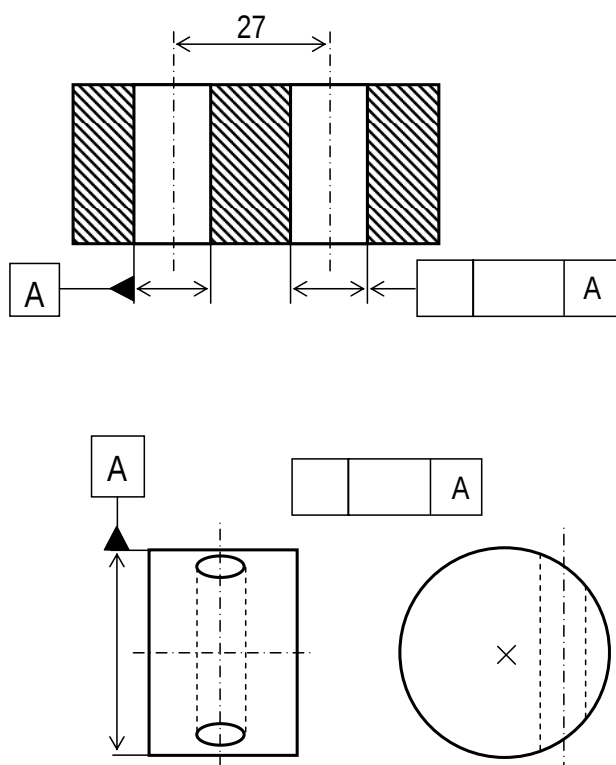


II. 15

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Orientation d'une droite / à une droite

Applications: Complétez les dessins ci-dessous en donnant une tolérance d'orientation de 0,1mm du trou par rapport à l'axe de référence



II. 16

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Les tolérances de position

Une tolérance de position limite l'**orientation** et la **position** d'une surface (ou d'un groupe de surfaces) par rapport à une ou plusieurs **références**.



Coaxialité



Symétrie



Localisation

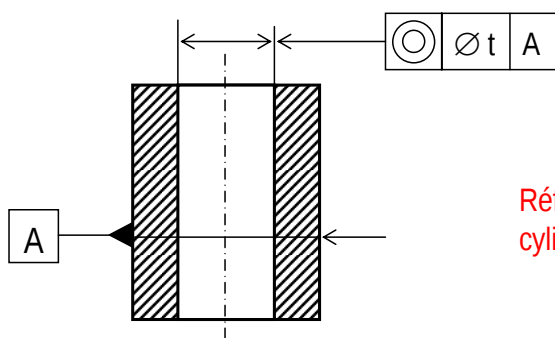


Position d'une forme quelconque

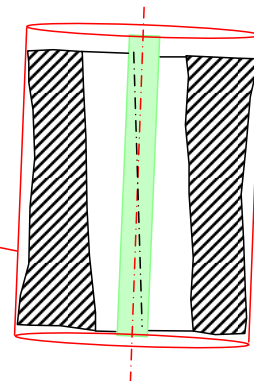


Position d'une ligne quelconque

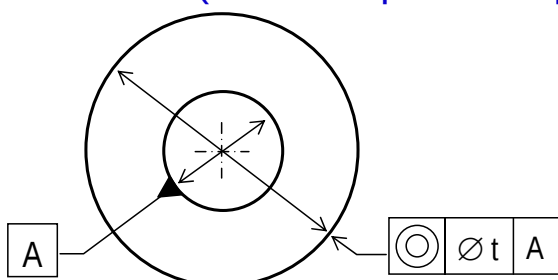
Coaxialité / Concentricité



Référence : Axe du plus petit cylindre circonscrit à la pièce

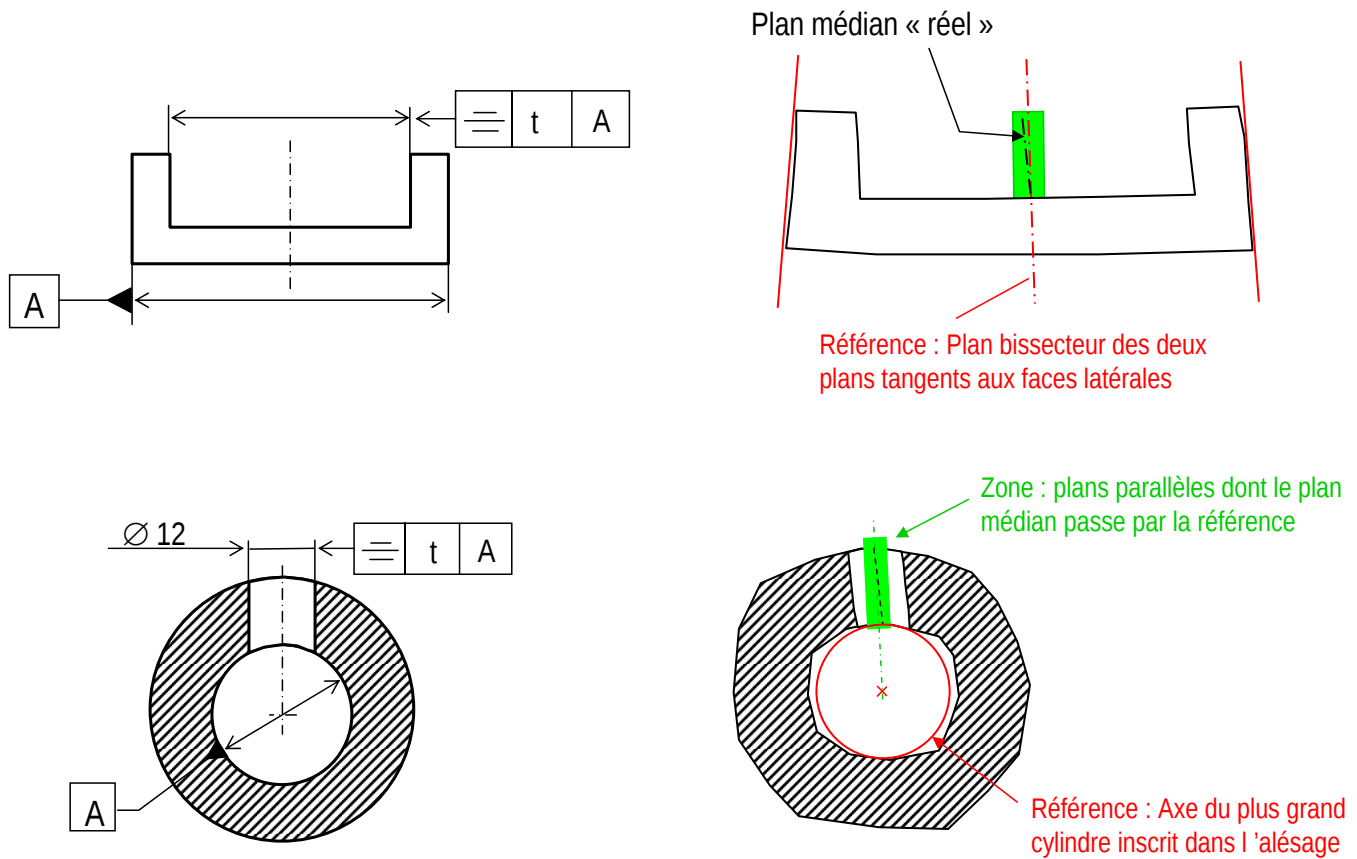


Exemple normalisé à éviter car il présente des risques d'interprétations différentes (sauf si la pièce est plate):



D'après la norme, il s'agit d'une tolérance de concentricité.

Symétrie



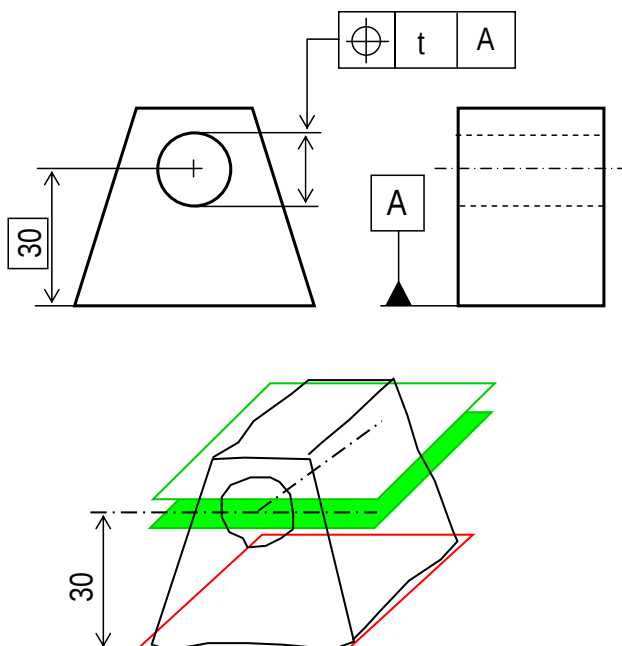
II. 19

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

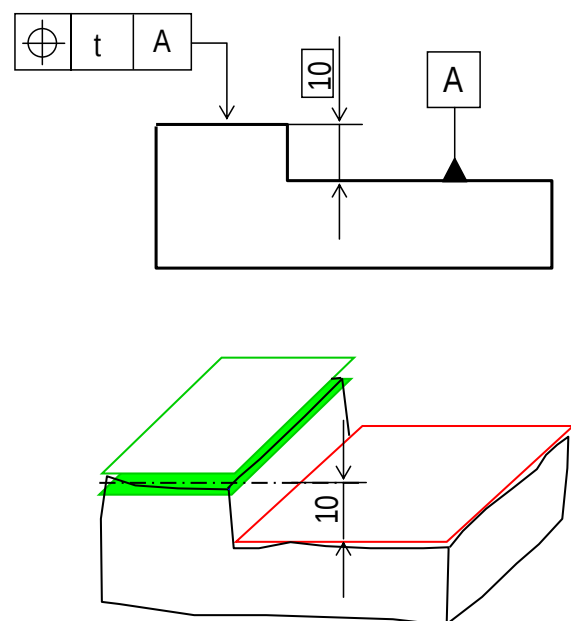
Localisation

La tolérance de localisation permet de limiter complètement ou partiellement le défaut de **position** et d'**orientation** d'un plan ou d'une ligne (axe) par rapport à une ou plusieurs références.

Droite / Plan



Plan / Plan

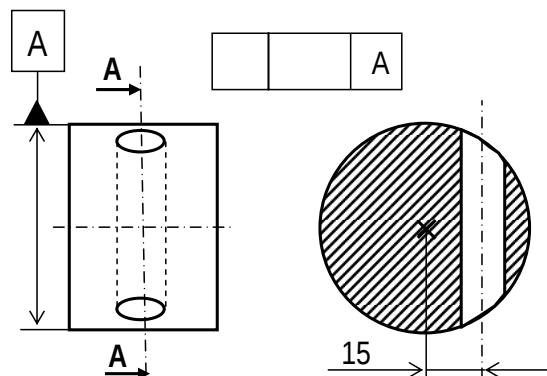
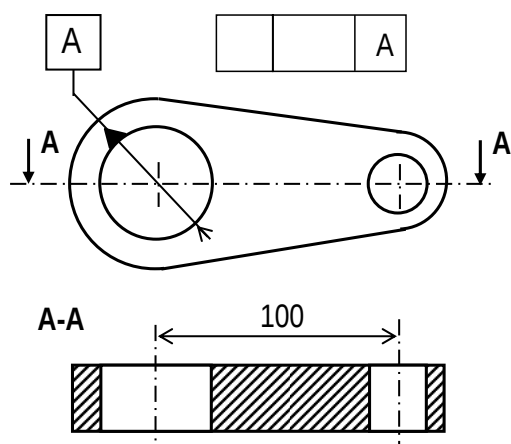


II. 20

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

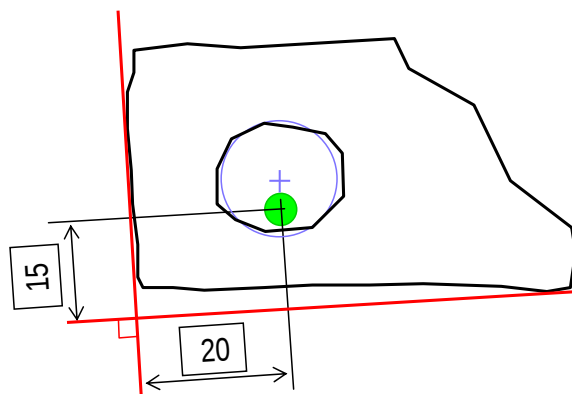
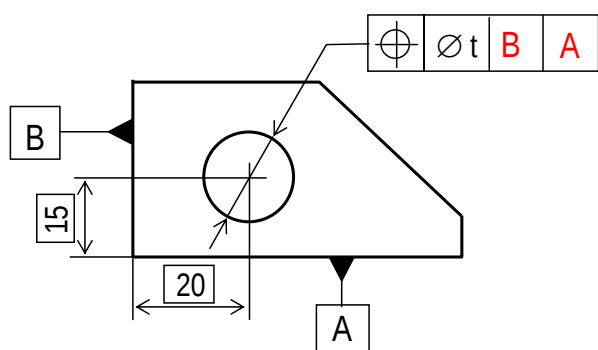
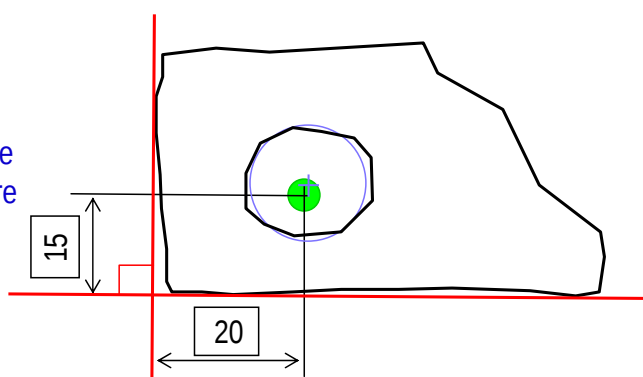
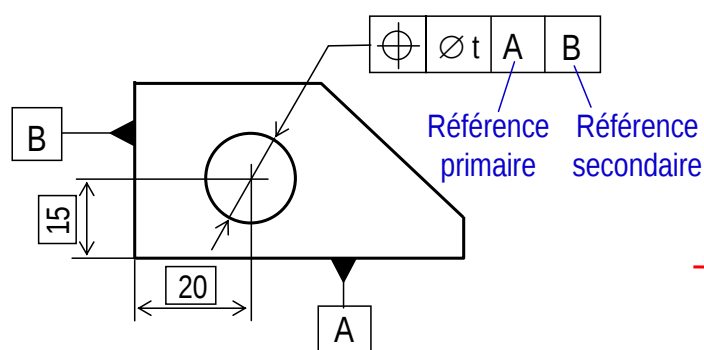
Localisation

Applications Droite/droite : Complétez les dessins ci-dessous en spécifiant une tolérance de position pour «petits diamètres» par rapport aux grands.



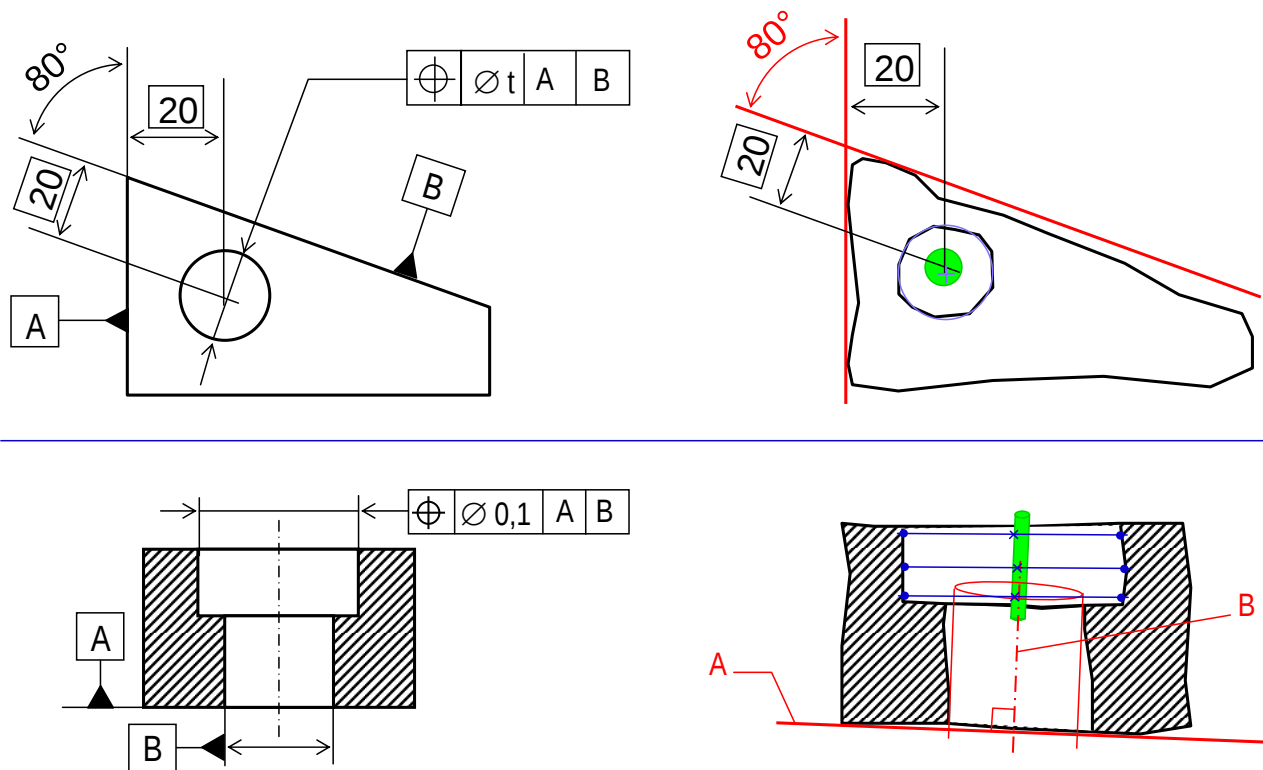
Localisation par rapport à un système de références

Lorsque l'élément est positionné par rapport à plusieurs références, elles sont généralement ordonnées et constituent un **système de références** :



Localisation par rapport à un système de références

Les références sont des surfaces théoriques se rapprochant aux mieux des surfaces réelles et ayant entre elles les orientations théoriques :



II. 23

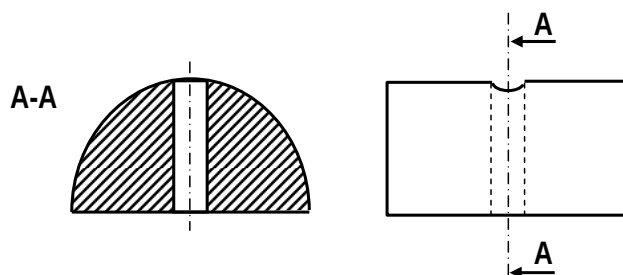
© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Applications

Localiser le plan incliné par rapport à A et B



Localiser le perçage par rapport aux autres surfaces de la pièce

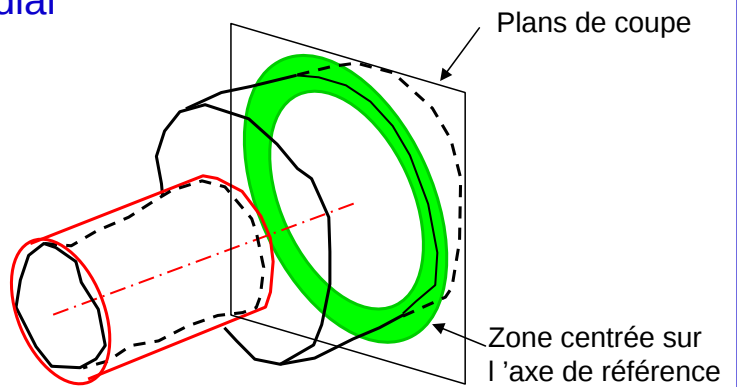
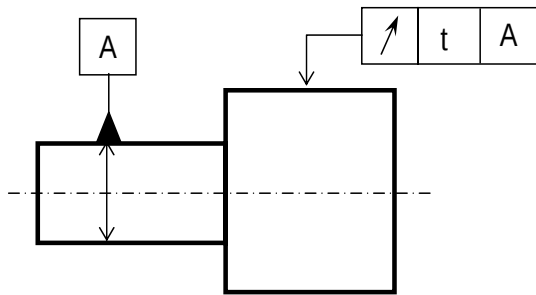


II. 24

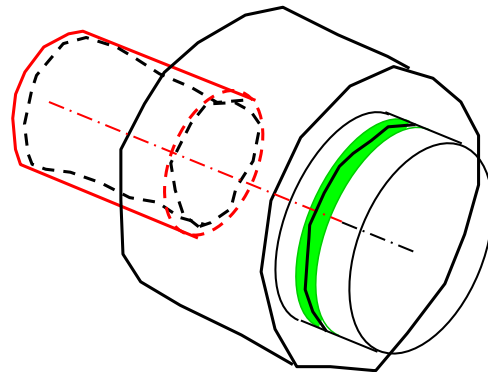
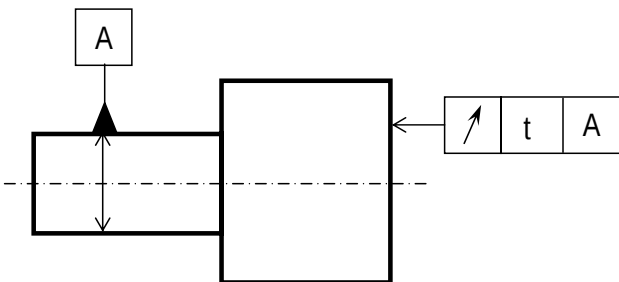
© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Tolérancement de la «forme + position»

Tolérance de battement simple radial

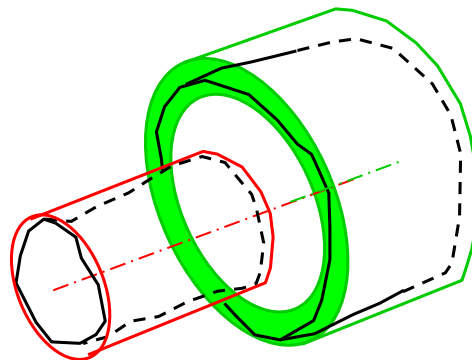
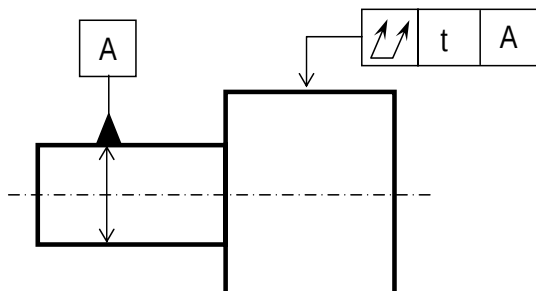


Tolérance de battement simple axial

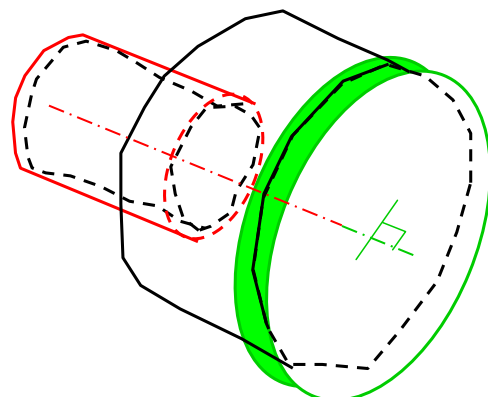
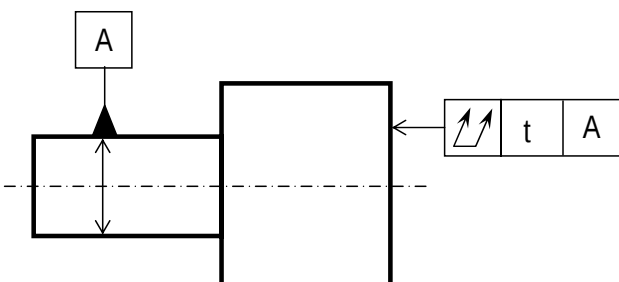


Tolérancement de la «forme + position»

Tolérance de battement total radial

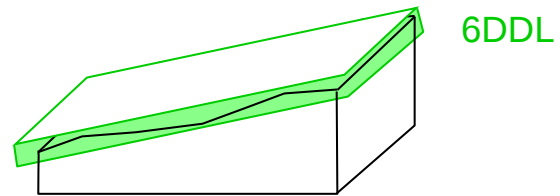


Tolérance de battement total axial

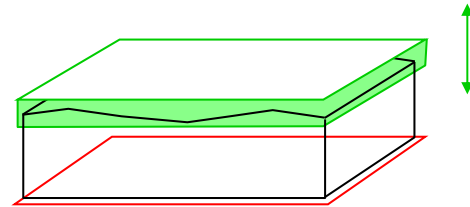


Les degrés de liberté des zones de tolérance

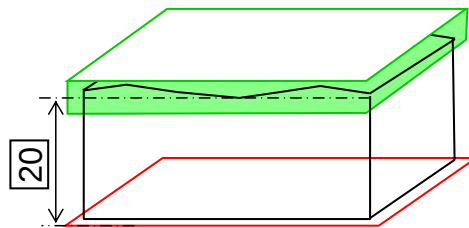
La tolérance de forme :
Limite uniquement le défaut de
forme de l'élément toléré



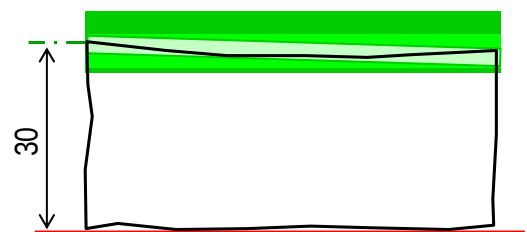
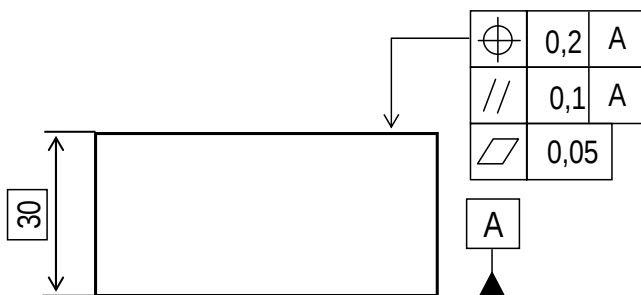
La tolérance d'orientation :
Limite en plus son défaut
d'orientation / à une autre
surface de la pièce.



La tolérance de position :
Limite en plus son défaut de
position / à une autre surface de
la pièce.



«Imbrication» des tolérances géométriques



Quelques conseils de cotation

- La géométrie optimale de la pièce (géométrie «cible» pour la fabrication) doit être complètement définie par le dessin, des cotes de distance, d'angle ou de taille et éventuellement, pour les surfaces de forme gauches, par référence à une surface CAO.
- Les références doivent être établies sur les surfaces de liaison maintenue/serrée de la pièce avec son environnement ou alors sur les surfaces de plus grande portée.
- L'élément de référence primaire doit avoir une tolérance de forme. Les éléments de référence secondaire et tertiaire, une tolérance de position ou d'orientation par rapport à la référence primaire.
- Les autres surfaces fonctionnelles (surfaces en liaison avec l'environnement) doivent obligatoirement avoir une tolérance de position par rapport aux références. La tolérance d'orientation ou de forme n'est nécessaire que si le défaut de forme ou d'orientation permis par la zone de position est jugé trop important.
- La tolérance de position est soit une zone de tolérance pour la surface elle-même si sa taille est figée (cône dont l'angle est encadré, surface gauche), soit une zone de tolérance pour son axe ou son plan médian si sa taille est tolérancée.

Étendue de la zone de tolérance

Zone restreinte: ISO 1101

Zone commune: ISO 1101

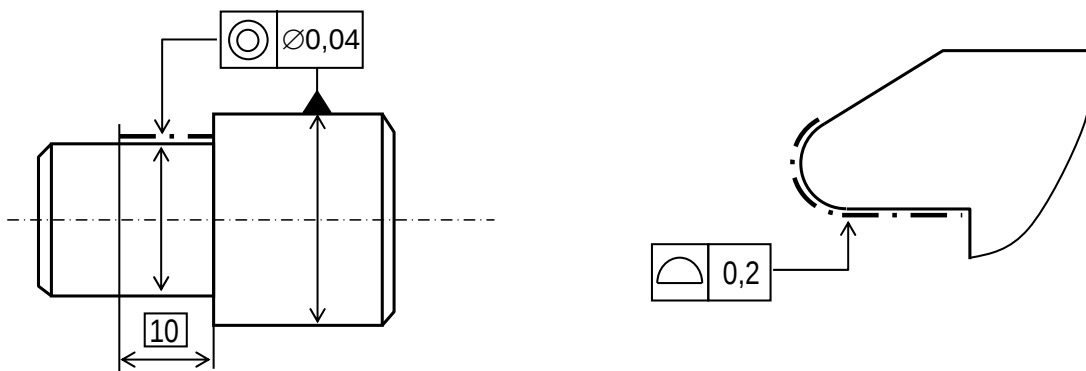
Zone projetée: NF ISO 10578:1996

Tolérancement d'orientation et de position -- Zone de tolérance projetée

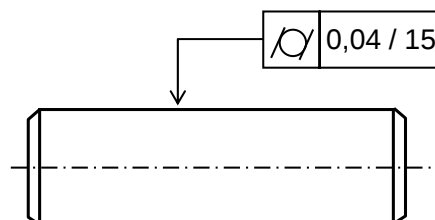
© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Zone restreinte et «zone étendue»

Un trait mixte gras, placé «sur» le(s) élément(s) tolérancé(s) permet de restreindre ou au contraire d'étendre la zone de tolérance :

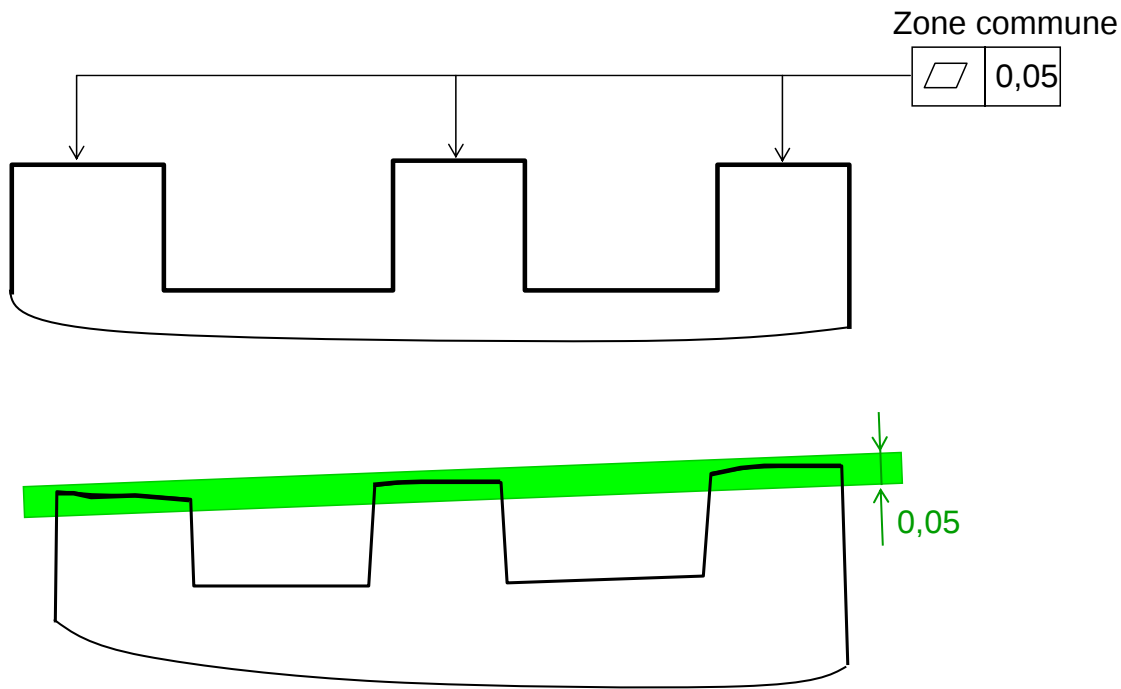


Si la zone n'est pas localisée sur la pièce, il est possible d'indiquer sa «longueur» dans le cadre :



Zone de tolérance commune

Une zone de tolérance peut être, dans certains cas, commune à plusieurs éléments de la pièce :



III. 3

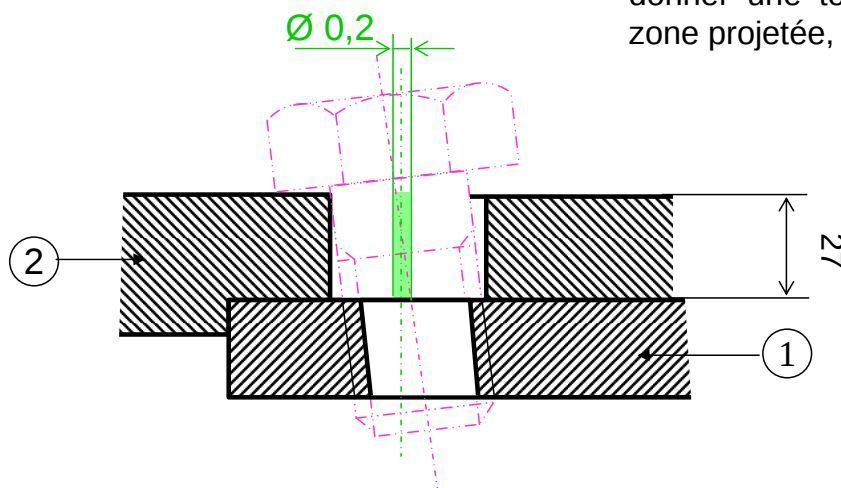
© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Zone de tolérance projetée (ISO 10578)

Une zone de tolérance peut être projetée en dehors de l'élément tolérancé. Elle concerne alors l'extension de l'élément tolérancé.

Exemple :

Le jeu minimal entre le corps de la vis et l'alésage de la pièce 2 permet de donner une tolérance de 0,2 mm, en zone projetée, à la pièce 1

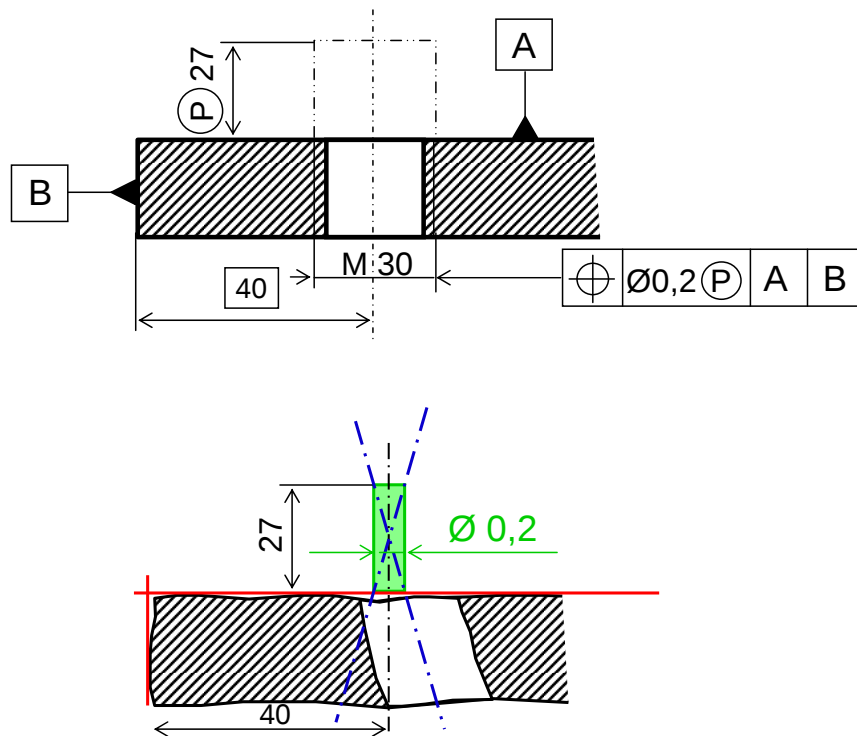


III. 4

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Cotation en zone projetée

Cotation de la pièce 1 :

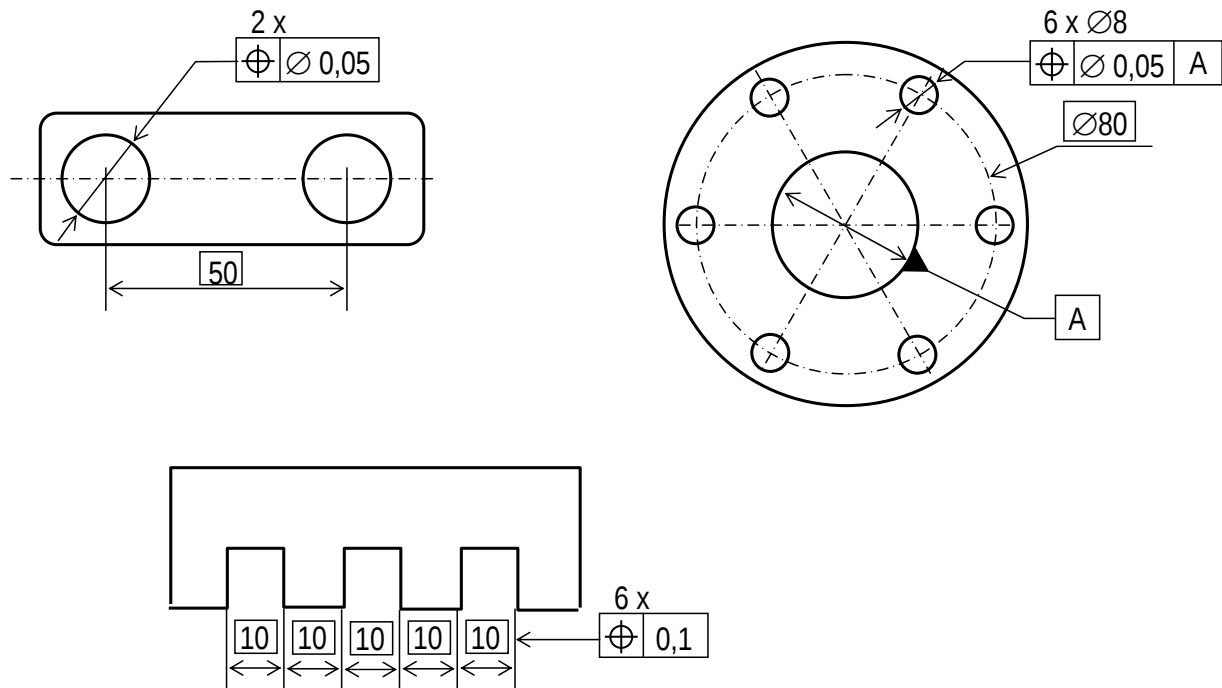


Localisation d'un groupe d'éléments

ISO 5458:1998 «Geometrical Product Specifications (GPS) -- Geometrical tolerancing -- Positional tolerancing»
(adoptée en NF EN ISO 5458)

Notation sur les dessins

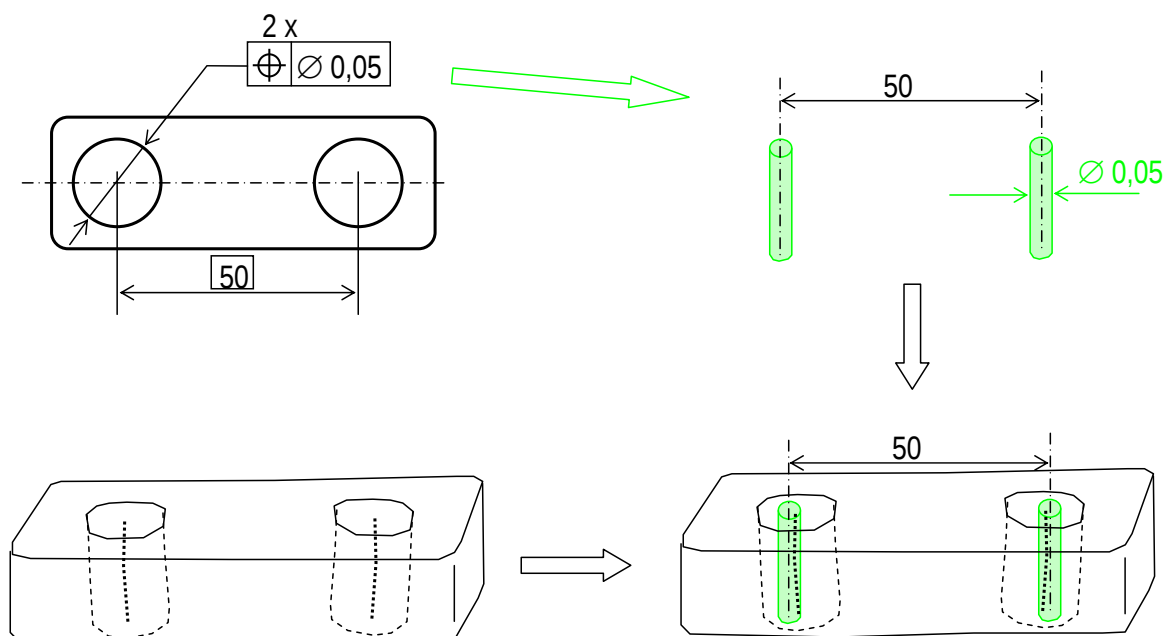
On écrit «N fois » au dessus du cadre. Exemples :



III. 7

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Signification : Groupe de zones de tolérance



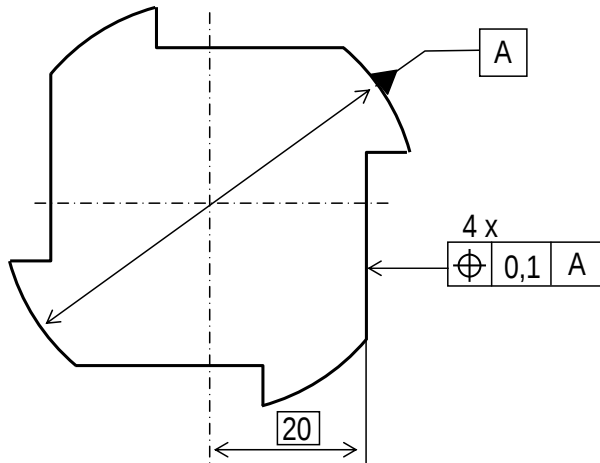
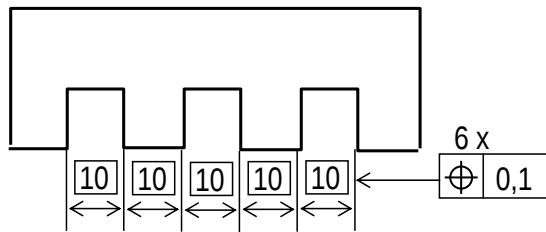
Cette notation permet de définir un «groupe de zones liées» entre-elles.

III. 8

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Application : Groupe de plans

Expliquez le sens des spécifications.

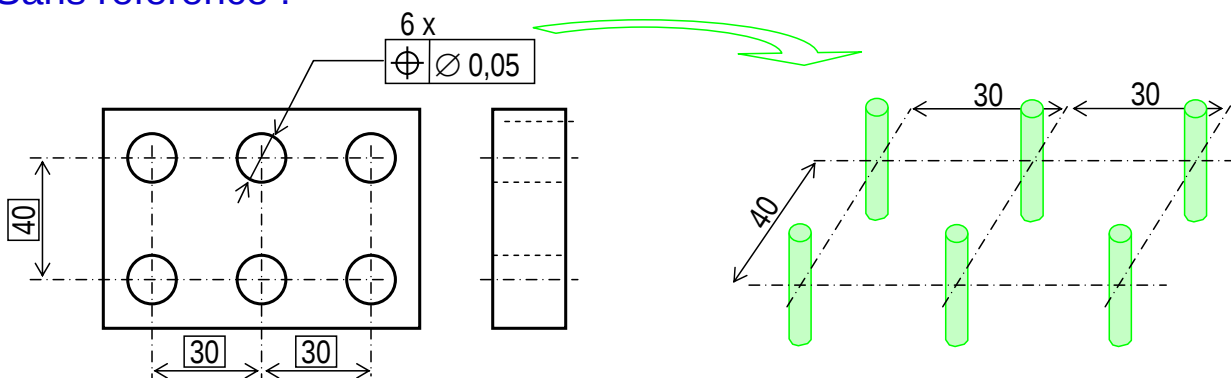


III. 9

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Localisation d'un groupe de trous

Sans référence :



Référence(s) :

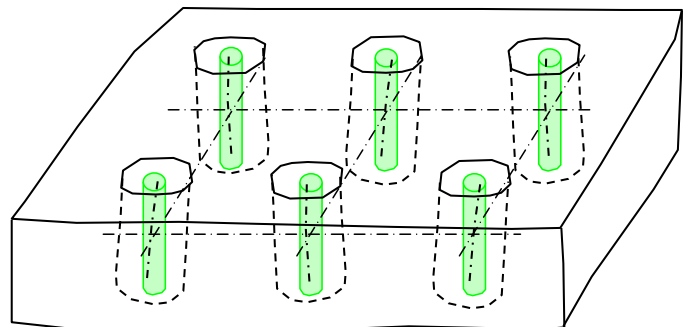
Aucune

Zone(s) de tolérance :

6 cylindres $\varnothing 0,05$ en position théorique entre-eux

Elément(s) tolérancé(s) :

Axes «réels» des trous

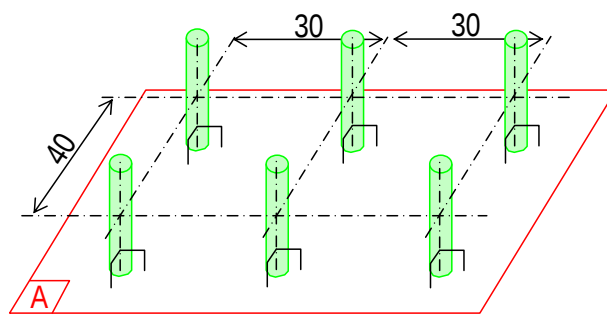
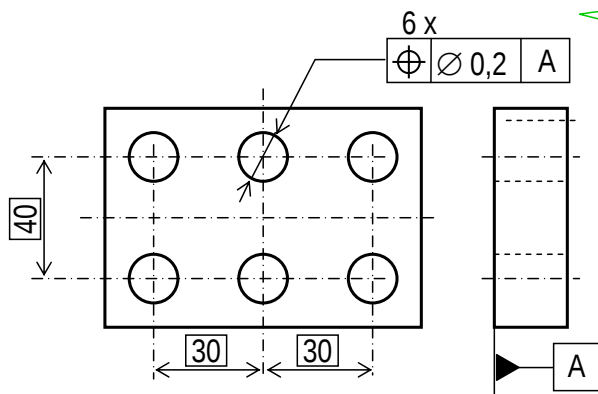


III. 10

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Localisation d'un groupe de trous

Par rapport à une référence :



Référence(s) :

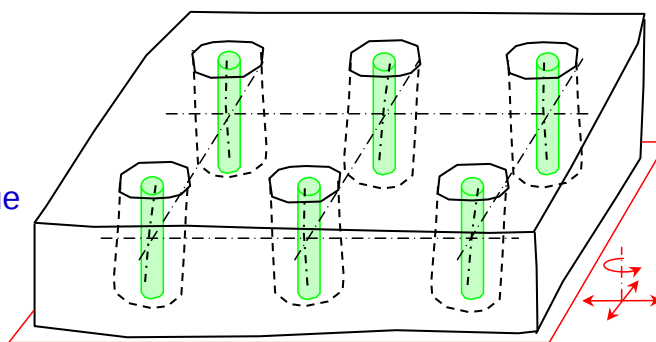
A : Plan tangent à la surface réelle

Zone(s) de tolérance :

6 cylindres $\varnothing 0,2$ en position théorique entre-eux et perpendiculaires à A

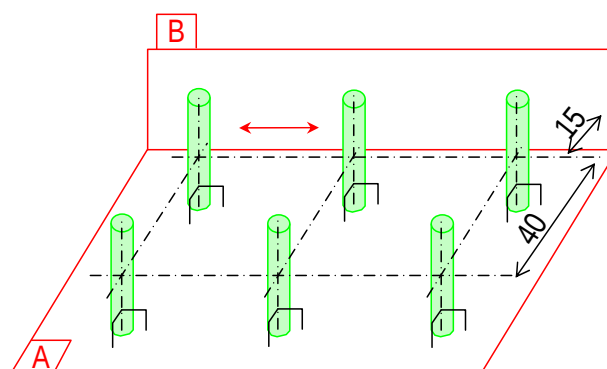
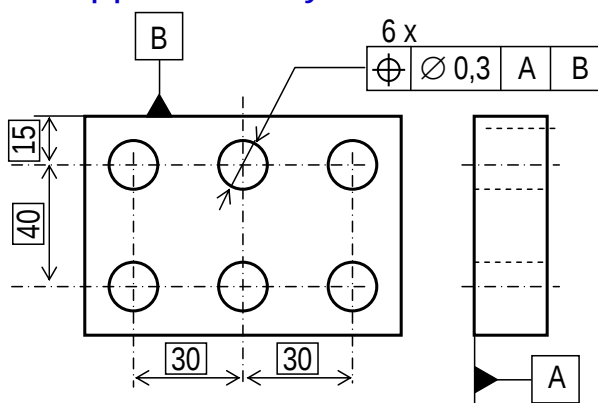
Elément(s) tolérancé(s) :

Axes «réels» des trous



Localisation d'un groupe de trous

Par rapport à un système à deux références :



Référence(s) :

A : Plan tangent à la surface réelle

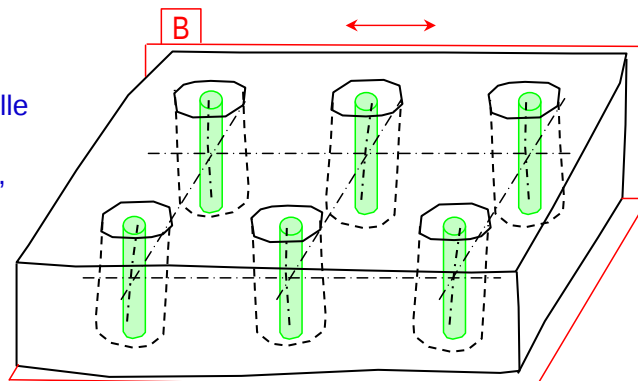
B : Plan perpend. à A et tangent à la surface réelle

Zone(s) de tolérance :

6 cylindres $\varnothing 0,3$ en position théorique entre-eux, perpendiculaires à A, à 15 mm de B

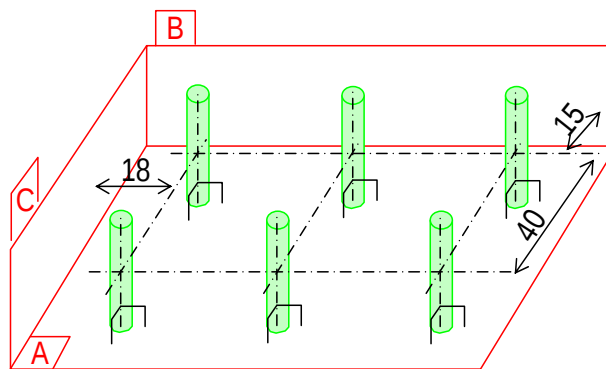
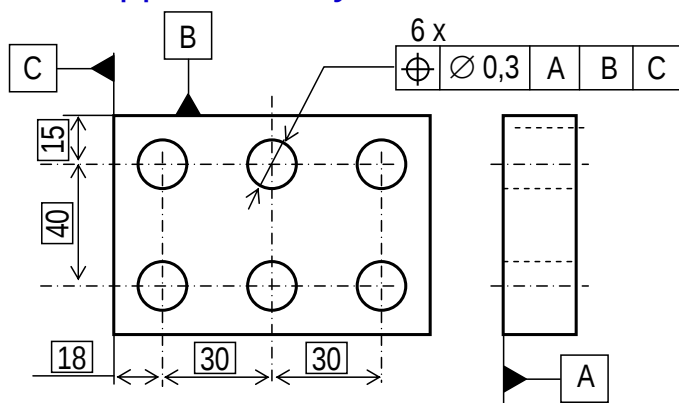
Elément(s) tolérancé(s) :

Axes «réels» des trous



Localisation d'un groupe de trous

Par rapport à un système à trois références :



Référence(s) :

A : Plan tangent à la surface réelle

B : Plan perpend. à A et tangent à la surface réelle

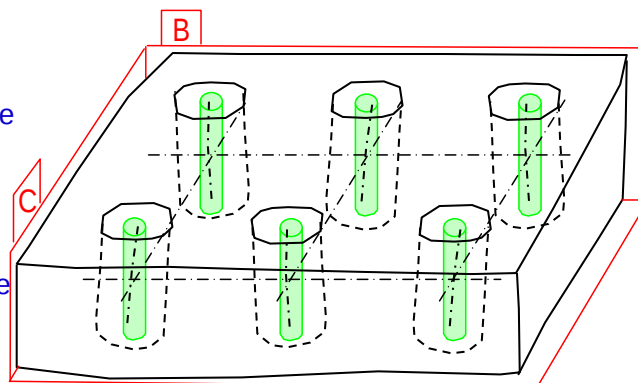
C : Plan perpend. à A et à B, tangent à la surface réelle

Zone(s) de tolérance :

6 cylindres $\varnothing 0,3$ en position théorique entre-eux, perpendiculaires à A, à 15 mm de B et à 18 mm de C

Elément(s) tolérancé(s) :

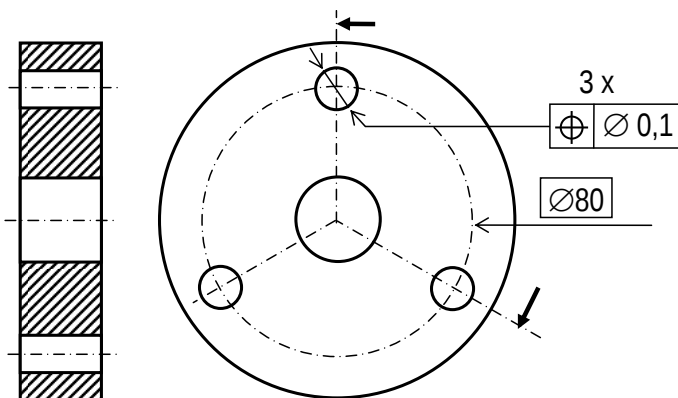
Axes «réels» des trous



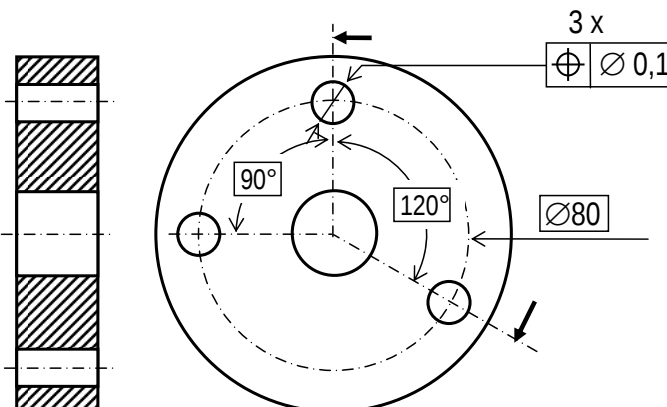
Groupe de trous positionnés sur un cylindre

Si les trous sont régulièrement répartis sur un cylindre (fictif), la cotation des angles n'est pas obligatoire :

Pas de cote d'angle entre les trous : Ils sont régulièrement espacés tous les 120°

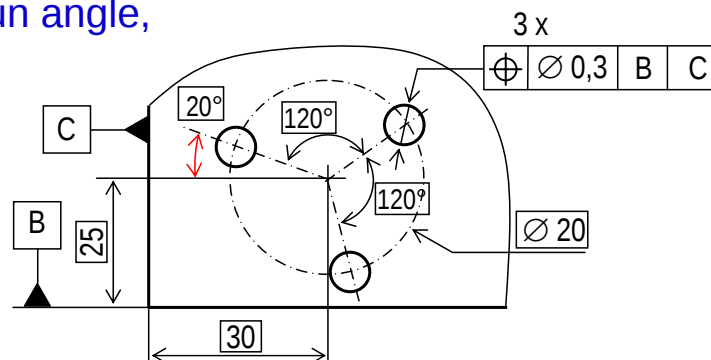


Sinon, les angles sont cotés :

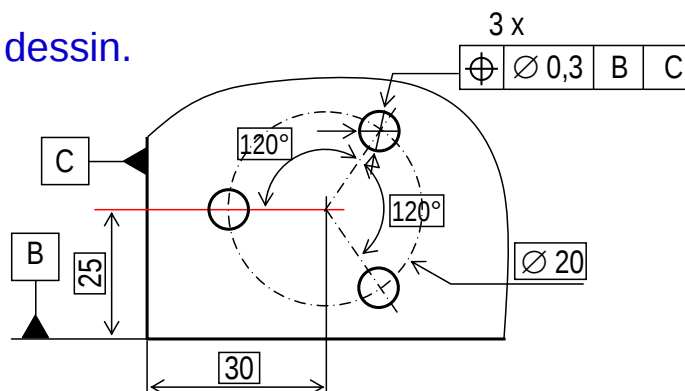


Positionnement du groupe de trous

Le groupe de trous est localisé par l'axe du cylindre de positionnement et orienté, soit explicitement par un angle,

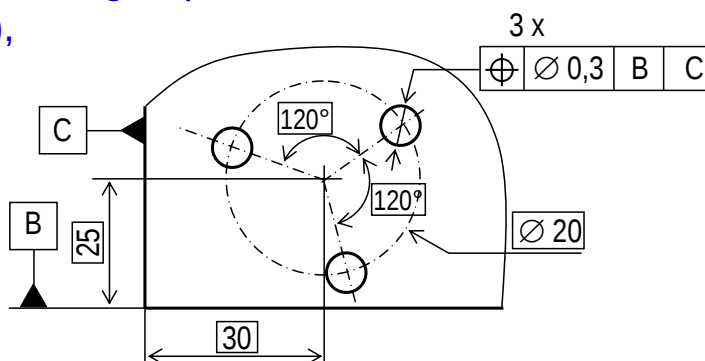


soit implicitement par un trait du dessin.

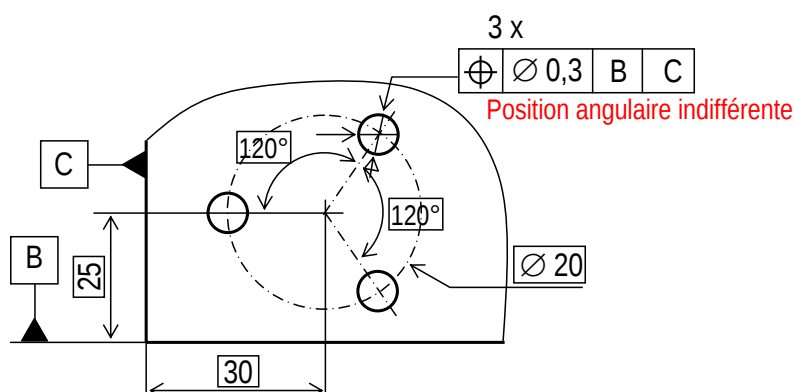


Positionnement du groupe de trous

Dans le cas où l'orientation du groupe est indifférente, soit on ne définit pas d'orientation (à éviter),

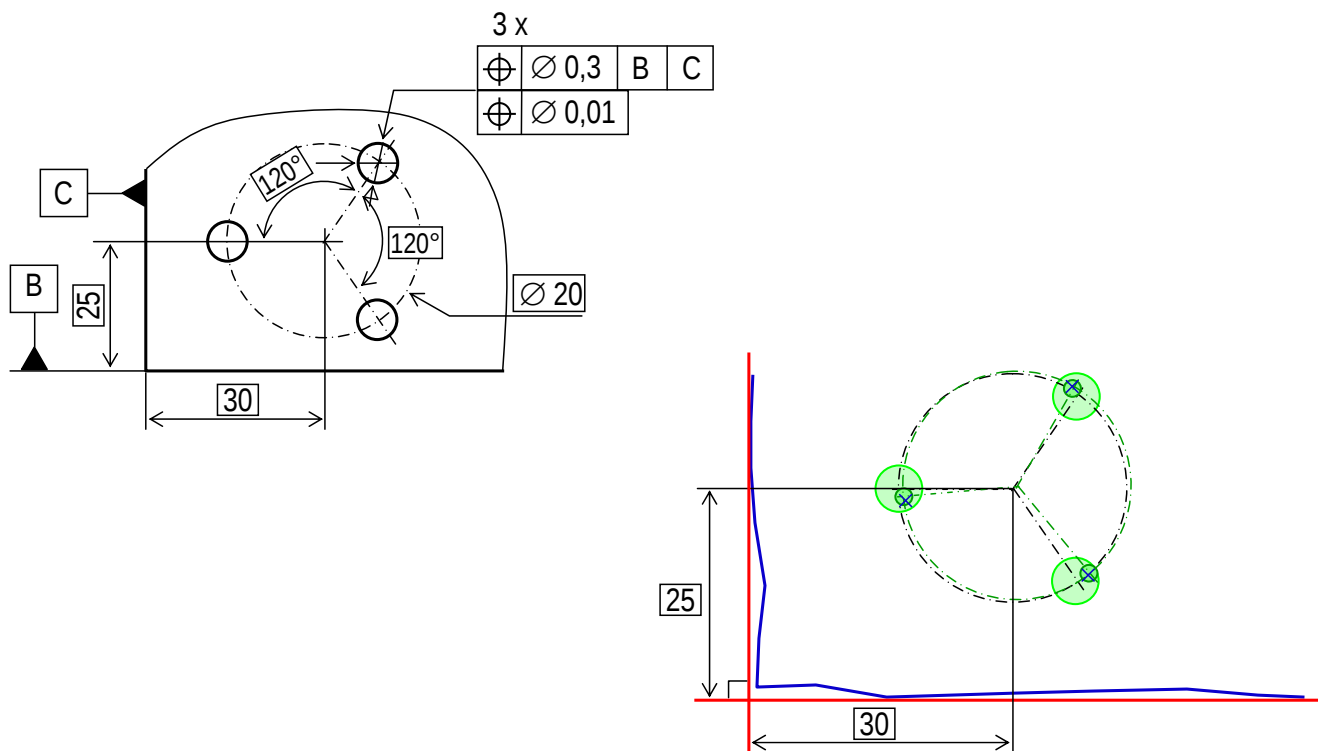


soit on l'indique explicitement sous le cadre de tolérance.



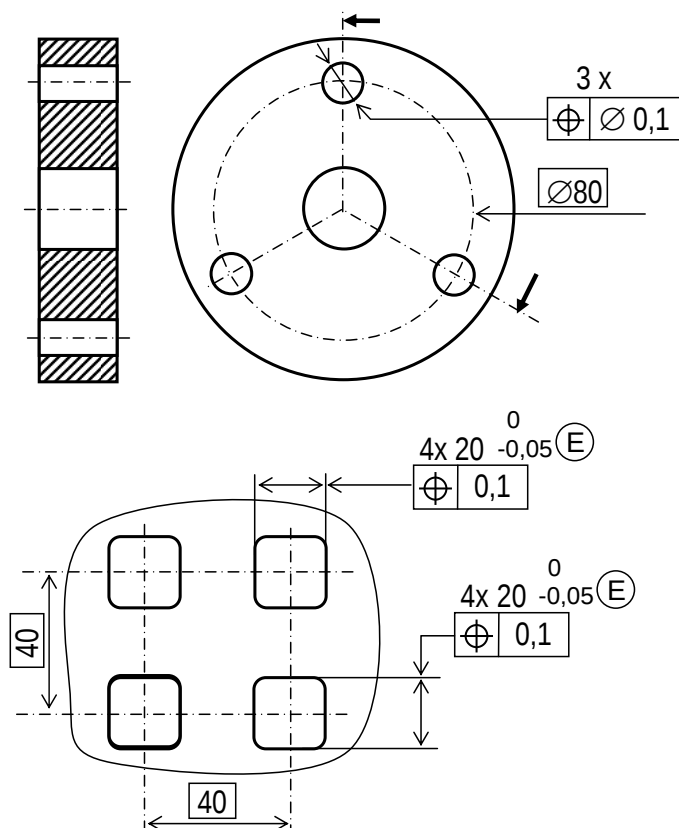
Double localisation

Généralement, la localisation des trous entre-eux doit être plus précise que la localisation du groupe lui même :



Application

Expliquez le sens des spécifications ci-dessous :



Références et Systèmes de références

ISO 5459:1981 Technical drawings -- Geometrical tolerancing -- Datums and datum-systems for geometrical tolerances

ISO 5458:1998 Geometrical Product Specifications (GPS) -
- Geometrical tolerancing -- Positional tolerancing (NF EN ISO 5458:1999)

NF E 10-105:1990 Méthodes de mesurage dimensionnel --
Sixième partie: Établissement des références spécifiées

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Avertissement :

La présentation qui suit essaie de généraliser les quelques exemples normalisés pour proposer un modèle cohérent de construction des références et des systèmes de références.

Les systèmes de références sont vus comme une construction hiérarchique de références qui peuvent être des références simples, des références communes ou des références établies par un groupe d'éléments ou même construites sur des références partielles. Ceci n'est pas la présentation normalisée qui place ces différentes notions (référence simple, commune ou système de références) au même niveau.

Cependant les indications présentées sont tout à fait conformes à l'ISO.

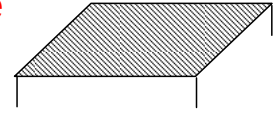
Présentation générale

Référence : *Elément géométrique unique* du type point, droite ou plan

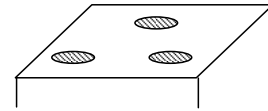
Nous ajouterons qu'une référence peut aussi être une **construction de ces éléments** : «plan+droite», «droite+point», «plan+droite+point»

Une référence peut être **établie** par :

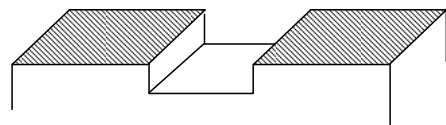
- Toute ou une partie d'une même surface : **Référence simple**



- Une ou plusieurs parties d'une même surface : **Références partielles**



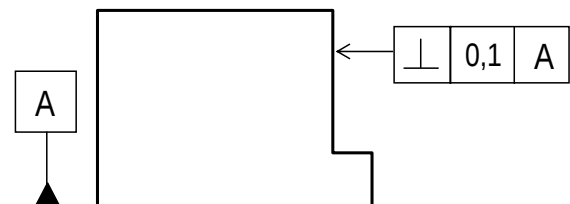
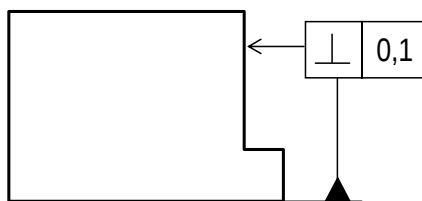
- Plusieurs surfaces : **Référence commune et groupe d'éléments pris en référence.**



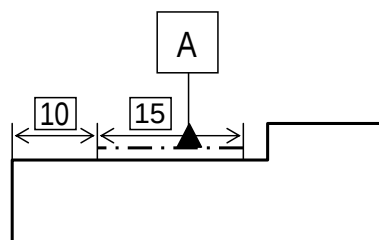
Une référence peut être utilisée **seule** ou comme composante d'un **système de références.**

Référence établie sur une surface : Référence simple

La référence est identifiée *par un triangle, de préférence noirci, terminant une ligne de repère, reliée soit au cadre de tolérance soit à un cadre dans lequel est inscrit une lettre majuscule.*



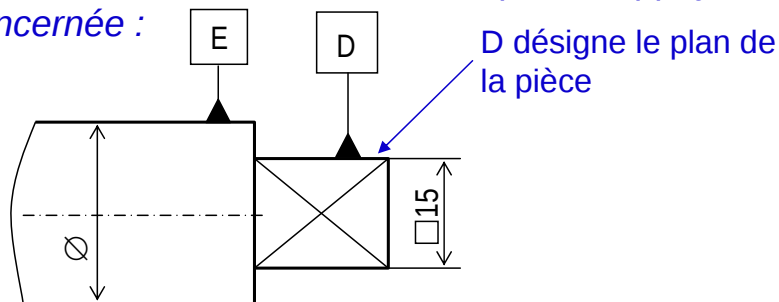
Si la référence est établie sur une zone restreinte de la surface, cette zone peut être indiquée comme suit :



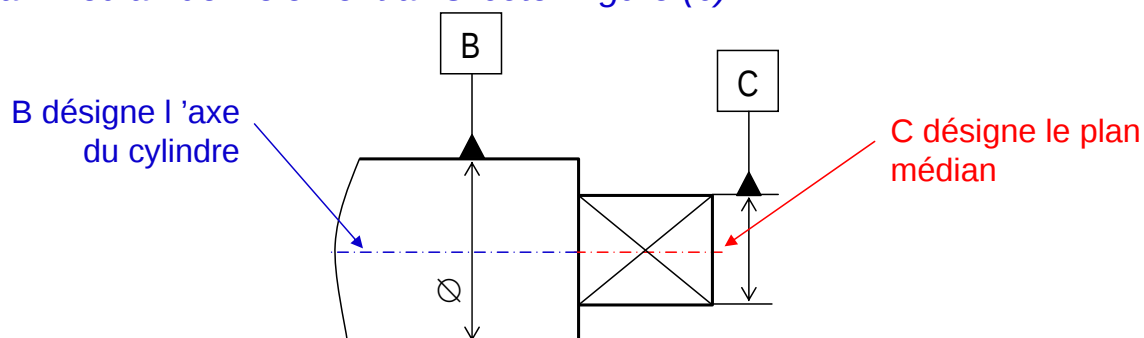
Sauf pour le cylindre, cette notation est souvent ambiguë. Nous conseillons, dans ce cas, de plutôt utiliser les références partielles.

Le triangle est placé :

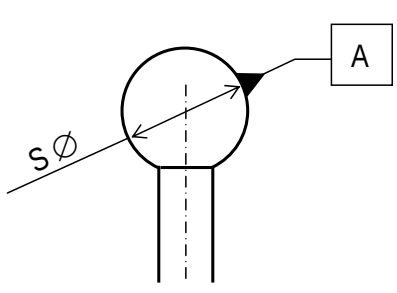
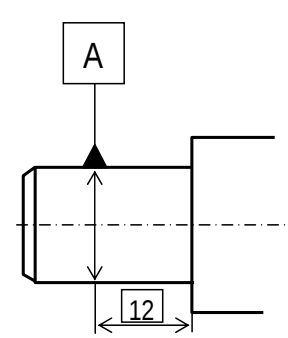
- sur le contour de l'élément ou sur son prolongement (mais clairement séparé de la ligne de cote) si l'élément est une droite ou un plan s'appuyant sur la ligne ou la surface concernée :



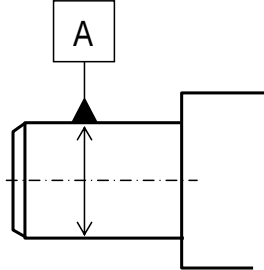
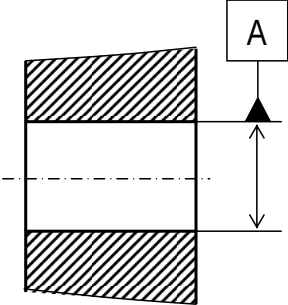
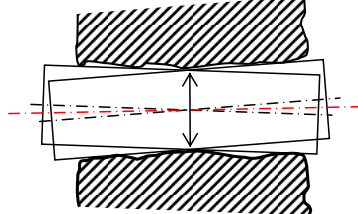
- dans le prolongement de la ligne de cote lorsque l'élément est l'axe ou le plan médian de l'élément ainsi coté : figure (b)



Nature de la référence simple

Nature	Indication	Signification
Point		Centre de la sphère enveloppe
		Centre du cercle minimal circonscrit

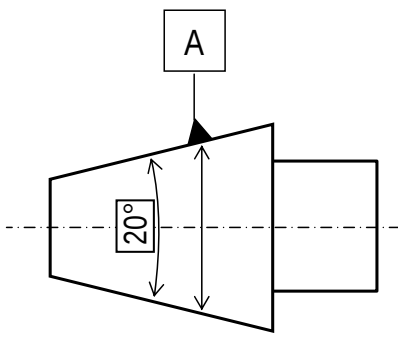
Nature de la référence simple

Nature	Indication	Signification
Droite		<i>Axe du cylindre minimal circonscrit</i>
		<i>Axe du cylindre maximal inscrit</i> <i>Note : si le cylindre peut avoir plusieurs positions, la position de référence est celle qui assure un débattement angulaire minimal.</i> 

III. 25

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

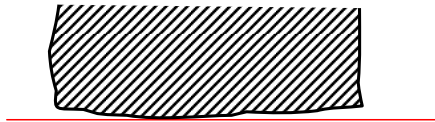
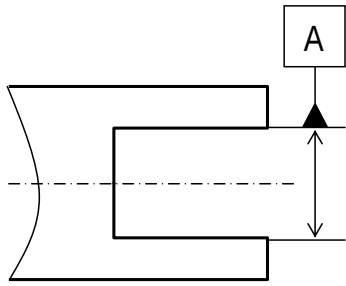
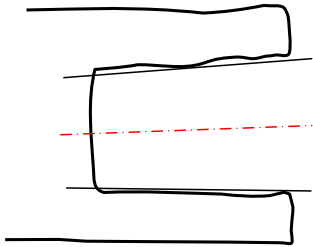
Nature de la référence simple

Nature	Indication	Signification
Droite		<i>Axe du cône s'adaptant le mieux à la surface réelle (pouvant donc ne pas avoir l'angle nominal d'ouverture spécifié)</i>

III. 26

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Nature de la référence simple

Nature	Indication	Signification
Plan		<i>Plan tangent à la surface réelle</i> <i>Note : si le plan peut avoir plusieurs positions, la position de référence est la position moyenne</i>  Position moyenne qui répartit les écarts
		<i>Plan médian (bissecteur) aux deux plans tangents à chacune des surfaces réelles</i>  Plan bissecteur

III. 27

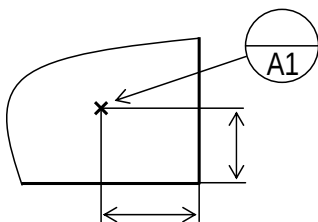
© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Référence établie sur une ou plusieurs parties d'une même surface : Références partielles

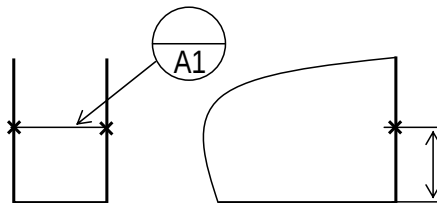
Une référence partielle est un **point**, une **ligne** ou une **zone** (plane d'après les exemples de la norme) en contact avec la surface réelle.

Elle est identifiée par une lettre suivie d'un numéro placés dans la partie inférieur d'un cadre circulaire :

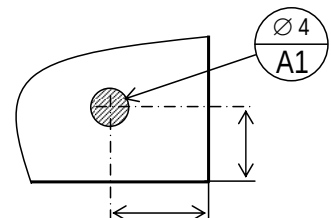
Référence partiel : Point



Référence partiel : Ligne



Référence partiel : Zone



La partie supérieur du disque reste vide dans le cas d'une ligne ou d'un point et peut contenir la taille de la zone.

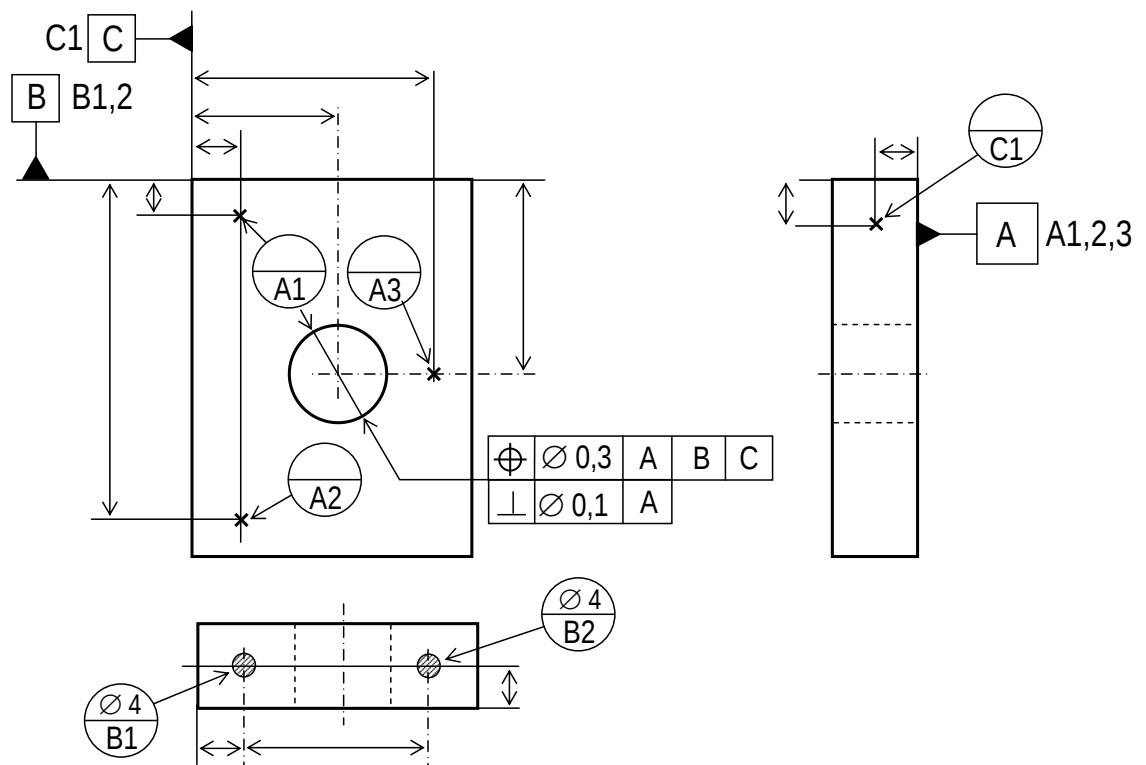
Les cotes positionnant les références partielles devraient être encadrées, bien qu'il n'y aucune précision par la norme sur ce point.

III. 28

© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

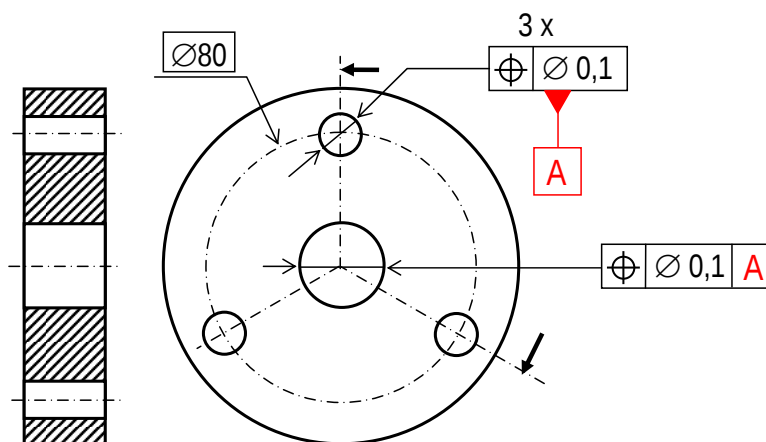
Association de références partielles

Les références partielles sont généralement associées entre elles pour former une référence de type plan ou droite :



Référence établie par plusieurs surfaces : Groupe de trous pris en référence

L'ISO 5459 sur les références, donne la possibilité de prendre en référence un groupe de trous de la façon suivante :

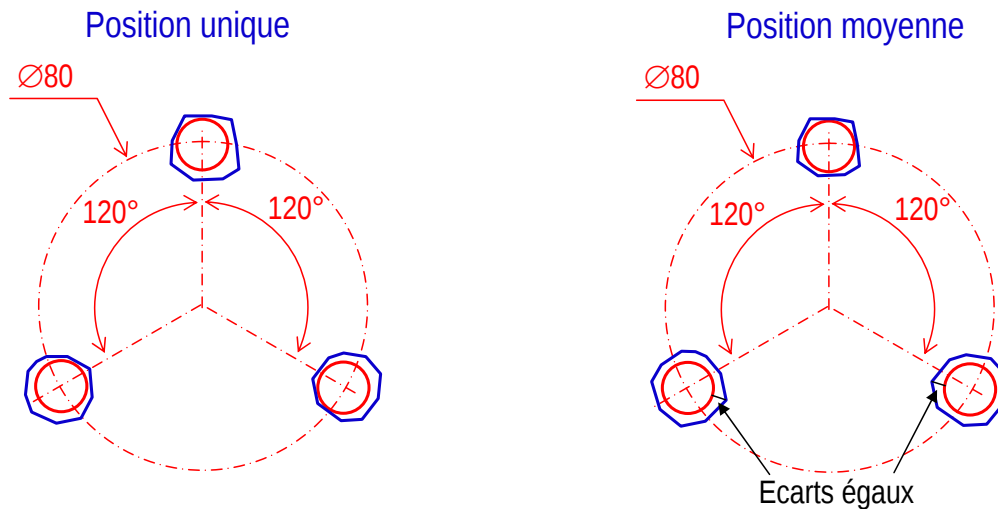


Groupe de trous pris en référence : Signification

L'ISO 5458 sur la localisation en donne la signification :

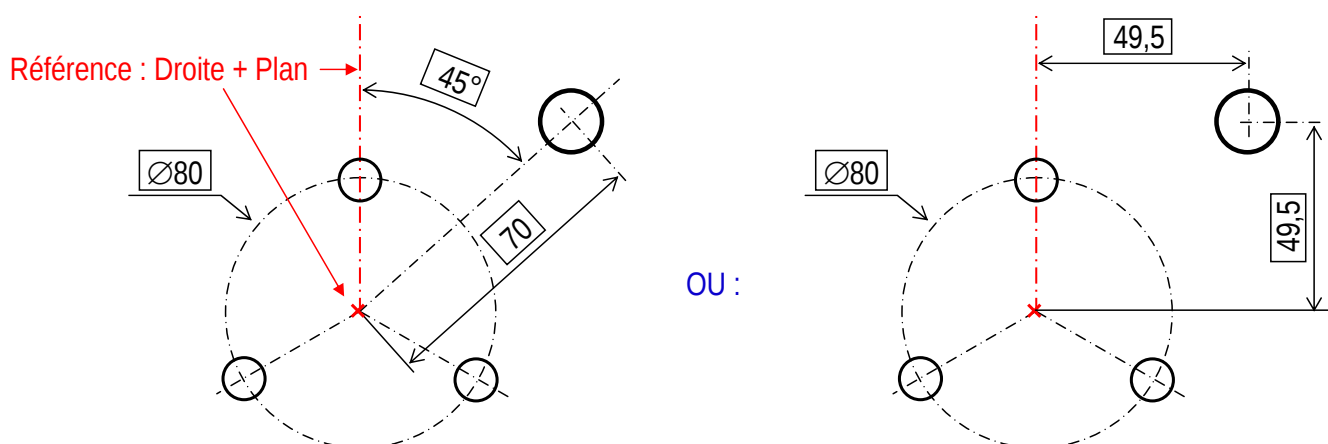
Pour définir l'élément géométrique à partir des éléments réels, il convient de rechercher la position d'un groupe de cylindres, eux-mêmes en position théorique entre eux, ayant un diamètre identique, le plus grand possible, et entrant simultanément dans les éléments réels du groupe...

Dans le cas où le groupe de cylindres peut occuper plusieurs positions, la position de référence est la position moyenne qui répartit les écarts.



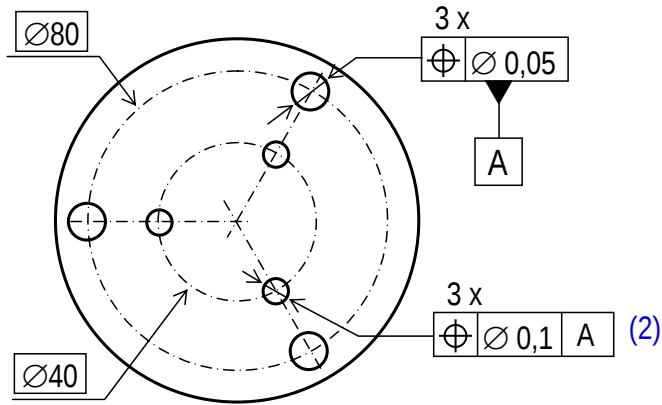
Référence définie par un groupe de trous

La référence définie par un groupe de trous peut être considérée comme étant constituée d'une droite (axe du cylindre de positionnement des trous) et d'un plan passant par la droite et servant de référence en orientation.



Application

Expliquer la signification de la tolérance numérotée (2) :



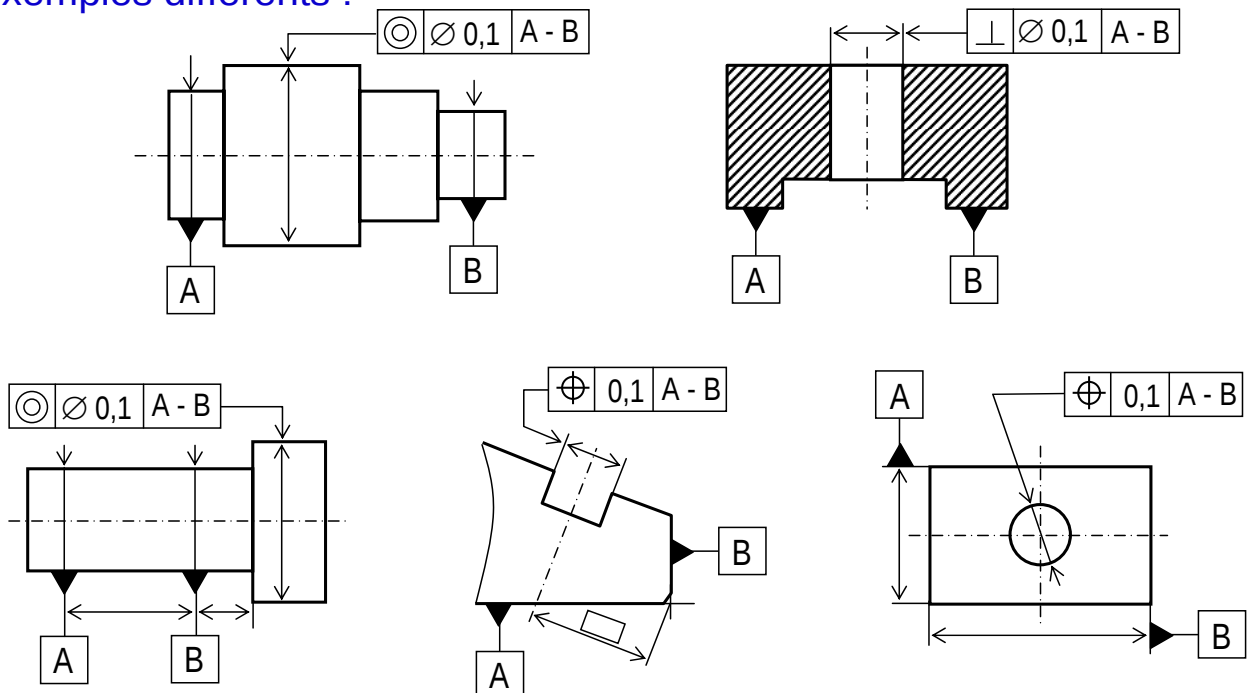
Référence(s) :

Zone(s) de tolérance :

Elément(s) tolérancé(s) :

Référence établie par plusieurs surfaces : Référence commune

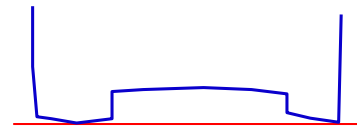
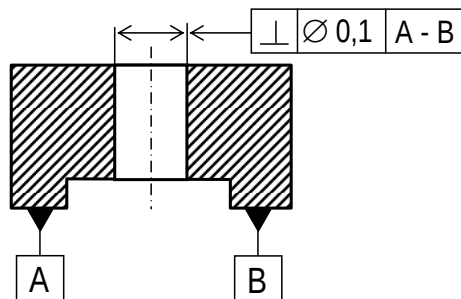
Chaque surface est identifiée par une lettre. Les lettres sont reliées par un trait d'union dans le cadre de tolérance. Les normes présente 5 exemples différents :



Signification des références communes

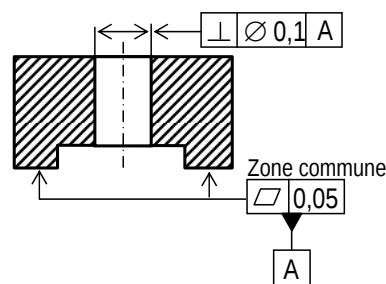
La référence commune est un élément géométrique unique de type point, droite ou plan, commun aux deux surfaces identifiées sur la géométrie nominale.

Cependant, la procédure pour établir cet élément est particulière à chaque exemple normalisé.

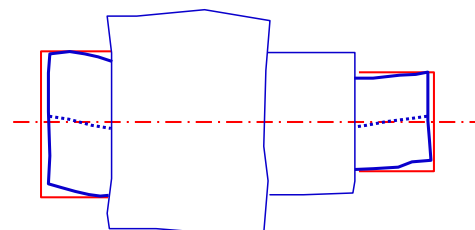
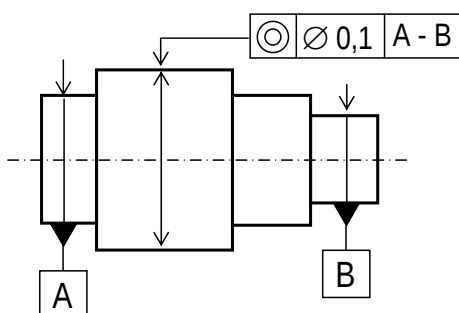


A-B : plan tangent aux deux surfaces réelles

Pour ce cas, il existe une autre indication. A désigne le même plan que A-B

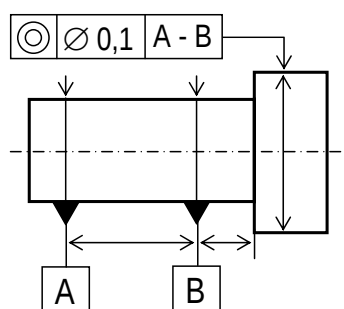


Signification des références communes



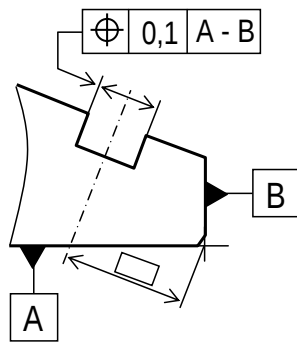
A-B : axe des deux cylindres coaxiaux circonscrits aux surfaces cylindriques réelles

Remarque : Cette définition est ambiguë car il existe une infinité de solutions !

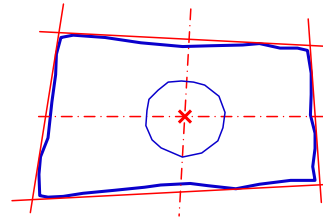
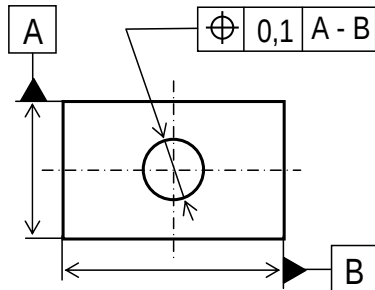


A-B : axe passant par les centres des 2 cercles minimaux circonscrits

Signification des références communes



A-B : intersection des deux plans tangents à chacune des surfaces réelles



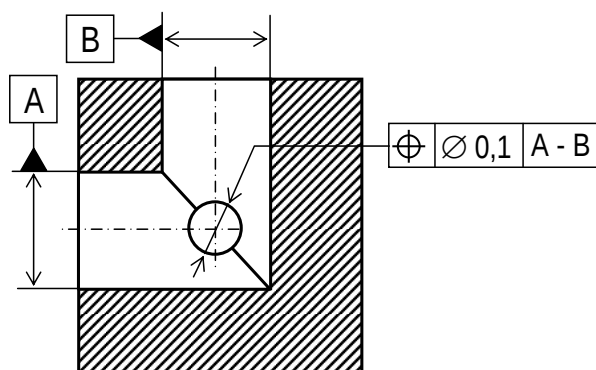
A-B : ...droite établie par l'intersection des plans médians de chacun des couples de faces réputées parallèles

Signification des références communes : Conclusion

=> Pas de règle générale de construction des références communes :

Conséquence : La notion de référence commune est difficile à utiliser pour d'autres géométries que celles présentées par la norme (risque d'ambiguïté).

Exemple : Cet exemple n'est pas présenté dans la norme.



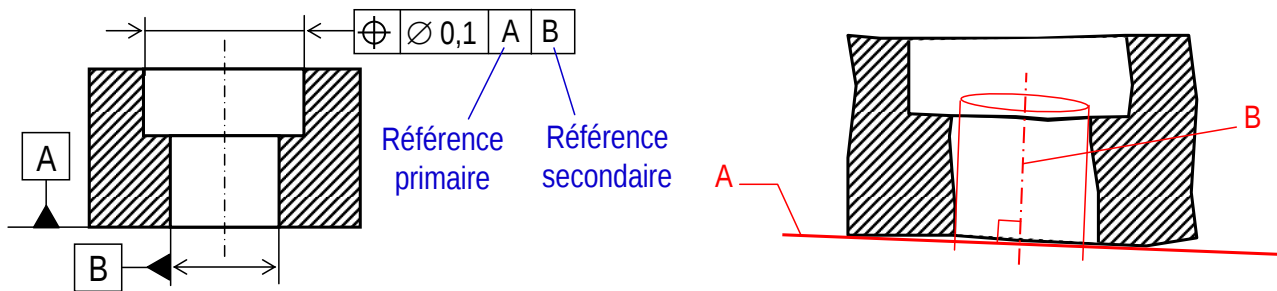
Quel est l'élément géométrique de référence ?

Comment est il construit sur la pièce réelle ?

Les systèmes de références

Un système de références est une construction hiérarchisée de deux ou trois références.

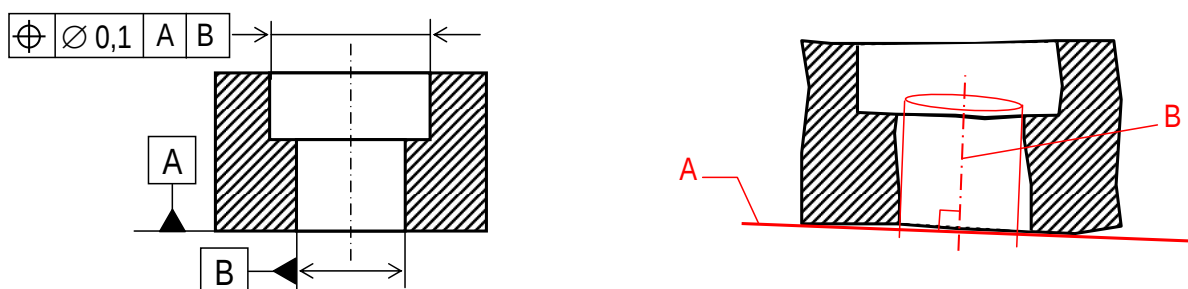
Les références sont les plans, les axes ou les centres de surfaces théoriques «ajustées» aux surfaces réelles de façon ordonnées et en respectant les positions nominales entre elles définie par le dessin.



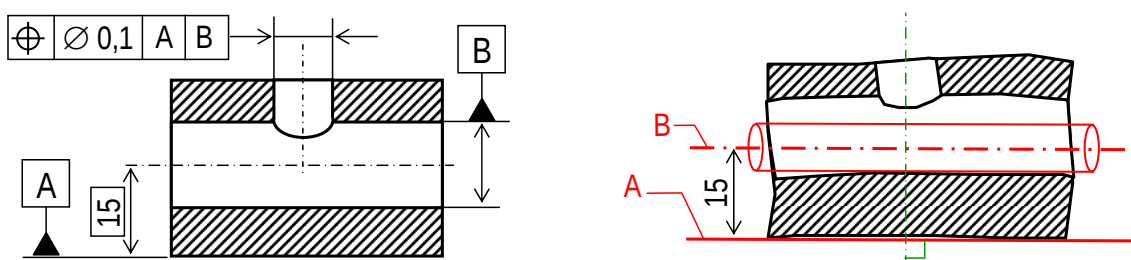
Les systèmes de références

Un système de références est une construction hiérarchique de deux ou trois références.

Les références sont «ajustées» aux surfaces réelles en respectant entre elles leurs orientations nominales :



Aucun exemple normalisé ne permet de savoir si la position nominale doit aussi être respectée lors de l'association des références :



Les systèmes de références

D'après les exemples normalisés, les références d'un système peuvent être :

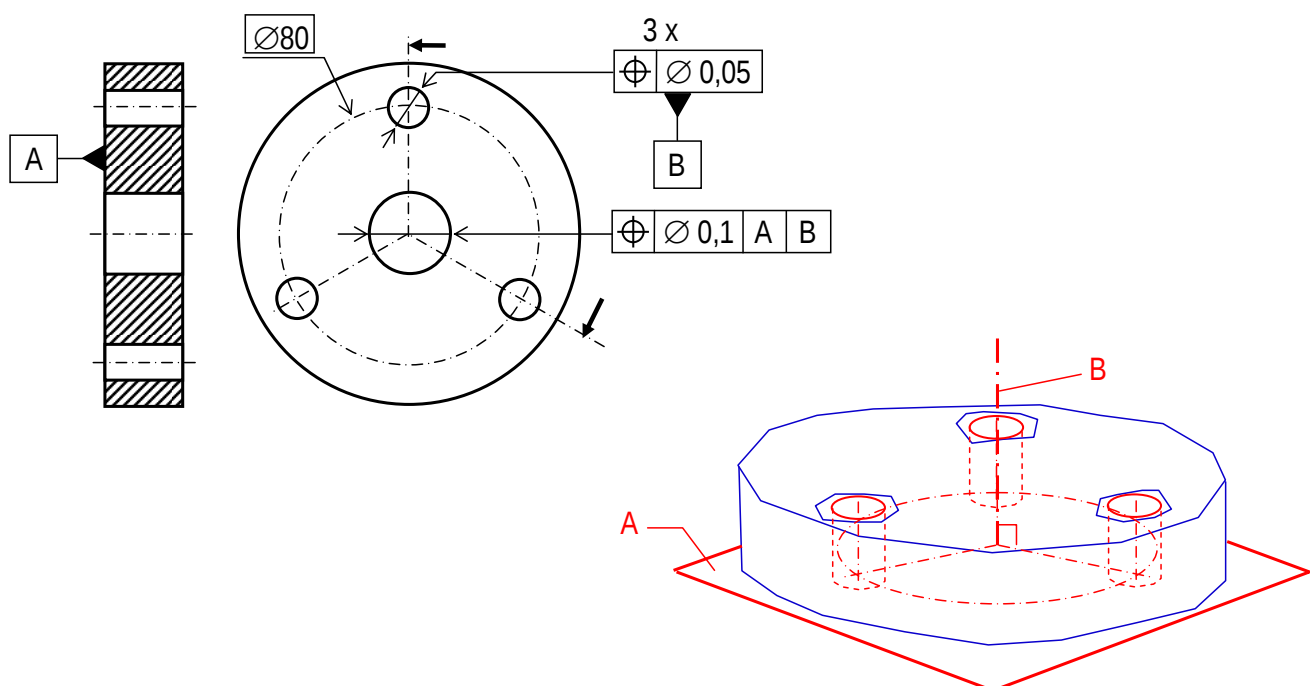
- des **références simples**
- des **références établies par un groupe de trous**
- des références constituées de **références partielles**
- Nous ajouterons certains cas de **référence commune**.

Cette présentation des références et des systèmes de références n'est pas celle faite par la norme. Dans la norme, on parle de référence simple lorsqu'une seule lettre apparaît dans le cadre de tolérance.

Note : Pour limiter leurs défauts de forme ou d'orientation, les surfaces servant à établir les références doivent être tolérancées par rapport aux références primaires.

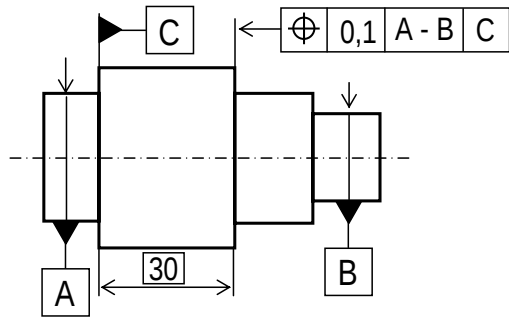
Groupe de trous pris en référence dans un système

... quand le groupe d'éléments intervient comme composante secondaire ou tertiaire du système de référence, ce groupe est en position théorique par rapport à la (ou aux) composante(s) primaire(s).



Applications

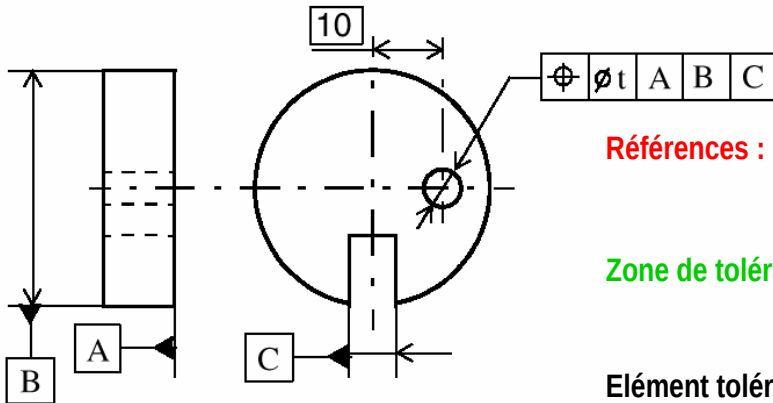
Expliquer la signification des tolérances ci-dessous :



Références :

Zone de tolérance :

Élément tolérancé :



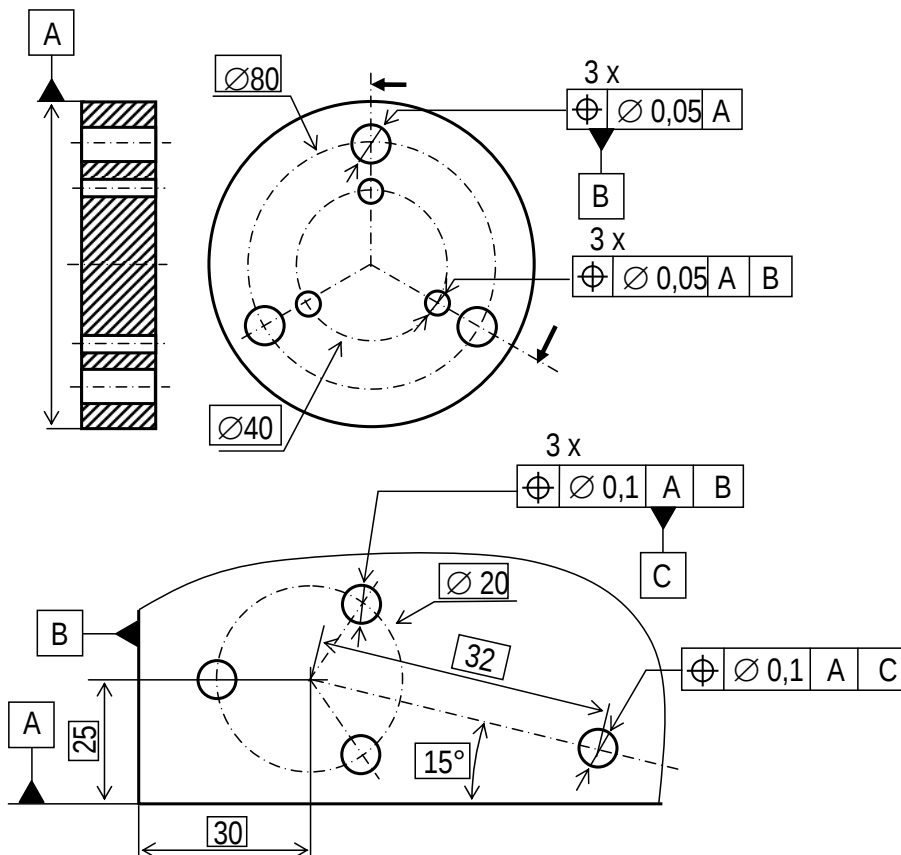
Références :

Zone de tolérance :

Élément tolérancé :

Applications

Expliquer la signification des tolérances ci-dessous :



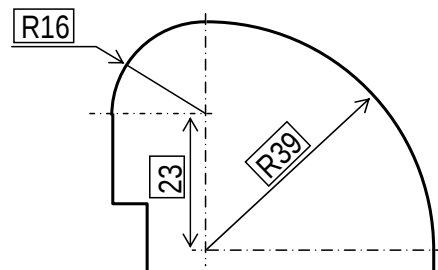
Tolérancement des lignes et des surfaces de forme quelconques

ISO 1660:1987, NF EN ISO 1660:1995 «Cotation et tolérancement des profils».

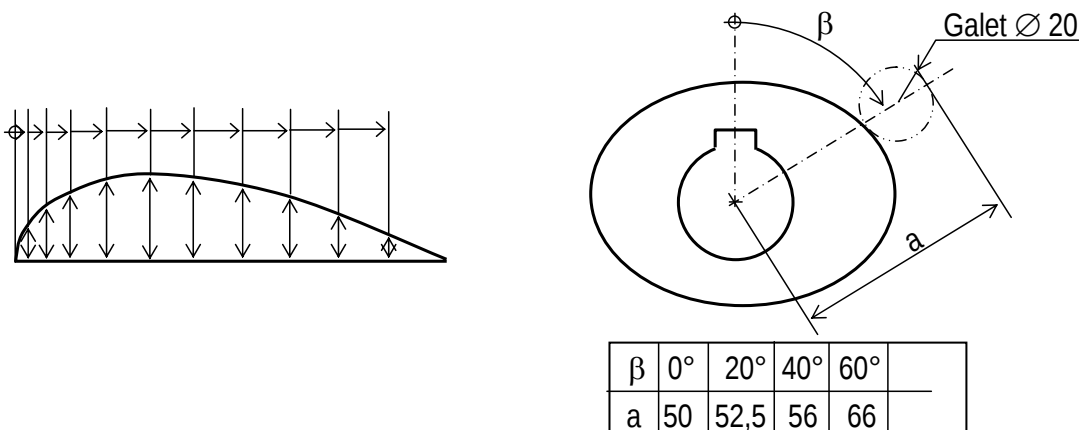
© Eric PAIREL / Université de Savoie, 2005

Définition de la forme nominale d'un profil

Si le profil est composé d'éléments simples (segment de droite et arcs) :

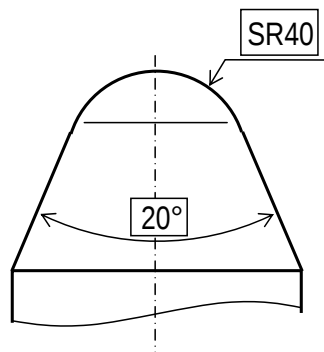


Sinon, la norme prévoit la possibilité de définir le profil par points :

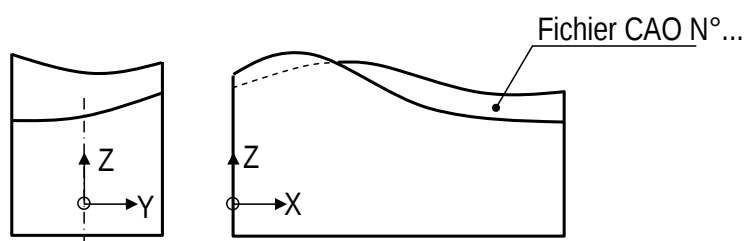


Définition de la forme nominale d'une surface

Si la surface est composée d'éléments simples :

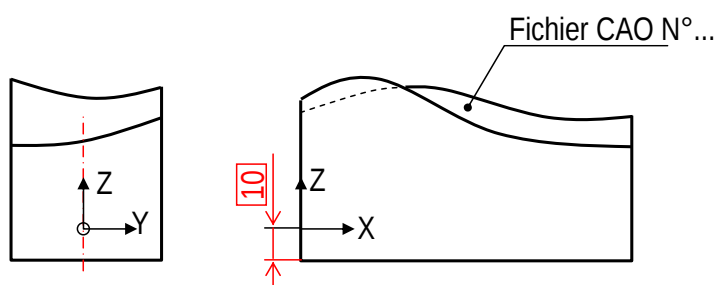
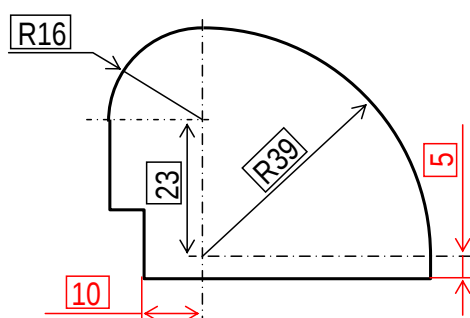


Sinon, la norme ne donne aucun moyen de définir la surface. Le plus simple est de faire référence sur le dessin à un fichier CAO :



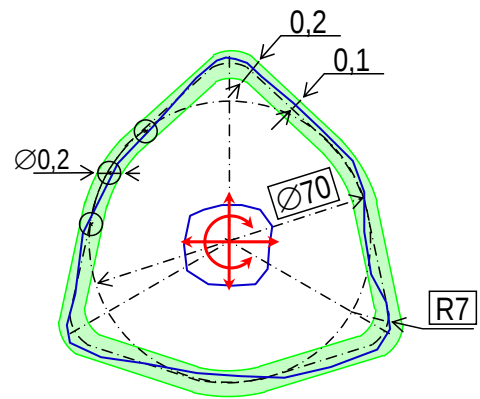
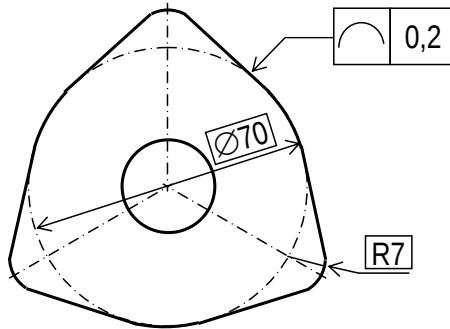
Définition de la position nominale

Le profil ou la surface doivent être positionnés par rapport aux autres surfaces de la pièce par des cotes théoriques de distances et d'angles :

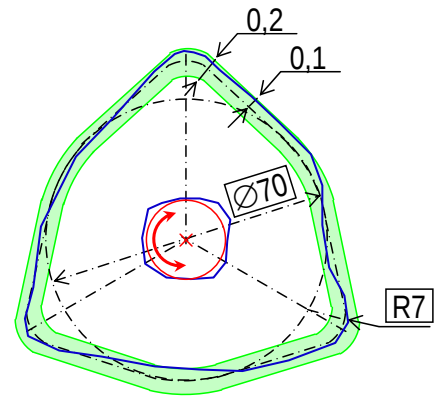
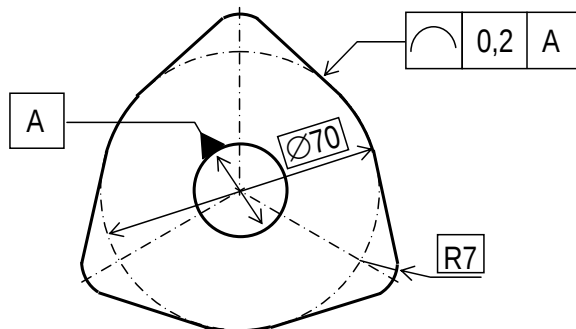


Tolérancement d'une ligne

Tolérancement de sa forme :

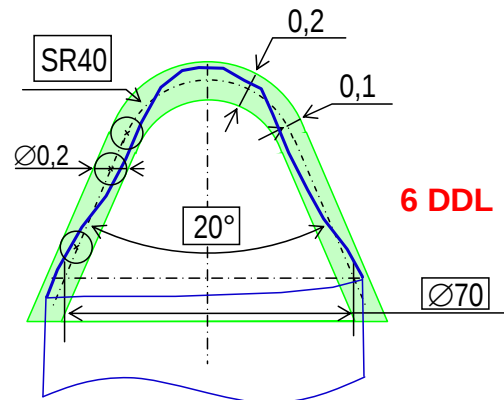
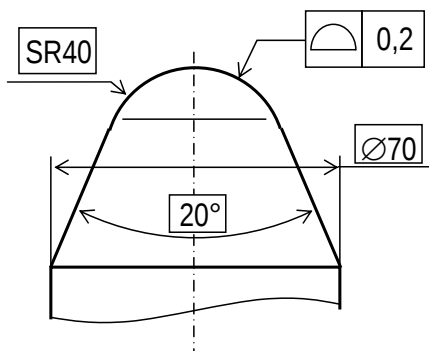


Tolérancement de sa position :

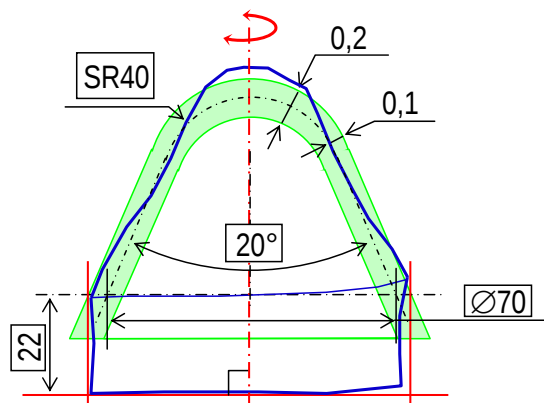
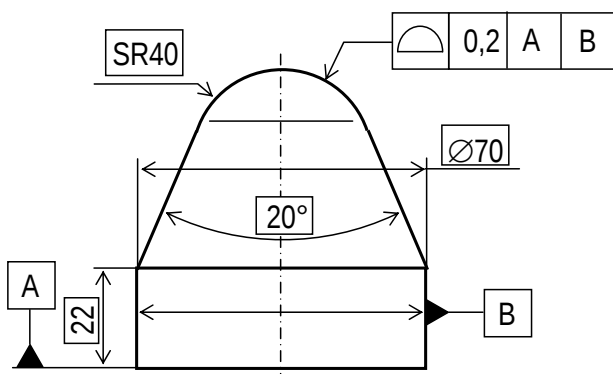


Tolérancement d'une surface

Tolérancement de sa forme :

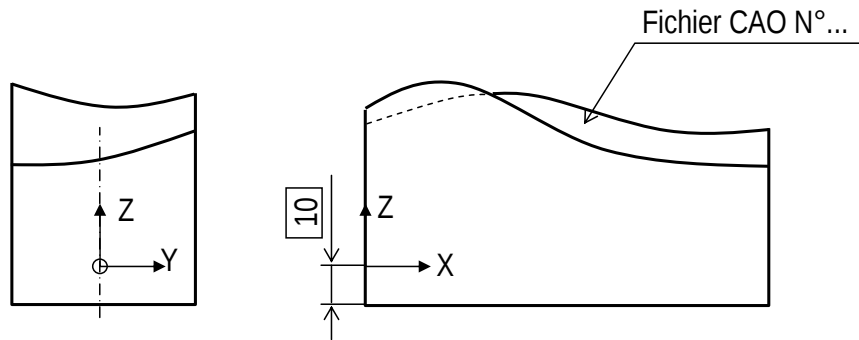


Tolérancement de sa position :



Application 6

Tolérer la position de la surface gauche de la pièce ci-dessous par rapport aux surfaces planes de la pièce



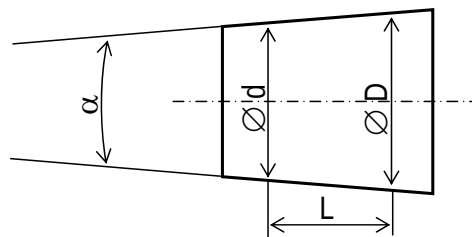
Tolérancement des cônes

ISO 3040:1990, Technical drawings -- Dimensioning and tolerancing -- Cones

NF E 04-557, Déc. 1991, Cotation et tolérancement - Cônes. (Cette norme corrige quelques mauvaises indications données dans la norme ISO)

Généralités

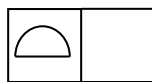
Conicité C : Rapport entre la différence des diamètres de deux sections d'un cône et leur distance :



$$C = \frac{D - d}{L} = 2 \tan \alpha/2$$

A présent, les cônes sont tolérancés comme les surfaces gauches :

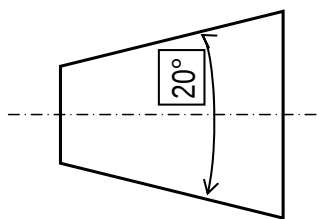
- Définition de l'angle et de la position nominal du cône : Cotes encadrées
- Tolérancement de sa forme et de sa position avec le symbole de forme d'une surface quelconque :



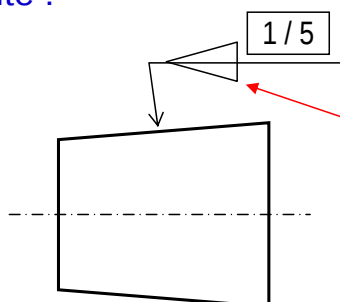
Définition du nominal

L'angle nominal est spécifié :

- Soit directement par la valeur de l'angle :



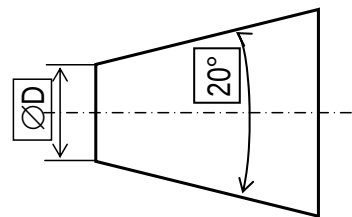
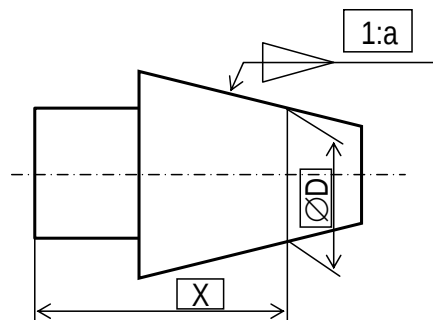
- Soit par sa conicité :



Le symbole graphique indique la direction du cône

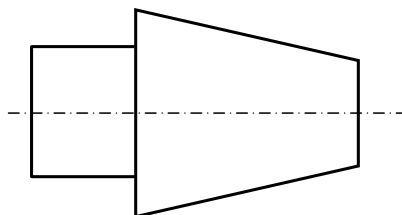
Définition du nominal

Définition de la position axiale du cône :

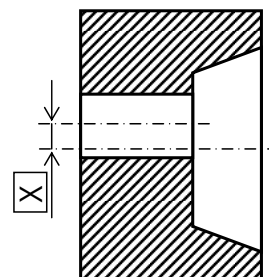


Position axiale par rapport à un plan tronquant le cône

Définition de la position radiale du cône :

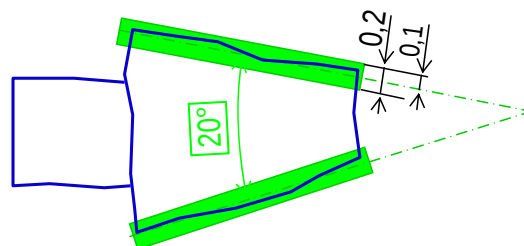
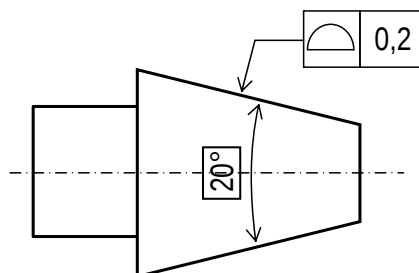


Le cône est nominalement coaxial au cylindre (indiqué par le trait d'axe)

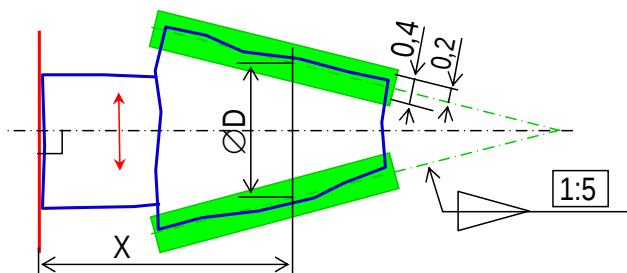
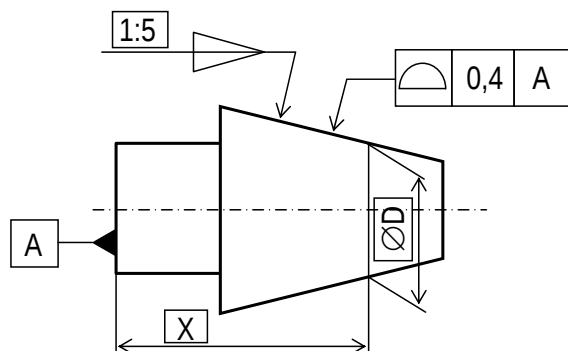


Tolérancement d'un cône

Tolérancement de sa forme :

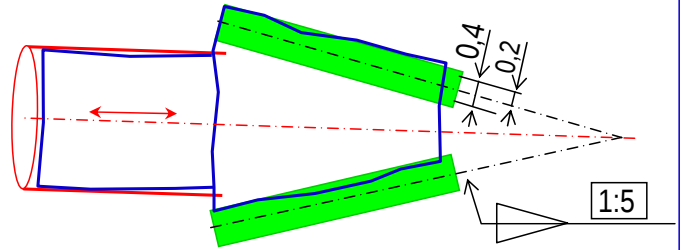
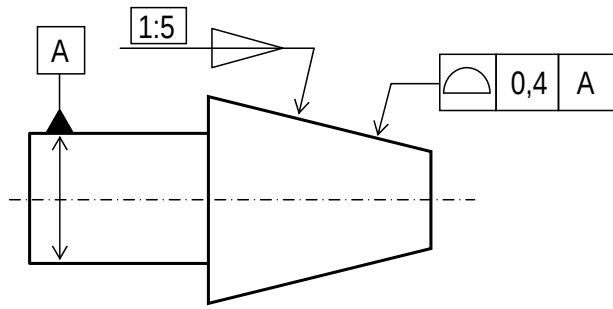


Tolérancement de sa position axiale :

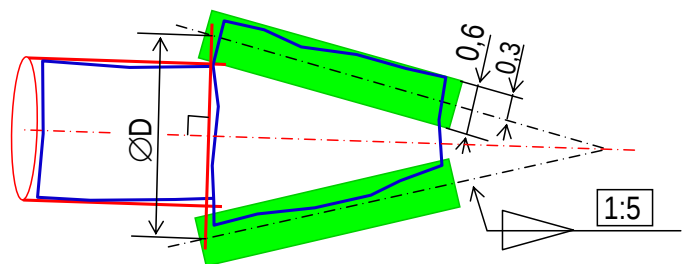
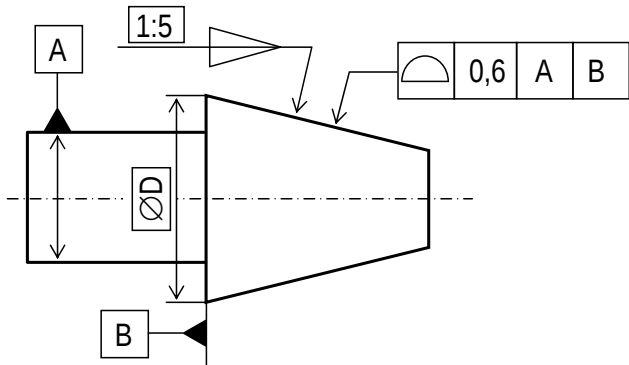


Tolérancement d'un cône

Tolérancement de sa position radiale :

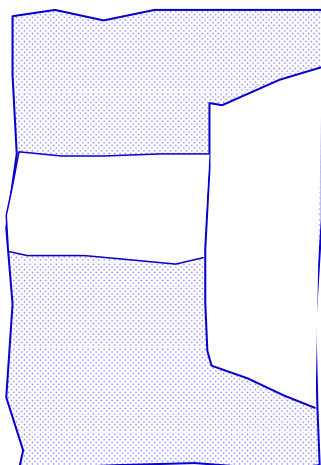
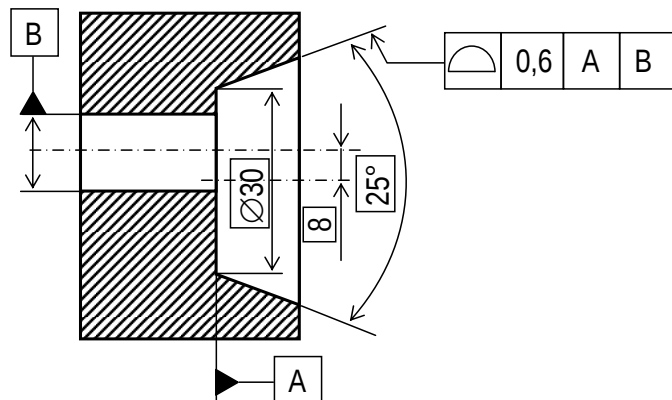


Tolérancement de sa position axiale et radiale :



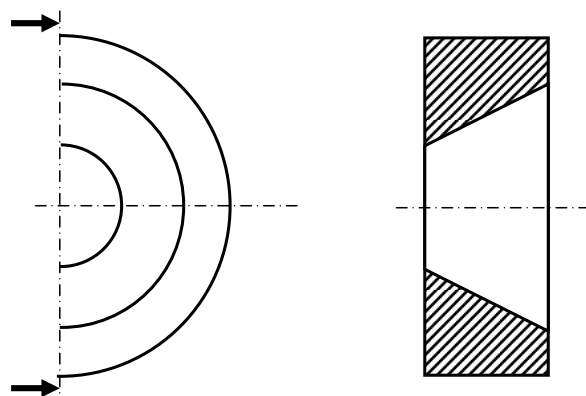
Application

Expliquez le sens de la spécification ci-dessous en précisant les constructions successives :



Application

Spécifiez une tolérance de position pour que le cône soit perpendiculaire au plan du côté du petit diamètre et coaxial au cylindre extérieur :



Tolérancement des pièces non rigides

NF ISO 10579:1994, Dessins techniques -- Cotation et tolérancement -- Pièces non rigides

Introduction

Les pièces non rigides ne sont pas seulement les pièces en matière flexible :

Une pièce qui se déforme, lorsqu'elle est retirée de son environnement d'utilisation, est une pièce non rigide :

Pièce non rigide: Pièce qui se déforme d'une valeur telle que, à l'état libre, elle puisse être en dehors des tolérances dimensionnelles et/ou géométriques du dessin.

État libre: État d'une pièce soumise uniquement à la force de la gravité.

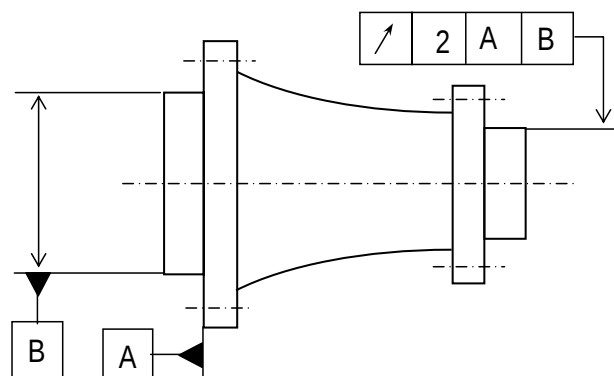
Les déformations à l'état libre sont acceptables à condition que la pièce puisse, en lui appliquant une force raisonnable, être ramenée dans les tolérances indiquées pour l'état monté/contraint.

On aura donc deux types de tolérances : Celles pour l'état contraint et celles pour l'état libre.

Principe de tolérancement d'une pièce non rigide

Les pièces non rigides sont tolérancées de la même manière que les pièces rigides mais en plus il doit être fait mention sur le dessin :

- sous forme de note les conditions dans lesquelles la pièce doit être contrainte pour répondre aux spécifications du dessin.
- dans ou près du cartouche, la référence « ISO 10579-NR »

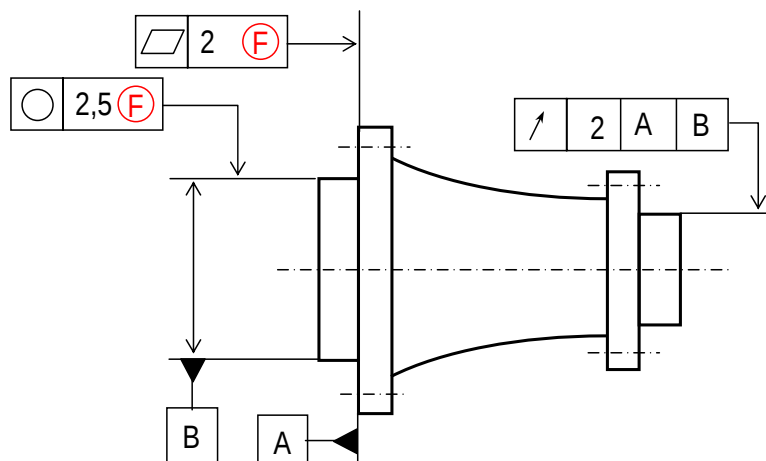


ISO 10579-NR

Condition de contrainte: la surface indiquée comme référence spécifiée A est montée (avec 64 boulons M6 serrés avec un couple de 9Nm à 15Nm) et l'élément indiqué comme référence spécifiée B est contraint à la limite maximale du matériau correspondante

Principe de tolérancement d'une pièce non rigide

Les tolérances géométriques que doit vérifier la pièce à l'état libre sont indiquées par le symbole F encadré placé dans le cadre de tolérance :



ISO 10579-NR

Condition de contrainte: la surface indiquée comme référence spécifiée A est montée (avec 64 boulons M6 serrés avec un couple de 9Nm à 15Nm) et l'élément indiqué comme référence spécifiée B est contraint à la limite maximale du matériau correspondante

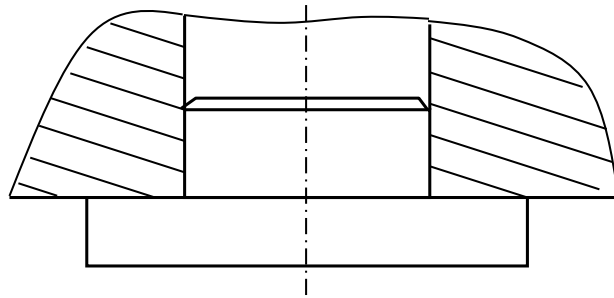
Exigence du maximum de matière

ISO 2692:1988, Dessins techniques --
Tolérancement géométrique -- Exigence du
maximum de matière

(Adoptée en E 04-555:1992 par l'AFNOR)

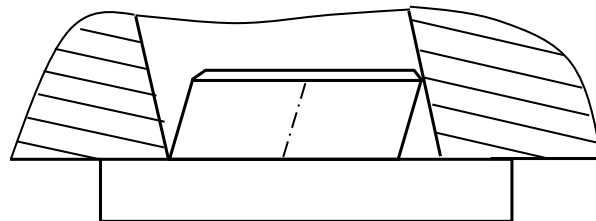
Etude de l'assemblage entre deux pièces

Exemple : Chapeau de carter



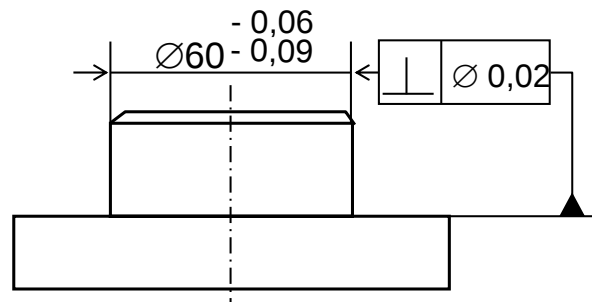
L'assemblage des pièces dépend de leurs diamètres et des défauts de perpendicularité des cylindres par rapport au plan d'appui.

Le cas pire est lorsque les cylindres sont à leur état au maximum de matière et qu'ils ont les défauts de perpendicularité maximums :

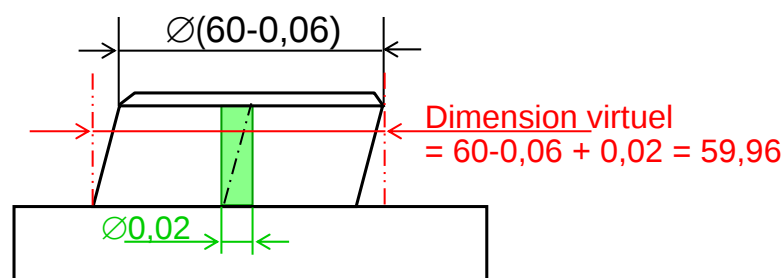


État virtuel d'une pièce

Cotation du chapeau



État virtuel : Surface théorique générée par l'ensemble des positions extrêmes autorisées par la tolérance géométrique de l'élément tolérancé dans son état au maximum de matière autorisé par la tolérance dimensionnelle.

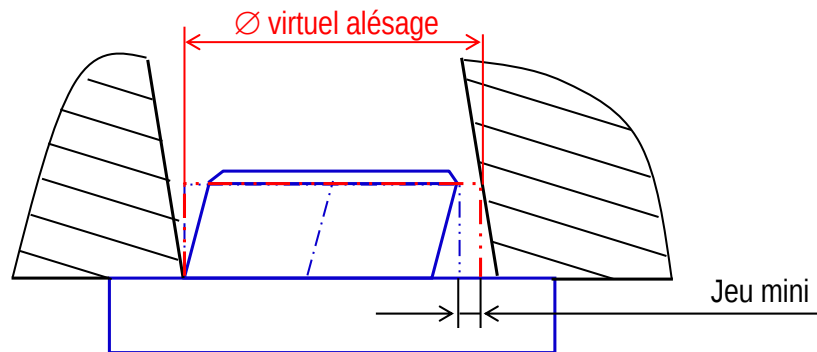


État virtuel = «Encombrement maximal» de la pièce

Condition d'assemblage

La cotation du carter conduit également à un état virtuel.

L'assemblage des pièces sera toujours possible si l'état virtuel du carter est plus grand que celui du chapeau (ou à la limite, égal) :

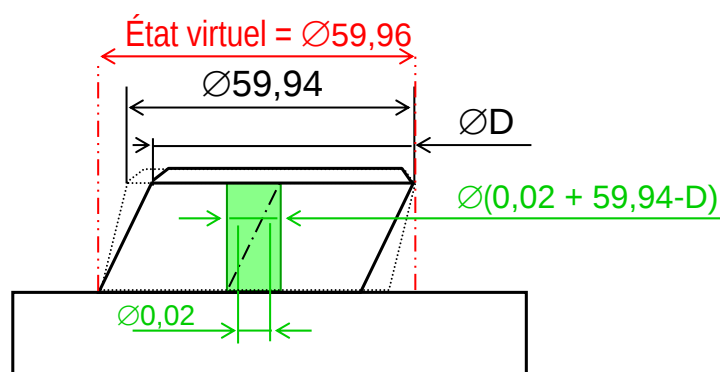


La distance entre les deux états virtuels correspond au jeu minimal dans l'assemblage.

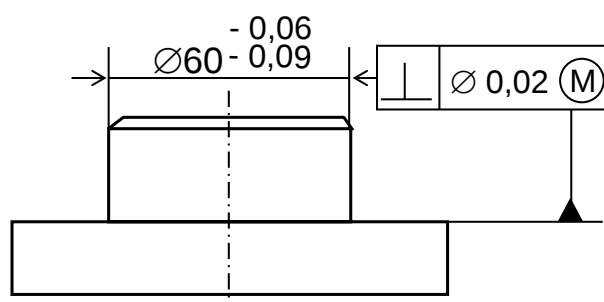
Le **jeu minimal** est donc obtenu quand les pièces sont à leur **état au maximum de matière** et qu'elles ont les **défauts géométriques maximums**. Inversement, le **jeu maximal** est obtenu lorsque les pièces sont à leur **état au minimum de matière** et qu'elles n'ont **aucun défaut géométrique**.

Idée de l'exigence du maximum de matière

Lorsque l'élément n'est pas dans son état au maximum de matière, il peut avoir un défaut géométrique plus grand :

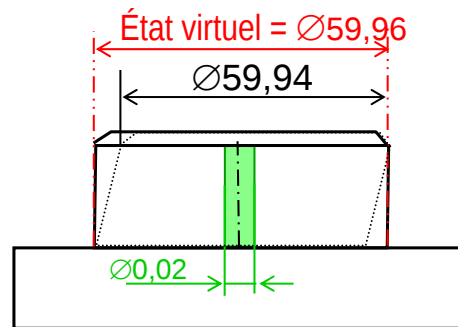


L'exigence du maximum de matière permet d'autoriser cette augmentation :



Tolérancement géométrique zéro

Réciproquement, si l'élément a un défaut géométrique plus petit que celui autorisé par la tolérance, il peut avoir une dimension d'assemblage plus grande que celle autorisée par la tolérance dimensionnelle :



Il est donc plus fonctionnel d'indiquer une tolérance nulle avec l'exigence du maxi-matière :

Le diamètre de l'état virtuel est alors égal au diamètre maxi-matière !

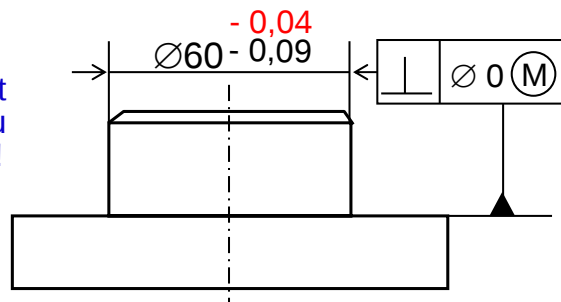
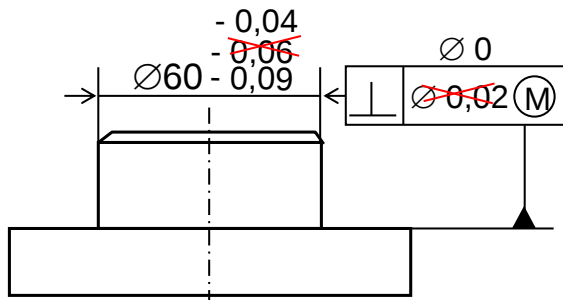
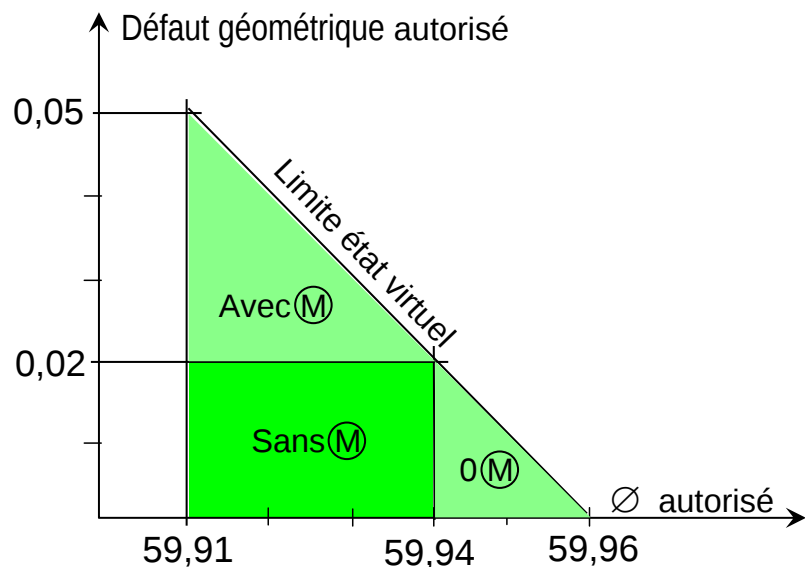


Diagramme des écarts et gain pour la production



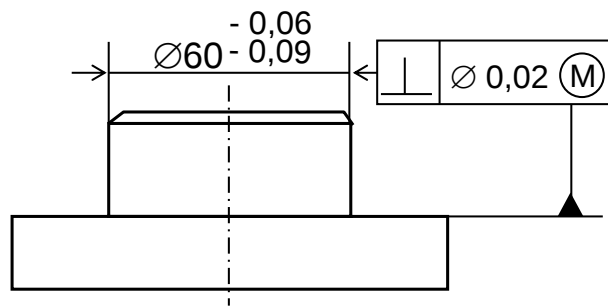
L'exigence du maxi. matière permet de récupérer des pièces hors tolérance géométrique.

Le tolérancement zéro permet d'augmenter la tolérance dimensionnelle !



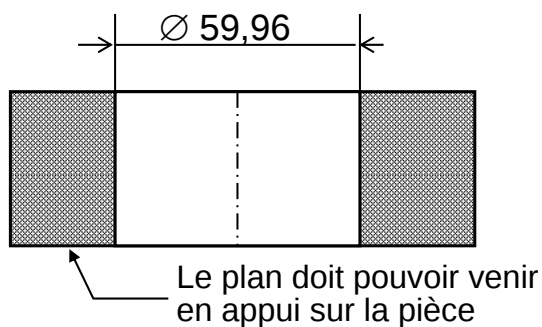
Contrôle de l'élément tolérancé suivant l'exigence du maximum matière

1. Contrôle de la taille



2. Contrôle de la tolérance géométrique

Le plus simple : **Calibre fonctionnel** matérialise l'état virtuel

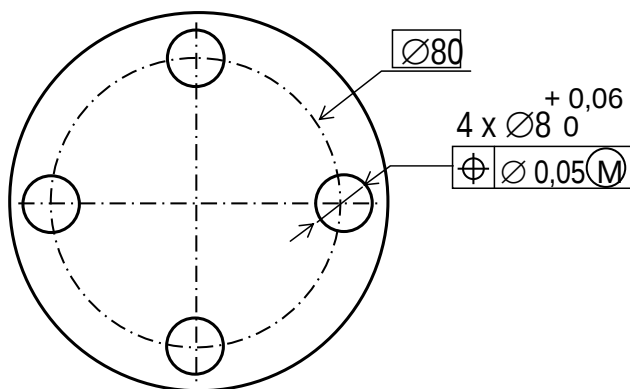


Mesurage du défaut géométrique : f

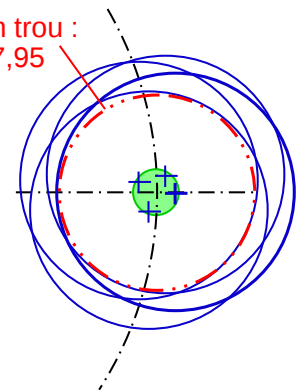
$f < 0,02 + (59,94 - D)$ où D est le diamètre d'assemblage de l'arbre

Attention, cette procédure est moins précise !

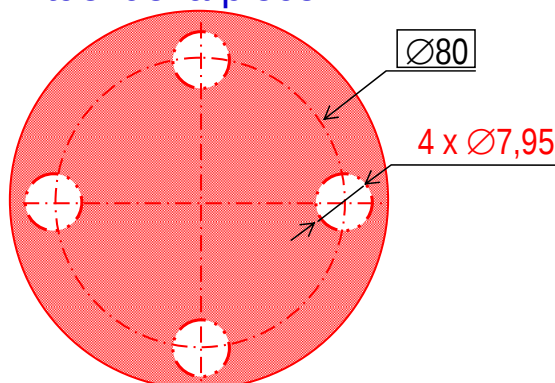
Localisation d'un groupe de trous au maximum de matière



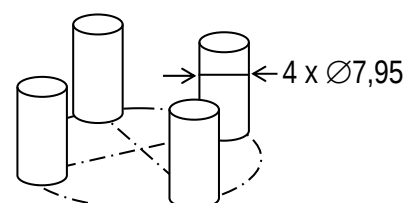
État virtuel d'un trou :
 $8 - 0,05 = \varnothing 7,95$



État virtuel de la pièce

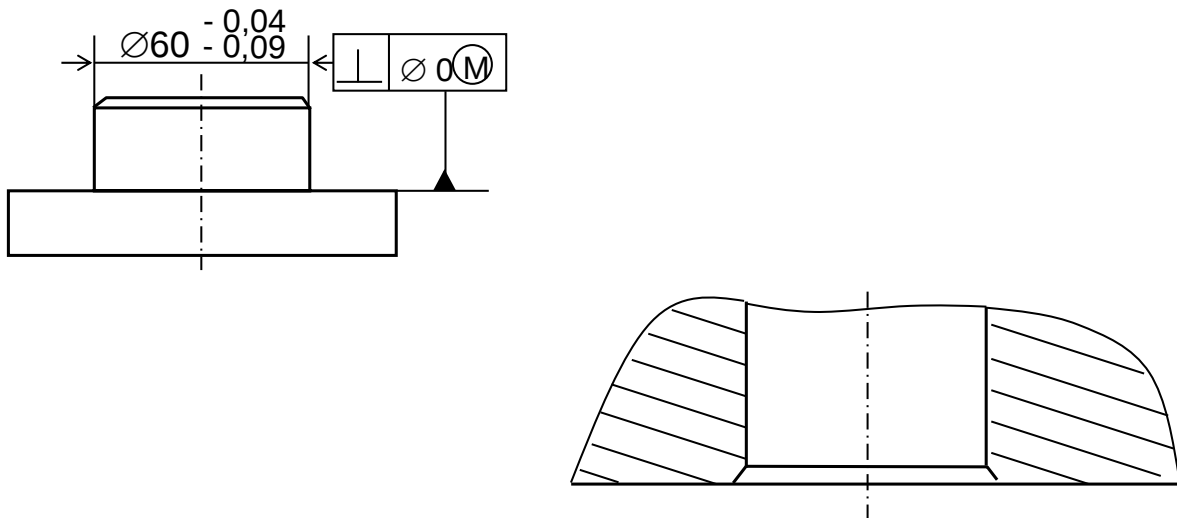


Calibre fonctionnel



Application

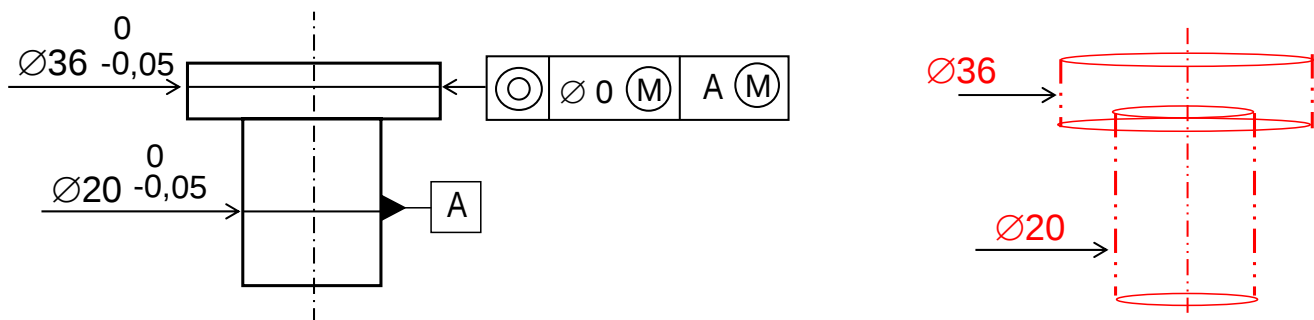
Cotez l'alésage du carter au «zéro maxi. matière» pour avoir un jeu minimal de 0,01mm et un jeu maximal de 0,15 mm en fonction de la cotation du chapeau suivante :



Exigence du maxi-matière appliqué à l'élément tolérancé et à l'élément de référence

L'application de l'exigence du maxi-matière à l'élément de référence a pour effet de rendre la référence «flottante».

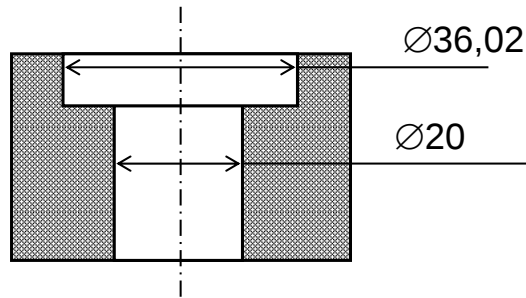
En effet si l'élément de référence n'est pas dans son état au maxi-matière, il peut s'écarter de sa position théorique d'une valeur égale à la différence de son diamètre par rapport au diamètre au maxi-matière. Il ne doit pas franchir pas son état virtuel.



La dimension de l'état virtuel de l'élément de référence est égal à la dimension de son état maxi-matière comme dans le cas de l'élément tolérancé en tolérancement géométrique zéro. On peut considérer en effet que, pour la spécification, la tolérance sur la référence est nulle.

Contrôle du maxi-matière appliqué à l'élément tolérancé et à l'élément de référence

Seule l'utilisation d'un calibre fonctionnel est possible :



Sauf cas particulier, il n'est pas possible d'augmenter la tolérance géométrique de l'élément tolérancé en fonction de la dimension d'assemblage de l'élément de référence. Attention ceci est une erreur courante.

Si le maxi-matière n'est pas appliqué à l'élément de référence, le contrôle pas calibre est plus délicat à mettre en œuvre car il faut qu'il s'ajuste à l'élément de référence.