

Spécification géométrique des produits (GPS)

(Cotation fonctionnelle et états de surface)

Cours



Table des matières

1) Généralités	3
1.1) Tolérances	3
1.2) Principes	4
2) Tolérances dimensionnelles	5
2.1) Cote tolérancée	5
2.2) Ajustement	7
3) Tolérances géométriques	9
3.1) Les modèles et leurs éléments extraits ou associés.....	9
3.2) Élément tolérancé	11
3.3) Élément de référence	13
3.4) Référence spécifiée	14
3.5) Les différentes spécifications géométriques.....	16
4) Exigence de l'enveloppe	21
5) Tolérances d'états de surface.....	24

Compétences attendues en PTSI (2^e semestre) :

A5 – Analyser un compromis produit-procédés-matériaux

Compétences développées	Connaissances associées	Commentaires
* Justifier le besoin fonctionnel d'une spécification. * Décoder les spécifications géométriques par taille, par zone et par gabarit. * Analyser le lien entre la liaison mécanique et les systèmes de référence associés aux surfaces des composants participants.	Principes (d'indépendance, de la pièce rigide, de l'élément, de dualité, d'invocation et de responsabilité). Modèles (nominal, extrait et skin model). Opérations (partition, collection, filtrage, extraction, construction et association). Définition d'une spécification (condition unilimite sur une caractéristique dimensionnelle). Spécifications géométriques par taille, par zone et par gabarit. Fiche GPS.	Les ajustements normalisés ne sont pas exigibles. Seule la nature des ajustements est à préciser (glissant, incertain et serré). Le seul modificateur au programme est l'exigence de l'enveloppe.

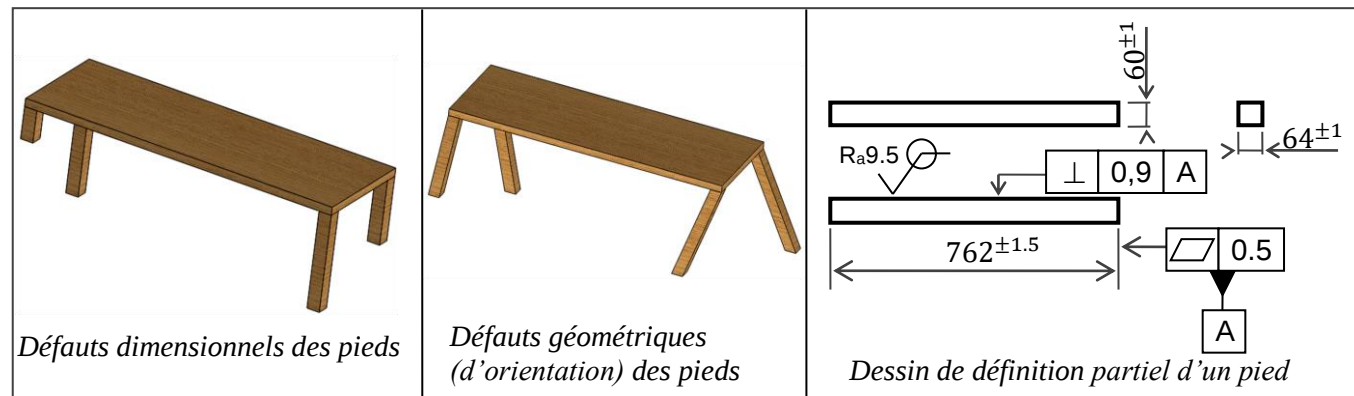
Compétences attendues en fin de PT (pour information) :

E1 – Rechercher et traiter des informations : Lire et décoder un dessin de définition

G2 – Industrialiser un produit :

Compétences développées	Connaissances associées	Commentaires
Contrôler la conformité géométrique et dimensionnelle d'un produit.	Dispositifs de contrôle. Nuages de points. Méthodes d'association.	La réalisation des gammes de mesure n'est pas au programme. La métrologie tridimensionnelle se limite aux géométries suivantes : plan, cercle, droite et cylindre de révolution.

Présentation du cours :



Lorsque les pièces sont fabriquées, elles présentent des défauts par rapport à la géométrie et aux dimensions parfaites que l'on souhaitait.

Lorsqu'ensuite ces pièces seront assemblées, si les défauts sont faibles le produit final fonctionnera, mais si certains défauts sont trop importants alors le mécanisme ne fonctionnera pas correctement : par exemple une table dont les quatre pieds auraient une grande différence de longueur, ou encore dont les quatre pieds seraient mal orientés par rapport à la planche de la table – cf. figure ci-dessus.

L'ingénieur concepteur d'un produit doit alors définir quels sont les valeurs maximales des différents défauts qui seront acceptables, et cela pour chacune des pièces à fabriquer, sur un dessin appelé « dessin de définition ».

La spécification géométrique des produits permet de normaliser les notations utilisées dans le dessin de définition afin que deux personnes qui chercheraient à vérifier les défauts trouvent le même résultat.

1) Généralités

1.1) Tolérances

La spécification géométrique des produits (*Geometrical Product Specification* ou **GPS**, en anglais), consiste à définir, au travers d'un dessin de définition :

- la forme, les dimensions et les caractéristiques de surface d'une pièce qui en assurent un fonctionnement optimal : c'est le modèle **nominal** ;
- les dispersions autour de cet optimal pour laquelle la fonction de la pièce est toujours satisfaite : ce sont les **tolérances** dimensionnelles, géométriques et d'état de surface.

Les tolérances sont principalement de trois types, selon l'exigence spécifiée :

- **exigence dimensionnelle** : la distance entre 2 points doit être comprise dans un intervalle de tolérance ;
- **exigence géométrique** : l'élément mesuré (surface, ligne ou point) ou un élément dérivé (ligne ou plan médian, ...) doit être compris dans une zone de tolérance donnée.
- **exigence d'état de surface** : le défaut de rugosité sur une surface doit être inférieur à une tolérance donnée.

Exemple du pied de table figure 1 (détails de la signification des défauts plus loin dans le cours) :

- le dessin est représenté au nominal (parfait) ;
- exemple d'exigence dimensionnelle : longueur du pied = 762mm avec un défaut acceptable de $\pm 1,5\text{mm}$;
- exemple d'exigence géométrique : perpendicularité entre une face latérale du pied et sa face « A » avec un défaut acceptable (tolérance) de 0,9mm ;
- exemple d'exigence d'état de surface : la rugosité de chaque surface doit être inférieure à $9,5\mu\text{m}$.

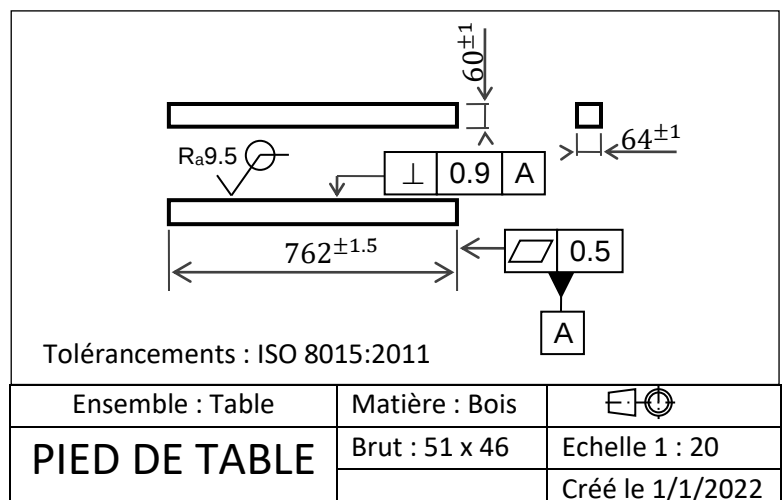


Figure 1 : Dessin de définition partiel d'un pied de table

Rappel : les cotes représentées sur un dessin de définition (ou un dessin d'ensemble) sont en **mm**.

1.2) Principes

Parmi les 14 principes de la norme ISO 8015:2011, six sont au programme :

1.2.1) Principe d'indépendance

Chaque exigence dimensionnelle ou géométrique spécifiée sur un dessin doit être **respectée en elle-même**, indépendamment des autres exigences,

Il existe des exceptions (normalisées) à ce principe, notamment le principe de l'enveloppe (cf. chapitre « Tolérances géométriques »).

Exemple du pied de table figure 1 :

Il faudra vérifier chacune des exigences (dimensionnelle, géométrique et d'états de surface), une à une.

1.2.2) Principe de la pièce rigide

Sauf indication contraire, les exigences doivent être vérifiées lorsqu'**aucun effort** n'est appliqué sur la pièce, c'est-à-dire lorsque la pièce est à l'état libre.

Exemple du pied de table figure 1 :

Les exigences devront être vérifiées avant montage et sans effort appliqué sur le pied.

1.2.3) Principe de l'élément

Sauf indication contraire, l'**élément tolérancé** ne concerne que l'élément simple complet désigné, délimité par des frontières naturelles (arêtes, faces...). Plus de détails dans le chapitre « Tolérances géométriques ».

1.2.4) Principe d'invocation

Lorsqu'une **norme** du système GPS est utilisée alors toutes les normes du système GPS s'appliquent.

Or une écriture normalisée (dimensionnelle, géométrique ou d'état de surface) appelle le principe d'invocation.

En l'absence d'indication de la norme utilisée, les dernières normes à la date de création du plan sont implicitement appelées. Comme les normes évoluent rapidement, il est préférable d'inscrire la norme utilisée avec sa date (année) d'amendement.

Exemple : ISO 8015:2011 ou ISO 1101:2017...

1.2.5) Principe de dualité

La spécification est **indépendante de la procédure de mesure**.

Ce qui implique que la procédure de mesure devra être choisie en fonction des incertitudes à mesurer : les incertitudes liées à la procédure de mesure devront être nettement inférieures aux incertitudes à mesurer.

1.2.6) Principe de responsabilité

Le concepteur a la responsabilité de l'**adéquation des spécifications aux conditions fonctionnelles**.

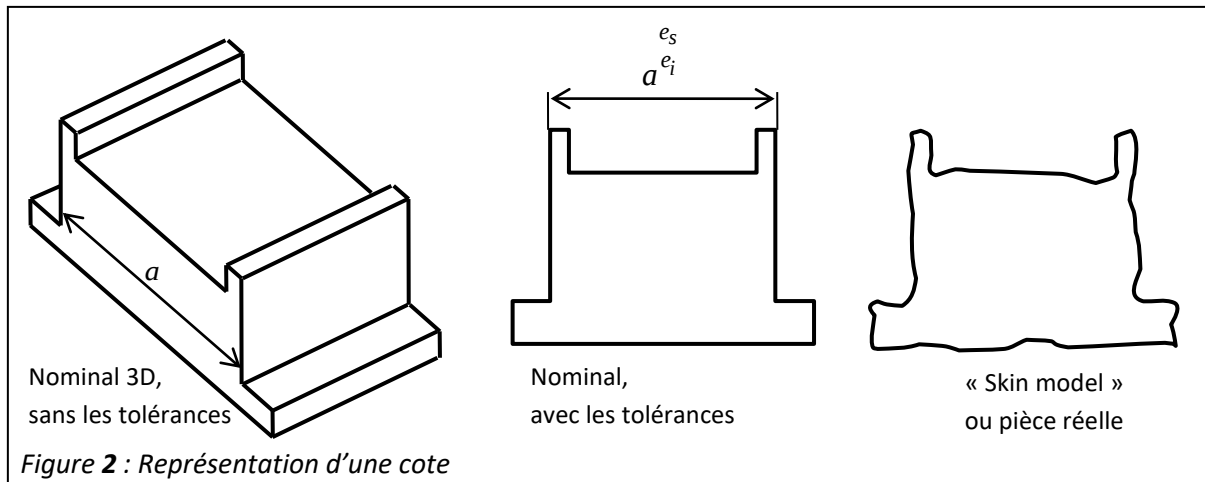
Ce qui signifie que si chaque pièce d'un mécanisme vérifie l'ensemble de ses spécifications, alors le mécanisme doit fonctionner, sinon c'est la responsabilité du concepteur qui est en jeu.

La validité de la mesure (avec son incertitude propre) est elle de la responsabilité de l'opérateur de vérification.

2) Tolérances dimensionnelles

2.1) Cote tolérancée

2.1.1) Définition d'une cote linéaire ou angulaire



Cote linéaire = distance séparant deux points dans la direction définie par la « ligne de cote » (qui peut être définie de différentes manières, une fois pour toute, pour chaque pièce – hors programme).

Cette définition n'est valable que pour des pièces qui ont des points en vis-à-vis comme des cylindres ou des pièces prismatiques avec des faces opposées.

La spécification d'une distance sans points en vis-à-vis est déconseillée. Elles sont considérées comme ambiguës.

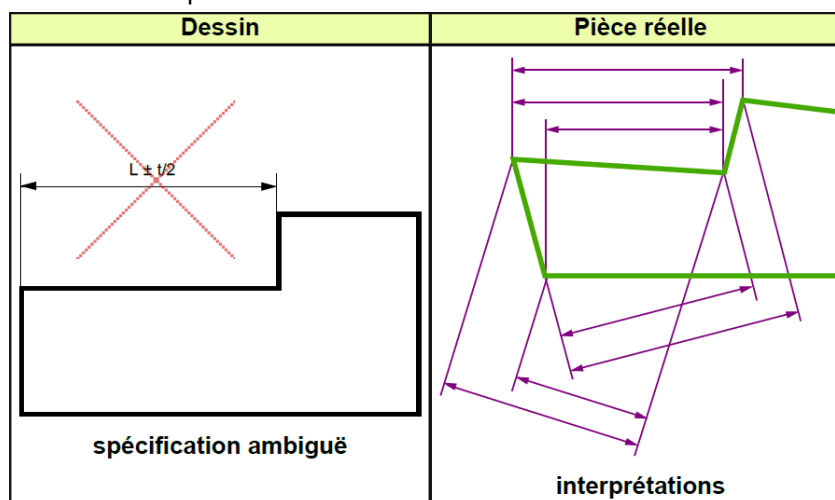


Figure 3

Cote angulaire (pour information) = angle compris entre 2 droites associées par le critère minimax dans des plans perpendiculaires à l'axe d'intersection des plans des moindres carrés sans contrainte matière (cette définition n'est pas à connaître).

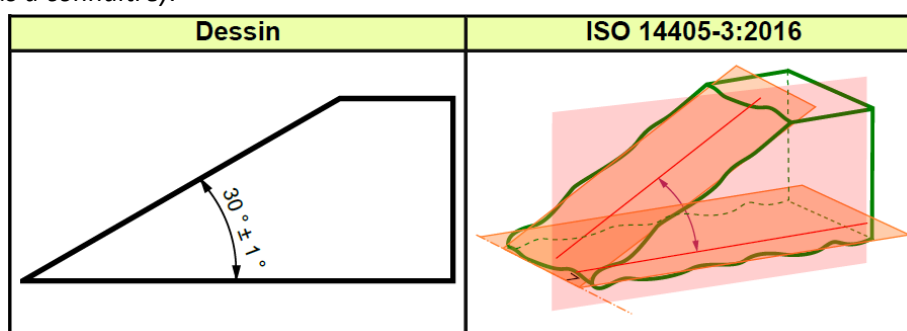


Figure 4

2.1.2) Cote nominale et tolérances

Cote nominale (a) : valeur approximative de la cote (utilisée pour le modèle parfait, dans le modèle volumique ou le dessin de définition ou d'ensemble...). Par défaut, elle est en mm sur les dessins.

Cote maximale (a_{Max}) : valeur maximale que la cote réelle ne doit pas dépasser (en mm).

Cote minimale (a_{min}) : valeur minimale que la cote ne doit pas dépasser (en mm).

Écart supérieur (e_s) : écart maximal que la cote réelle ne doit pas dépasser par rapport à la cote nominale ;

$$a_{Max} = a + e_s$$

Écart inférieur (e_i) : écart minimal que la cote réelle ne doit pas dépasser par rapport à la cote nominale ;

$$a_{min} = a + e_i$$

Intervalle de tolérance (IT) : intervalle dans lequel la cote réelle peut être comprise ;

$$IT = a_{Max} - a_{min} = e_s - e_i$$

Plus l'IT est faible, plus la cote sera précise et le moyen de l'obtenir coûteux.

Attention, les écarts (inférieur et supérieur) peuvent être positifs ou négatifs. La seule condition à respecter est que l'écart inférieur doit être plus petit que l'écart supérieur (ce qui signifie que la cote minimale doit être inférieure à la cote maximale).

La cote nominale n'a concrètement aucune influence, seules les cotes minimale et maximale définissent une cote tolérancée. Illustration :

$$40^{+0,1}_{-0,1} = 39,9^{+0,2}_0 = 40,1^{-0,2}_0 = 39^{+0,9}_{+1,1} = \dots \Rightarrow cote_min = 39,9mm \text{ et } cote_Max = 40,1mm$$

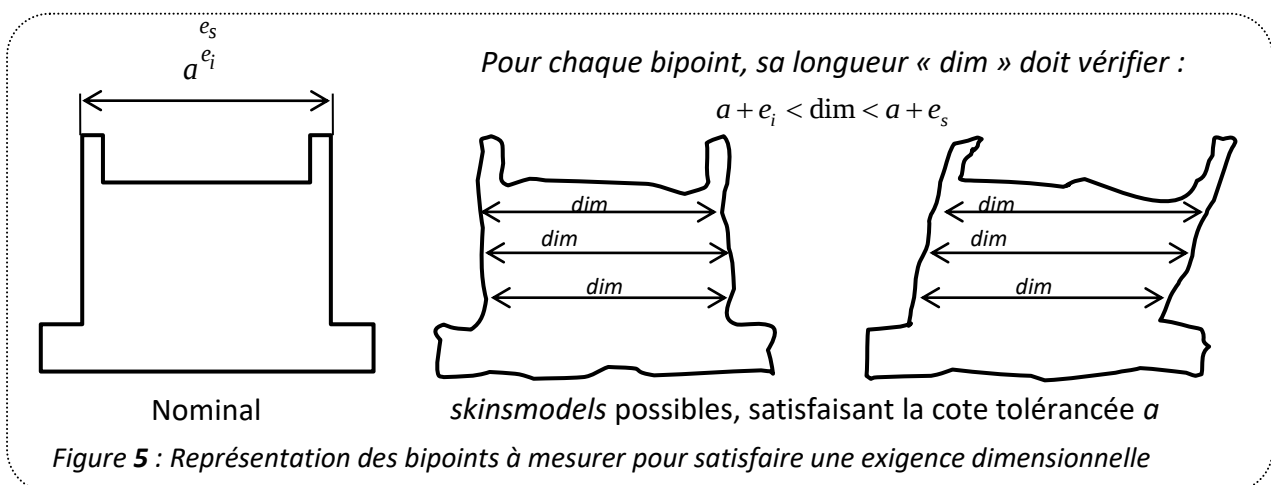
La norme ISO impose des cotes centrées aujourd'hui (pas toujours appliqué).

Par exemple : $40^{+0,1}_{-0,1}$

2.1.3) Condition de conformité d'une tolérance dimensionnelle

L'exigence dimensionnelle est satisfaite si chaque bipoint est compris entre sa valeur minimale et maximale.

Attention, les dimensions tolérancées (linéaires comme angulaires) ne limitent pas les défauts de forme. Illustration :



Afin de contraindre les surfaces à respecter des formes géométriques précises (à une tolérance près), il faudra introduire des exigences géométriques (chapitre suivant), et non plus uniquement dimensionnelles. Ce qui sera fait à chaque fois via l'exigence de l'enveloppe et/ou des tolérances géométriques.

2.2) Ajustement

2.2.1) Principe

Les ajustements sont des codes correspondant à des tolérances que l'on utilise pour assembler deux pièces, souvent cylindriques (un arbre et un alésage).

Exemple : $\varnothing 40H8f7$

$\varnothing$: diamètre d'un cylindre

(pour une sphère, on utilise le symbole « $S\varnothing$ » ;

40 : cote nominale, en mm ;

H : position de l'alésage par rapport à la cote nominale ;

8 : qualité de l'alésage (lié à l'IT) ;

f : position de l'arbre par rapport à la cote nominale ;

7 : qualité de l'arbre (lié à l'IT).

Pour connaître les valeurs des tolérances correspondant aux ajustements normalisés, il faut utiliser un guide de normes, dont voici un extrait ci-contre.

Les tolérances d'un montage $\varnothing 40H8f7$ sont donc (en mm) :

Alésage : $\varnothing 40 \begin{smallmatrix} 0,039 \\ 0 \end{smallmatrix}$ Arbre : $\varnothing 40 \begin{smallmatrix} -0,025 \\ -0,050 \end{smallmatrix}$

Ainsi un assemblage $\varnothing 40H8f7$ ressemblera à ceci (les IT sont beaucoup grossis pour que ce soit plus clair) :

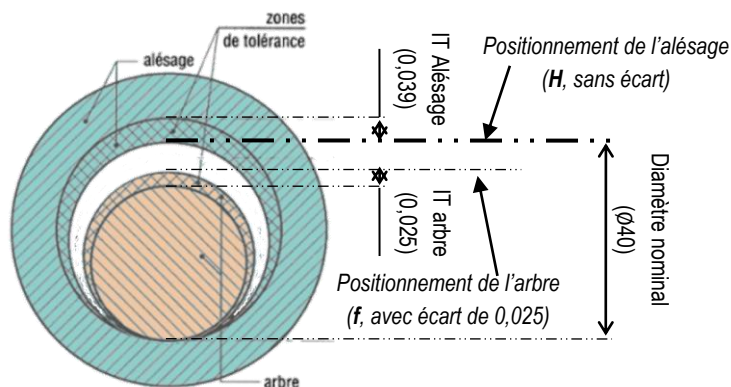


Figure 6 : Ajustement $\varnothing 40H8f7$, vue axiale

2.2.2) Calcul des jeux

Le jeu est l'espace entre les deux pièces assemblées (alésage et arbre). Il peut être positif (montage glissant) ou négatif (montage serré).

$$\text{Jeu} = \varnothing \text{Alésage} - \varnothing \text{Arbre}$$

$$\text{Jeu}_{\text{Max}} = \varnothing \text{Alésage}_{\text{Max}} - \varnothing \text{Arbre}_{\text{min}}$$

$$\text{Jeu}_{\text{min}} = \varnothing \text{Alésage}_{\text{min}} - \varnothing \text{Arbre}_{\text{Max}}$$

Exemple pour l'assemblage $\varnothing 40H8f7$:

$$\text{Jeu}_{\text{Max}} = 40,039 - 39,950 = 0,089 \text{ mm}$$

$$\text{Jeu}_{\text{min}} = 40,000 - 39,975 = 0,025 \text{ mm}$$

Ce jeu est positif, c'est un montage glissant.

Alésages	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50
G 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 14 + 5	+ 17 + 6	+ 20 + 7	+ 25 + 9
H 6	+ 6 0	+ 8 0	+ 9 0	+ 11 0	+ 13 0	+ 16 0
H 7	+ 10 0	+ 12 0	+ 15 0	+ 18 0	+ 21 0	+ 25 0
H 8	+ 14 0	+ 18 0	+ 22 0	+ 27 0	+ 33 0	+ 39 0
K 7	0 - 10	+ 3 - 9	+ 5 - 10	+ 6 - 12	+ 6 - 15	+ 7 - 18
M 7	- 2 - 12	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25
N 7	- 4 - 14	- 4 - 16	- 4 - 19	- 5 - 23	- 7 - 28	- 8 - 33

Principaux écarts, en micromètre						
Arbres	Jusqu'à 3 inclus	3 à 6 inclus	6 à 10	10 à 18	18 à 30	30 à 50
f 7	- 16 - 6	- 10 - 22	- 13 - 28	- 16 - 34	- 20 - 41	- 25 - 50
g 6	- 2 - 8	- 4 - 12	- 5 - 14	- 6 - 17	- 7 - 20	- 9 - 25
h 5	0 - 4	0 - 5	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11
h 6	0 - 6	0 - 8	0 - 9	0 - 11	0 - 13	0 - 16
h 7	0 - 10	0 - 12	0 - 15	0 - 18	0 - 21	0 - 25
h 8	0 - 14	0 - 18	0 - 22	0 - 27	0 - 33	0 - 39
h 9	0 - 25	0 - 30	0 - 36	0 - 43	0 - 52	0 - 62
js 6	± 3	± 4	± 4,5	± 5,5	± 6,5	± 8
k 6	+ 6 0	+ 9 + 1	+ 10 + 1	+ 12 + 1	+ 15 + 2	+ 18 + 2
m 6	+ 8 + 2	+ 12 + 4	+ 15 + 6	+ 18 + 7	+ 21 + 8	+ 25 + 9
n 6	+ 10 + 4	+ 16 + 8	+ 19 + 10	+ 23 + 12	+ 28 + 15	+ 33 + 17
p 6	+ 12 + 6	+ 20 + 12	+ 24 + 15	+ 29 + 18	+ 35 + 22	+ 42 + 26

Ce tableau des écarts n'est pas à connaître, il vous sera fourni si besoin

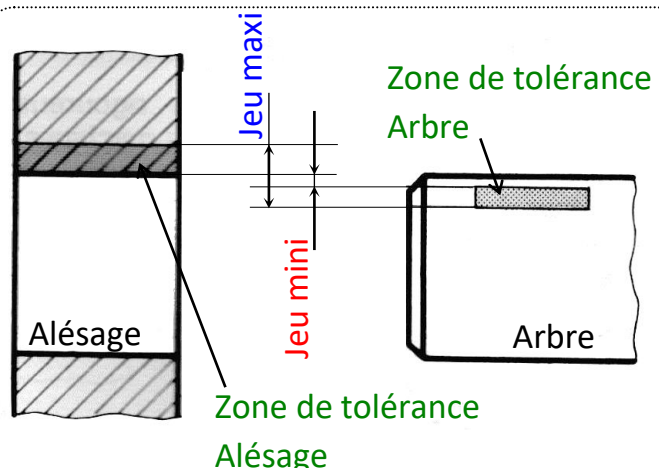


Figure 7 : Ajustement $\varnothing 40H8f7$, vue radiale

2.2.3) Qualité

Plus la qualité sera fine (8, 7, 6...), plus précis sera la tolérance, mais beaucoup plus chère sera la pièce.

Qualités usuelles indicatives des principaux procédés d'usinage																
IT (qualité)	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
oxycoupage																
sciage																
rabotage																
perçage																
fraisage																
perçage + alésoir																
alésage																
brochage																
tournage																
rectification																
rodage																
superfinition																

La **qualité 8** est la qualité mécanique la plus usuelle. La **qualité 6** est la qualité mécanique de précision.

2.2.4) Les 3 types d'ajustement

1) Ajustement **glissant** (il y aura toujours un jeu positif)

Utilisé pour des **guidages** (mouvements relatifs possibles), comme un pivot glissant, pivot, glissière, rotule...

Il est aussi utilisé pour positionner (MiP) deux pièces en liaison complète, avec un montage et démontage à la main.

2) Ajustement **incertain** (il y aura jeu ou serrage : on ne sait pas)

Utilisé pour des centrages et **positionnements** de deux pièces en liaison complète, nécessitant un montage et démontage avec des outils (maillet, extracteur, étau, presse légère...), généralement sans détérioration.

Il ne peut pas transmettre d'efforts.

3) Ajustement **serré** = frettage, ou encore « assemblage forcé » (il y aura toujours un serrage)

Utilisé pour **transmettre des efforts** dans une liaison complète **indémontable**.

Le montage se fait généralement à la presse, et/ou par dilatation thermique.

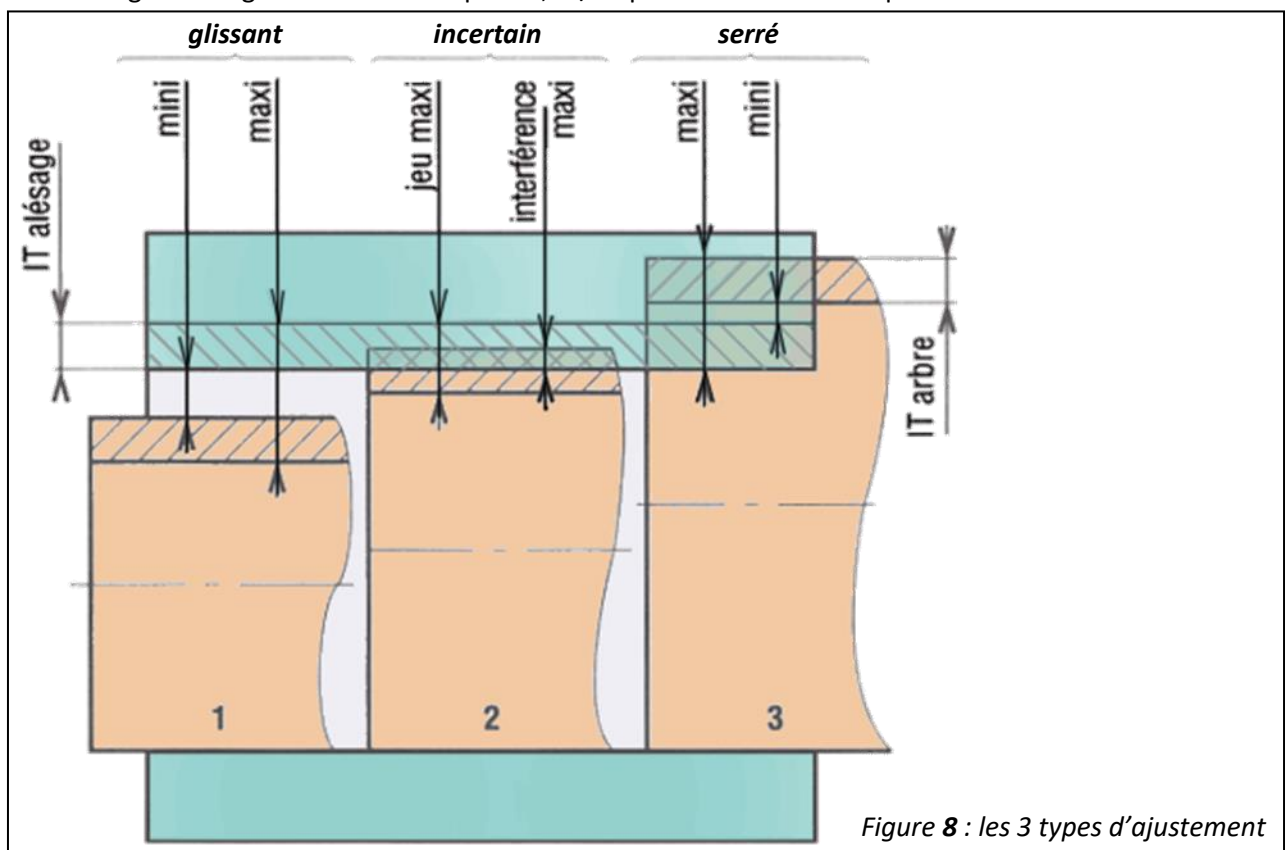
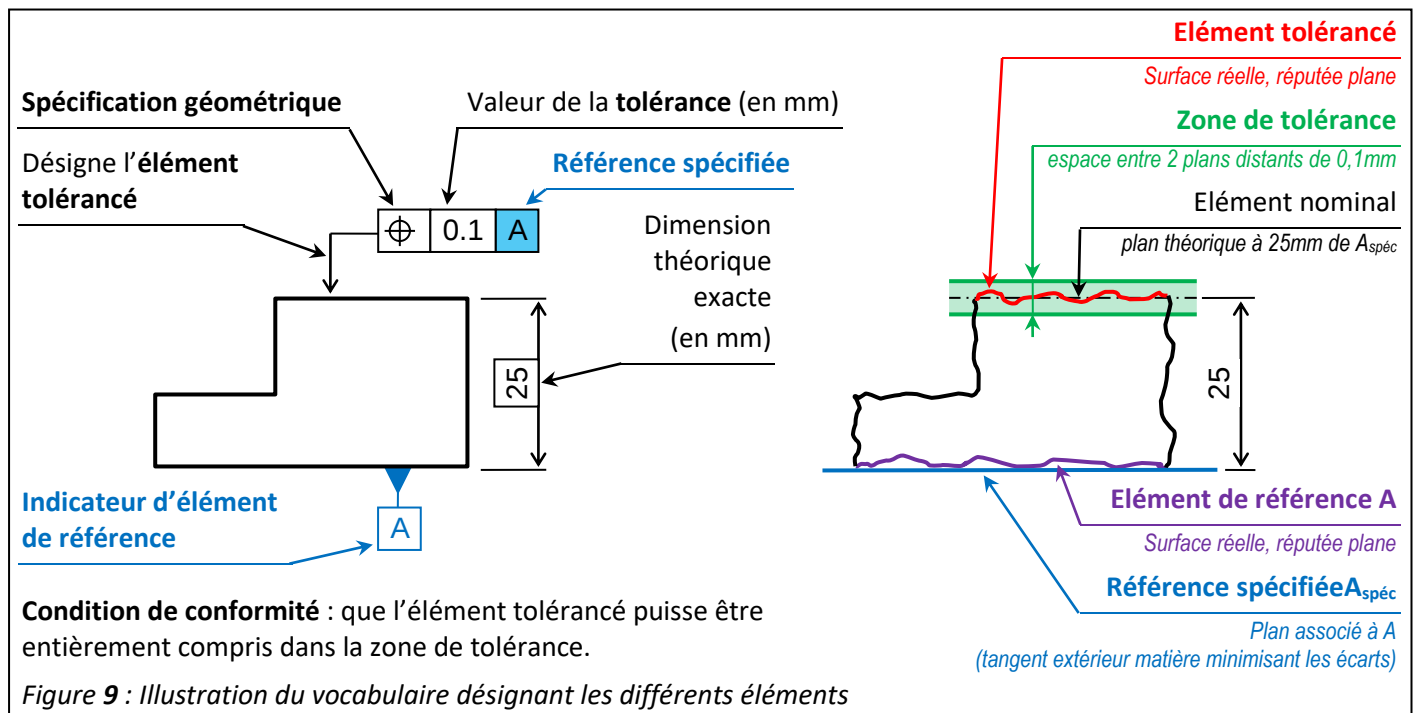


Figure 8 : les 3 types d'ajustement

3) Tolérances géométriques

3.1) Les modèles et leurs éléments extraits ou associés



Le tolérancement s'intéresse à des objets géométriques, qui sont des points, des lignes et des surfaces. On distingue :

- les objets **non-idéaux**, qui sont les objets extraits des produits réellement fabriqués ou du modèle de peau (skin model) ; pour une cote donnée, on a deux types d'objets non-idéaux :
 - les **éléments tolérancés**, qui sont ceux que l'on veut caractériser ;
 - les **éléments de référence**, qui sont ceux par rapport auxquels on définit la tolérance ;
- les objets **idéaux**, qui sont des formes géométriquement parfaites : plan, cylindre, cône, droite ...
 - l'objet idéal associé à un élément de référence est appelé « **référence spécifiée** ».

Les éléments non-idéaux ne peuvent pas être appelés « droite, cercle, plan ou cylindre... » alors qu'ils sont très proches de ces géométries, et seront donc nommés « ligne **nominalement** rectiligne ou circulaire, surface nominalement plane ou cylindrique... ». On peut aussi utiliser le terme « **réputé** » ou « **idéalement** ».

Exemple figure 10 : l'axe nominal d'un cylindre sera extrait du réel ou du skin model par une ligne médiane nominalement rectiligne, qui sera construite à partir de la surface nominalement cylindrique de la pièce.

Modèle nominal (idéal)	Pièce réelle (ou skin model) (non-idéal)	Élément extrait du réel (non-idéal)	Élément associé à un élément extrait (idéal)

Figure 10 : représentation des différents modèles idéaux et non-idéaux

Modèle nominal : modèle idéal (parfait), composé de surfaces parfaites, de dimensions nominales « exactes », assemblées suivant des contraintes géométriques et topologiques parfaites.

Skin model (ou modèle de peau) : modèle non parfait de la pièce, présentant des défauts possibles. On ne s'intéresse pas à la matière, mais uniquement à la forme de la surface ou de la ligne, à la « peau » de l'objet. Il est utilisé en conception, lorsque la pièce n'existe pas encore, en imaginant celle-ci.

Élément extrait : élément (point, ligne ou surface) défini à partir de la pièce réelle, donc non-idéal.

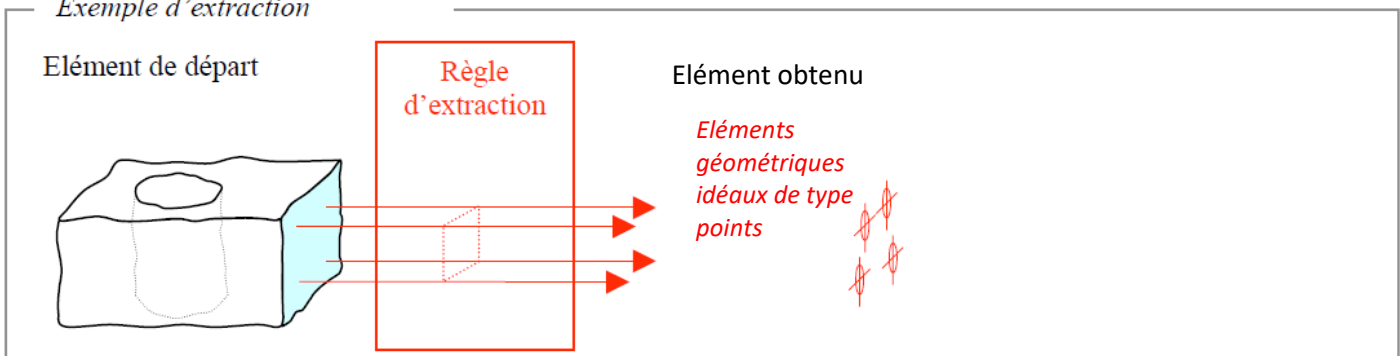
Élément associé : élément idéal (de géométrie parfaite) construit à partir d'un élément extrait (non idéal) suivant une règle définie, souvent la suivante : l'élément idéal est **tangent extérieur matière, minimisant les écarts** avec l'élément extrait. Il se peut que l'élément associé doive en plus respecter d'autres règles, par exemple lorsqu'il est une référence secondaire ou tertiaire (cf. sous-chapitre sur les références) : il devra alors aussi respecter une certaine orientation avec les références précédentes.

Les opérations de création des éléments géométriques :

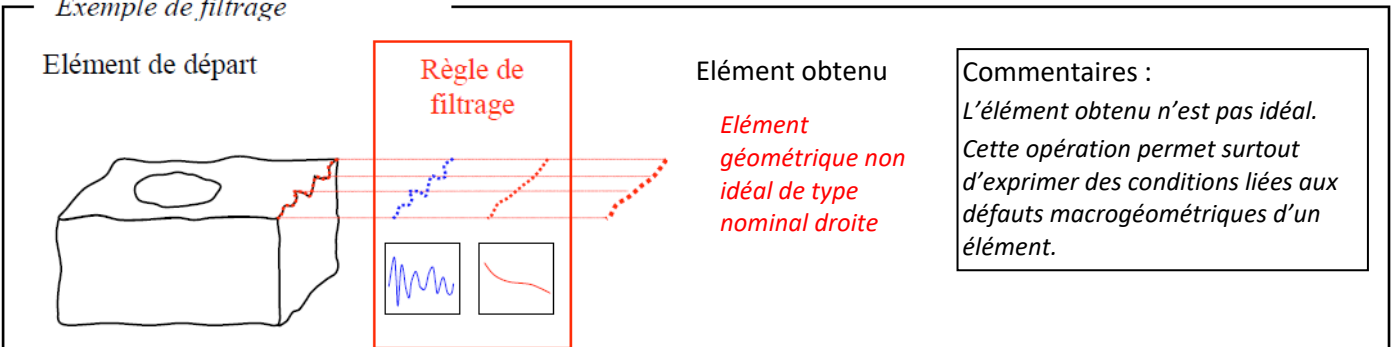
Le tolérancement géométrique nécessite de « créer » des objets idéaux ou non-idéaux, soit à partir du dessin de définition, soit à partir de la pièce réelle. On définit pour cela des « opérations », les principales sont :

- **partition** : consiste à considérer séparément chaque point, ligne ou surface concernée par la cotation ; cela permet d'identifier un élément tolérancé ou un élément de référence ;
- **collection** : réunion de plusieurs objets ;
- **filtrage** : permet de définir des éléments significatifs d'un élément, et de ne considérer qu'eux ;
- **extraction** : c'est l'échantillonnage d'une surface, le fait d'extraire des points d'un modèle de peau ou de la pièce réelle ; cela correspond à la palpation par une machine à mesurer tridimensionnelle ;
- **association** : consiste à définir l'objet idéal à partir du modèle de peau ou de la surface réelle ;
- **construction** : consiste à construire un objet idéal à partir d'un ou plusieurs objets idéaux, par exemple construire l'axe d'un cylindre idéal, construire la normale à un plan idéal, construire le plan de symétrie de deux plan idéaux, ...

Exemple d'extraction



Exemple de filtrage



3.2) Élément tolérancé

L'élément tolérancé est l'élément **non-idéal** (réel ou du skin model) sur lequel une spécification est définie. Ce peut être un point, une ligne ou une surface.

Sauf indication contraire la spécification s'applique à toute l'étendue de l'élément tolérancé.

3.2.1) Repérage d'un élément tolérancé simple

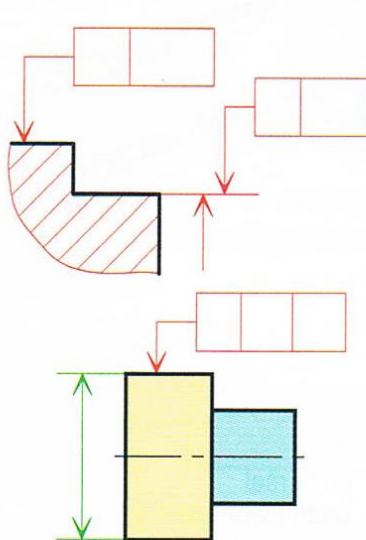
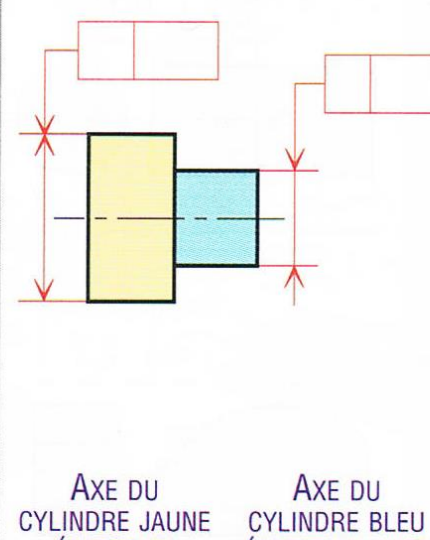
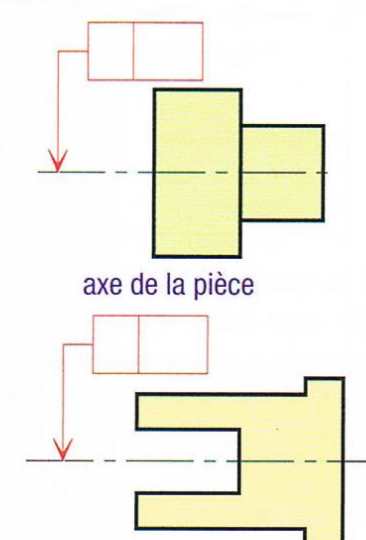
Lignes ou surfaces	Axe ou plan médian de l'élément coté	Axe ou plan médian de plusieurs éléments
 CYLINDRE JAUNE	 AXE DU CYLINDRE JAUNE (COTATION USUELLE) AXE DU CYLINDRE BLEU (COTATION AVEC MANQUE DE PLACE)	 axe de la pièce PLAN MÉDIAN DE LA PIÈCE

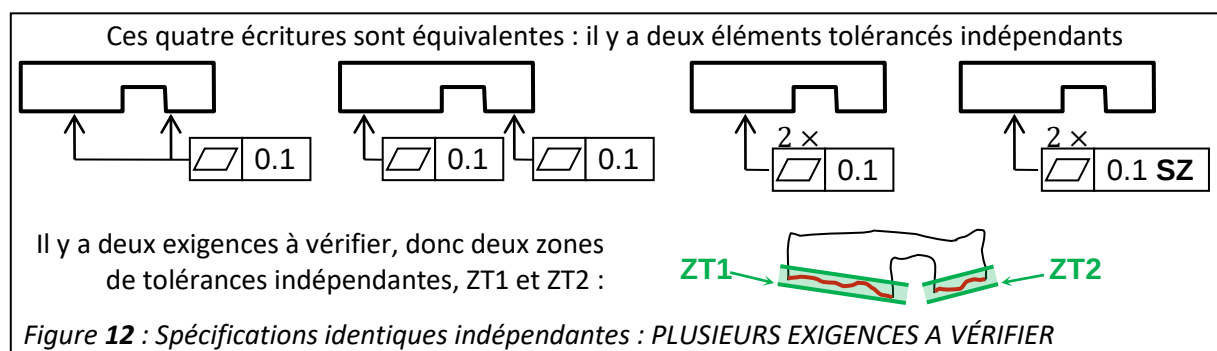
Figure 11 : Attention, si la flèche repérant l'élément tolérancé est dans le prolongement d'une cote, alors l'élément tolérancé est l'élément médian de cette cote (axe ou plan médian en général).

3.2.2) Cas de plusieurs éléments tolérancés avec même spécification

Pour désigner plusieurs éléments tolérancés (n éléments) :

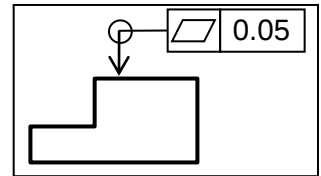
- soit on ajoute « $n \times$ » au-dessus du cadre de tolérance ;
- soit on représente n flèche, chacune pointant vers un élément tolérancé.

Cela signifie qu'il y a n exigences séparées à considérer indépendamment.



Il existe une exception à cela, dans le cas d'une spécification de **localisation** avant 2018, une zone combinée est attribuée par défaut à plusieurs éléments tolérancés ensemble. Heureusement la norme ISO 5458:2018 rend systématique l'utilisation de **SZ (zones séparées)** et **CZ (zones combinées)** pour éviter les ambiguïtés.

Le symbole  « **tout autour** » indique que la spécification s'applique sur chaque élément du contour. Dans l'exemple ci-contre, chacune des huit faces de la pièce doit respecter la spécification de planéité à 0,05mm, indépendamment les unes des autres (il y aura donc huit zones de tolérances).

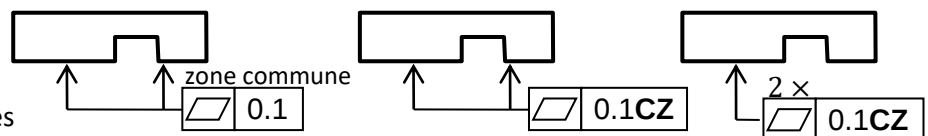


3.2.3) Élément tolérancé constitué de plusieurs entités(groupe)

Pour désigner un groupe d'éléments tolérancés constitué de plusieurs entités élémentaires réunies en une seule spécification (une seule condition de conformité pour le groupe), on doit indiquer une **zone commune** ou **combinée (CZ)** ou une tolérance commune (CT).

Il y aura alors un seul élément tolérancé (un groupe), donc **une seule zone de tolérance** (pouvant elle-même être composée de plusieurs zones élémentaires) par spécification géométrique.

Ces trois écritures sont équivalentes, il y a un seul élément tolérancé constitué d'un groupe de deux surfaces nominale-ment planes.



Il y a une seule exigence à vérifier, donc une seule zone de tolérance (ZT), dans laquelle le groupe d'éléments tolérancés doit être situé :

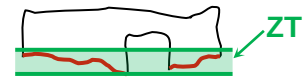


Figure 13 : Spécification sur un groupe d'éléments tolérancés : UNE SEULE EXIGENCE A VÉRIFIER

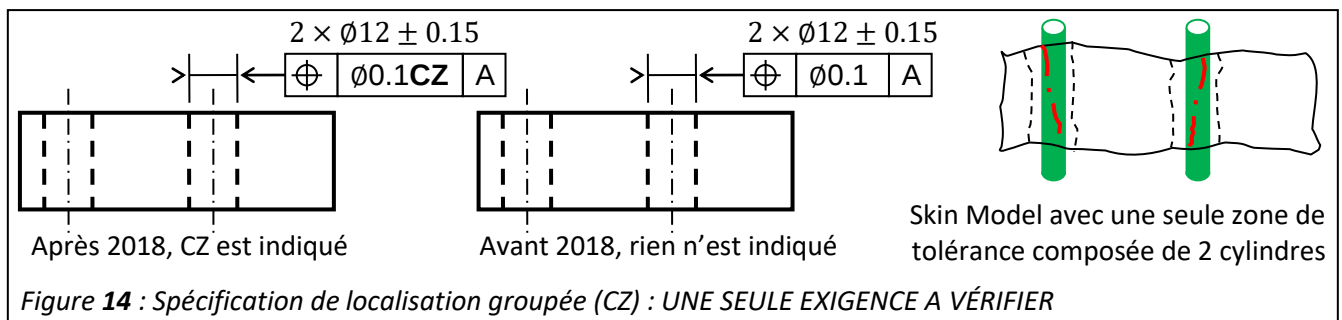
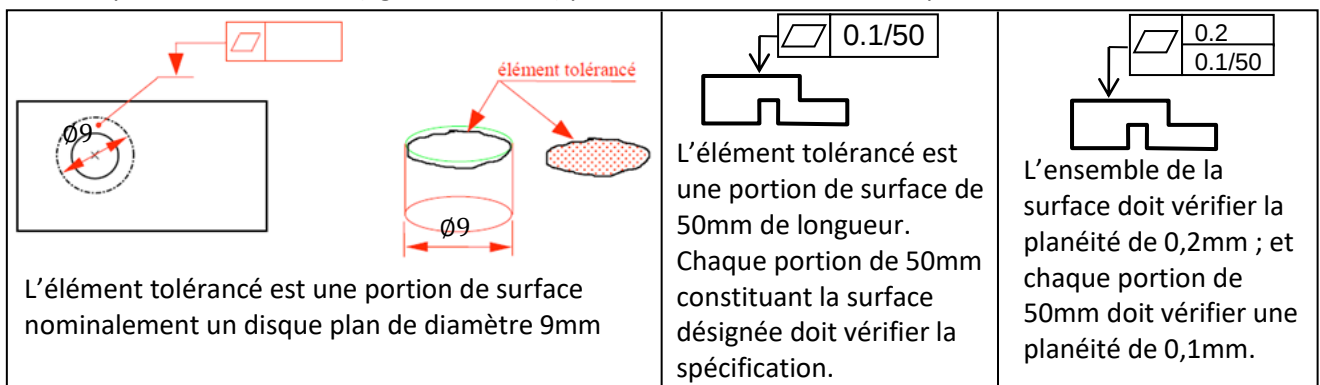


Figure 14 : Spécification de localisation groupée (CZ) : UNE SEULE EXIGENCE A VÉRIFIER

3.2.4) Élément tolérancé partiel

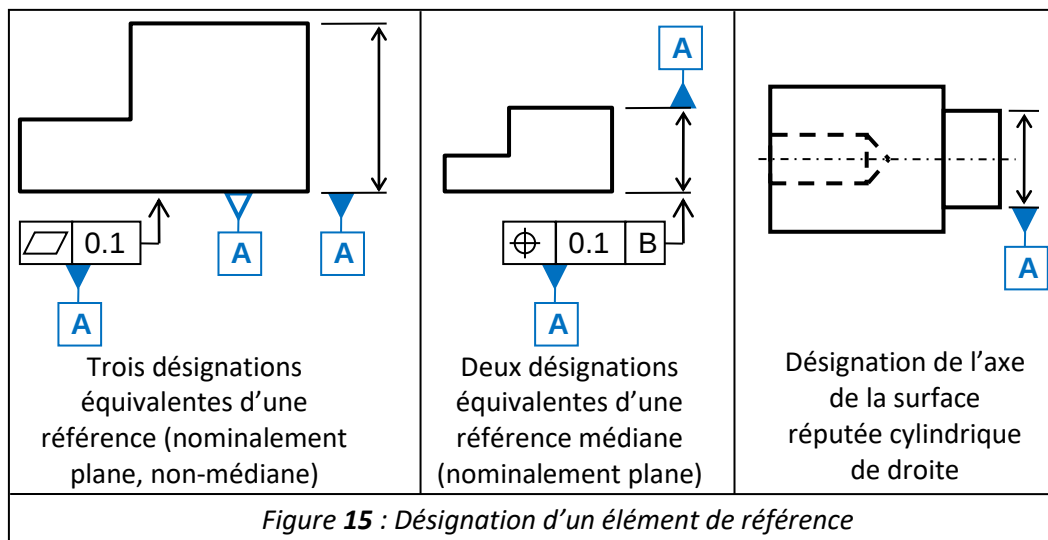
Seule une partie d'un élément (ligne ou surface) peut être tolérancé. Par exemple :



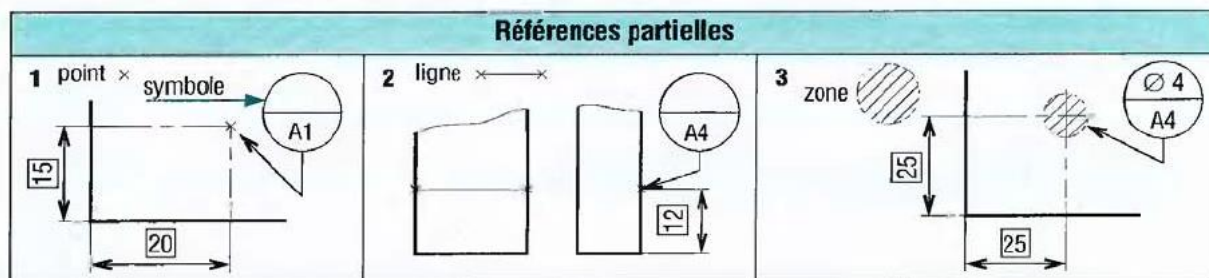
3.3) Élément de référence

L'élément de référence est l'élément **non-idéal** (réel ou du skin model) par rapport auquel un élément tolérancé sera positionné. Ce peut être un point, une ligne ou une surface.

L'élément de référence est désigné par une **lettre majuscule dans un cadre de référence**. Ce cadre de référence est relié à l'élément de référence par un trait terminé par un **triangle noirci ou non**.



L'élément tolérancé peut n'être qu'une partie de l'élément désigné (portion de ligne ou zone d'une surface), on appelle cela une **référence partielle** :



3.4) Référence spécifiée

3.4.1) Les trois types de référence spécifiée

Spécification	Type de référence
	référence simple
	référence commune
	système de référence (ordonné)

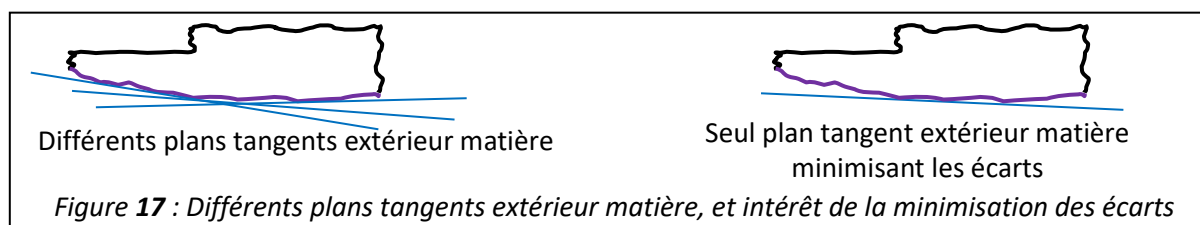
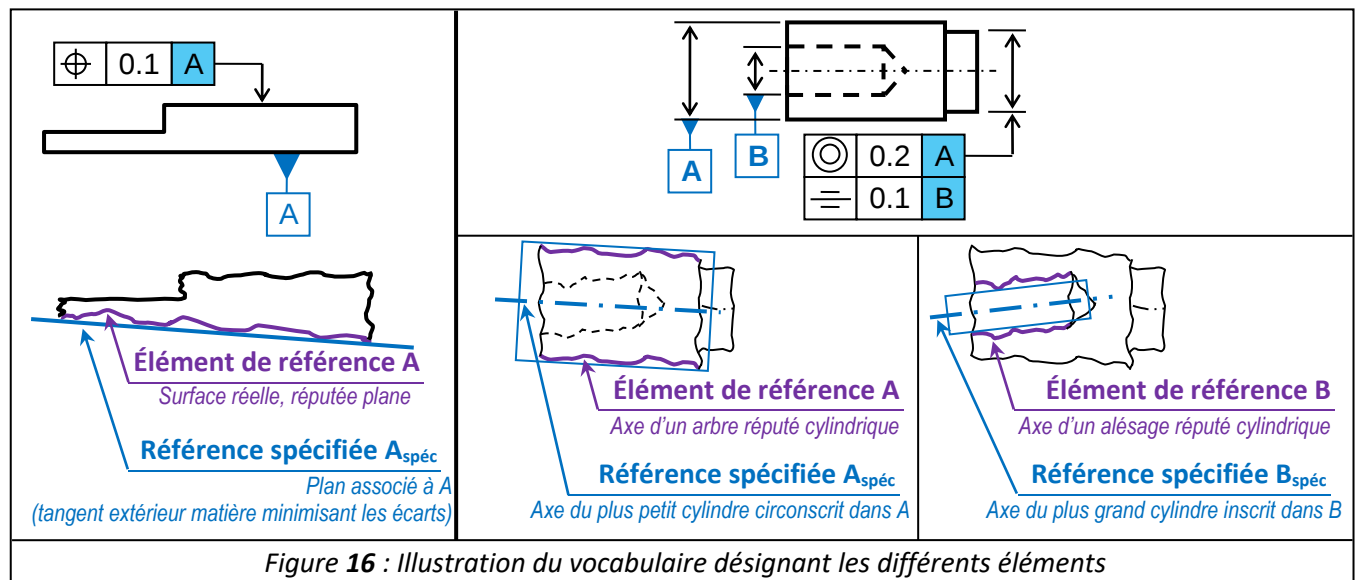
3.4.2) Construction d'une référence spécifiée simple **A**

Une référence spécifiée est un élément **idéal**, construit par **association** à partir de l'élément de référence (non-idéal) désigné par une lettre en majuscule. Cette association repose sur le principe « **tangent extérieur matière et minimisant les écarts** » (« **TEMME** »), par rapport à l'élément réel (ou au skin model).

Cas des cylindres, et axes de cylindres :

Un cylindre tangent extérieur matière minimisant les écarts avec une surface réputée cylindrique est :

- le plus petit cylindre circonscrit à la surface réputée cylindrique si celle-ci est un arbre ;
- le plus grand cylindre inscrit dans la surface réputée cylindrique si celle-ci est un alésage.



3.4.3) Construction d'une référence spécifiée commune **A-B**

Une référence commune est une seule référence, addition de plusieurs éléments de référence.

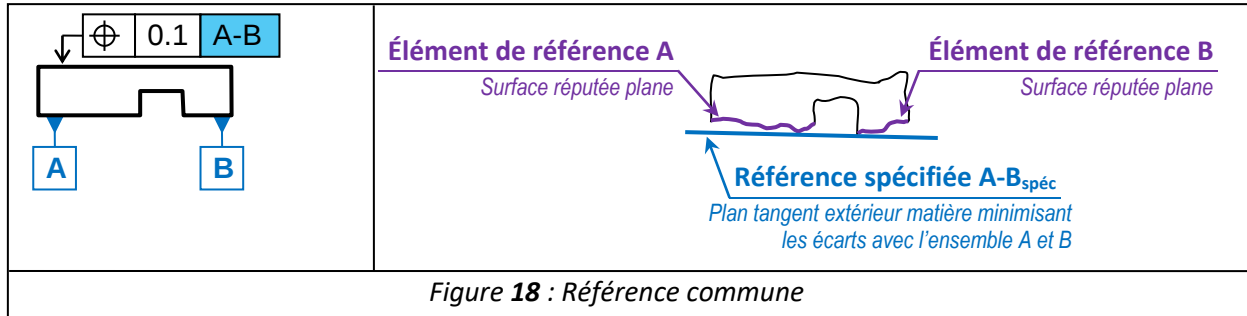


Figure 18 : Référence commune

3.4.4) Construction d'un système de références spécifiées **A|B|C**

Dans un système de référence, on peut trouver deux ou trois références (simples ou communes), qui sont, successivement (de gauche à droite) :

- la **référence primaire** ($A_{spéc}$), construite comme une référence spécifiée simple, sans tenir compte des autres références spécifiées, c'est-à-dire « tangente extérieur matière minimisant les écarts » avec son élément de référence (A) ;
- la **référence secondaire** ($B_{spéc_2}$), **contrainte en orientation** par rapport à la référence spécifiée primaire ($A_{spéc}$), et construite « tangente extérieur matière minimisant les écarts » à son élément de référence (B) ;
- l'éventuelle **référence tertiaire** ($C_{spéc_3}$), **contrainte en orientation** par rapport aux deux premières références spécifiées ($A_{spéc}$ et $B_{spéc_2}$), et construite « tangente extérieur matière minimisant les écarts » à son élément de référence (C).

Ainsi, un élément de référence peut être associé à plusieurs références spécifiées différentes ayant des formes différentes. Par exemple $C_{spéc}$ (qui pourrait être appelé par une spécification de parallélisme, cf. ci-contre) et $C_{spéc_3}$ sont des plans différents, car $C_{spéc}$ n'est pas contraint en orientation par $A_{spéc}$ et $B_{spéc_2}$.

Pour information, les dénominations $A_{spéc}$, $B_{spéc_2}$, $C_{spéc_3}$, $C_{spéc}$... ne sont absolument pas normalisées !

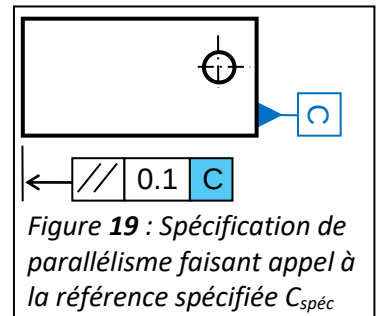


Figure 19 : Spécification de parallélisme faisant appel à la référence spécifiée $C_{spéc}$

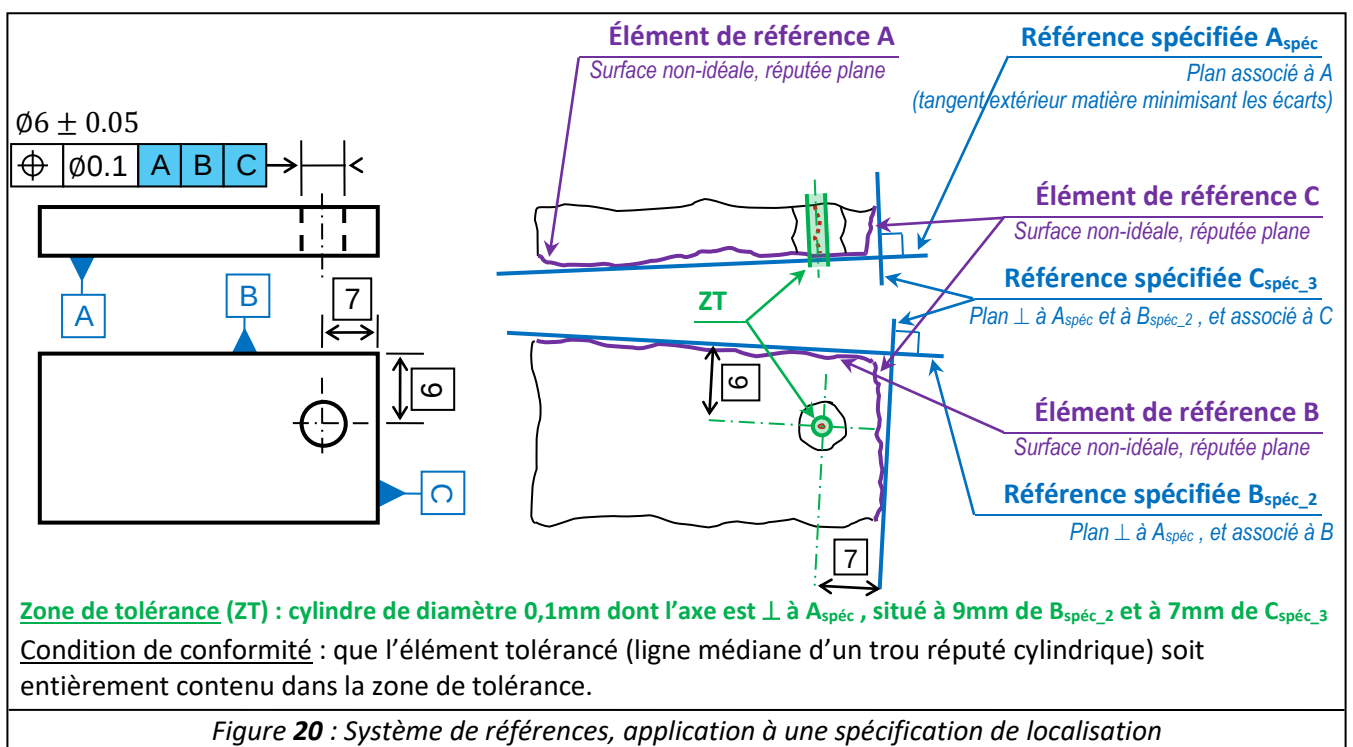


Figure 20 : Système de références, application à une spécification de localisation

3.5) Les différentes spécifications géométriques

3.5.1) Généralités

Il peut y avoir plusieurs spécifications sur un même élément tolérancé. Elles sont alors indépendantes et s'incluent : les tolérances de position incluent les tolérances d'orientation, qui elles-mêmes incluent les tolérances de forme. Cf. figure 21 ci-contre.

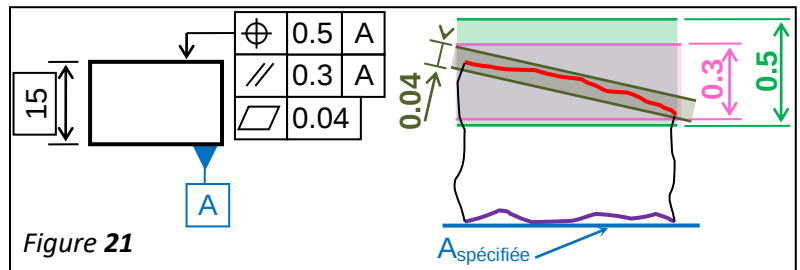


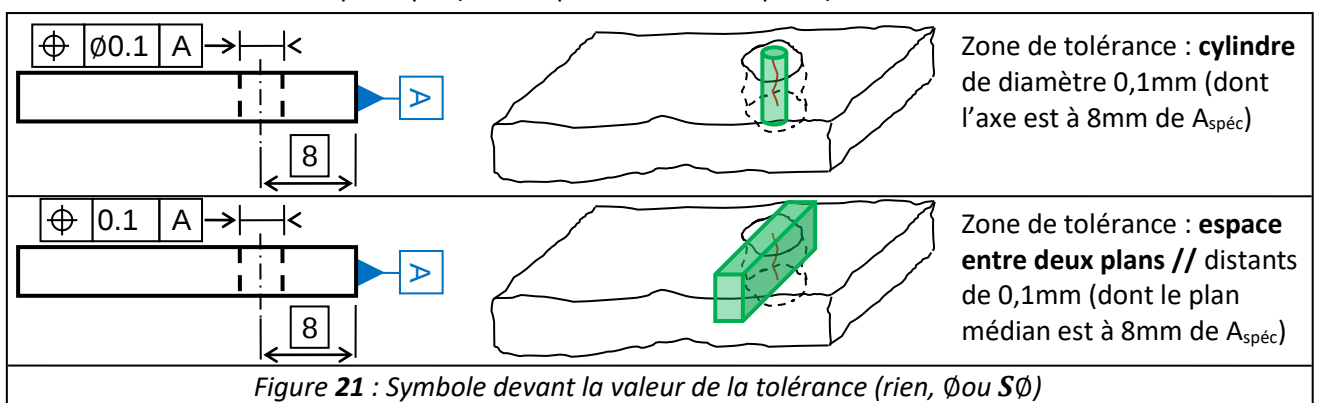
Figure 21

LES TOLÉRANCES GÉOMÉTRIQUES - NF ISO 1101			
Type	Cas	Symbole normalisé	Observations
Tolérances de forme	Planéité (surface)		s'utilisent en isolé ou sans éléments de référence
	Rectitude (axe, ligne)		
	Cylindricité (cylindre)		
	Circularité (cylindre, cône)		
	Profil d'une ligne		
	Profil d'une surface		
Tolérance d'orientation	Inclinaison (ligne, surface)		s'utilisent avec un élément de référence (axe, surface...)
	Parallélisme (ligne, surface)		
	Perpendicularité (ligne, surface)		
Tolérance de position	Localisation (ligne, surface)		
	Symétrie (ligne, surface)		
	Concentricité - Coaxialité (ligne, surface)		
Tolérance de battement	Battement simple (ligne, surface)		
	Battement total (ligne, surface)		

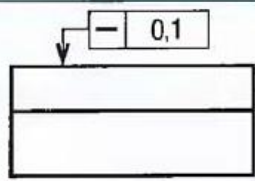
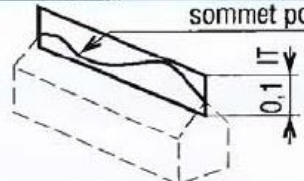
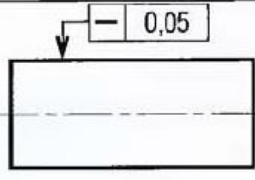
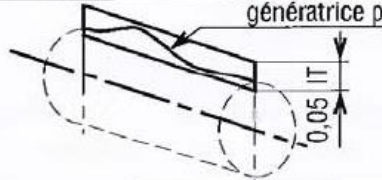
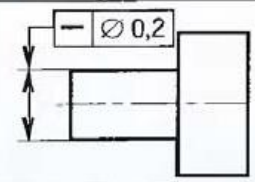
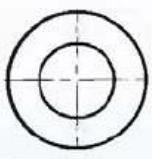
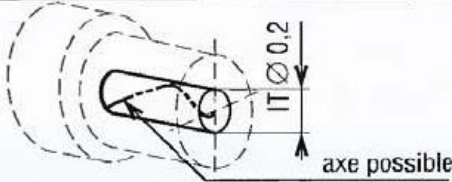
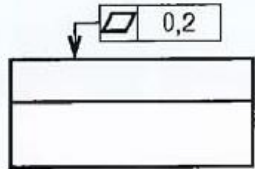
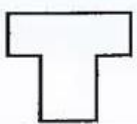
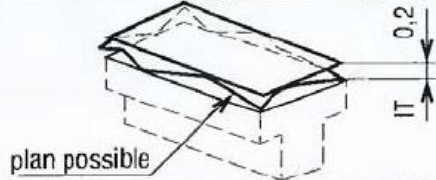
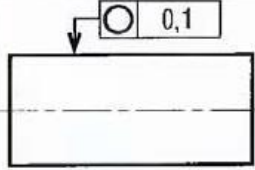
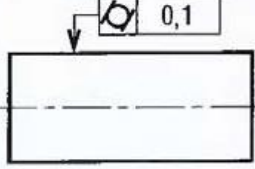
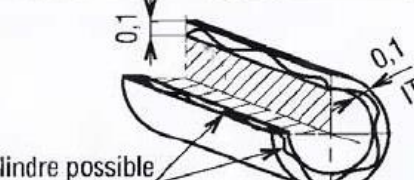
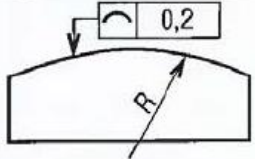
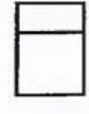
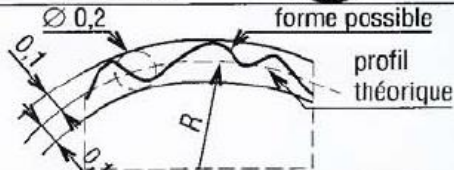
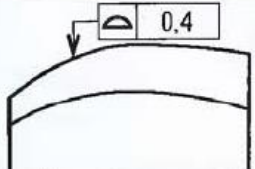
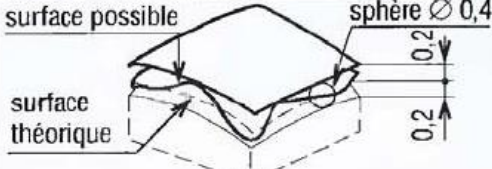
Symbole utilisé devant la valeur de la tolérance (t_1) :

$\varnothing t_1$: zone de tolérance cylindrique (utilisée pour tolérer une ligne) ;

$S\varnothing t_1$: zone de tolérance sphérique (utilisée pour localiser un point).



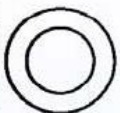
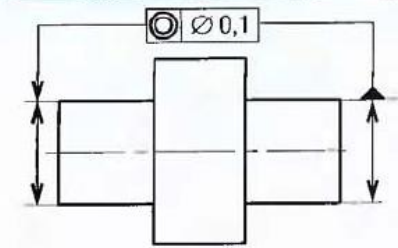
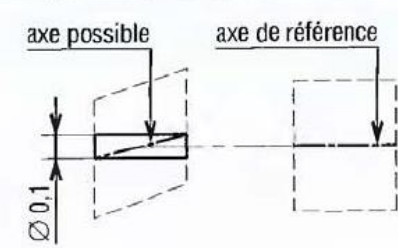
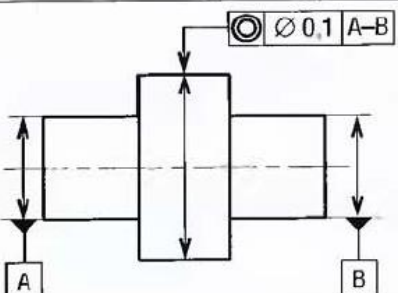
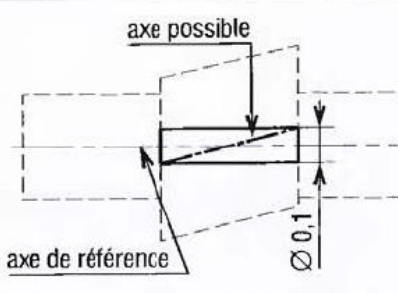
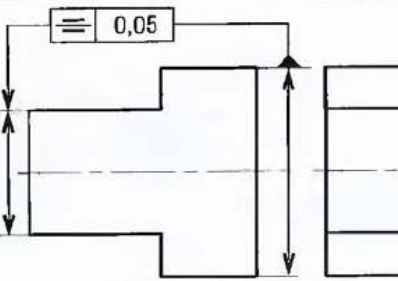
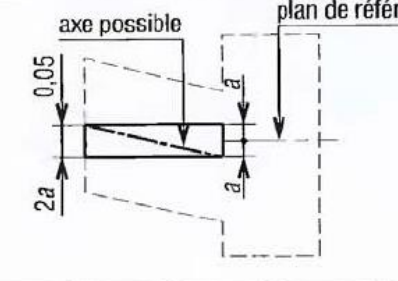
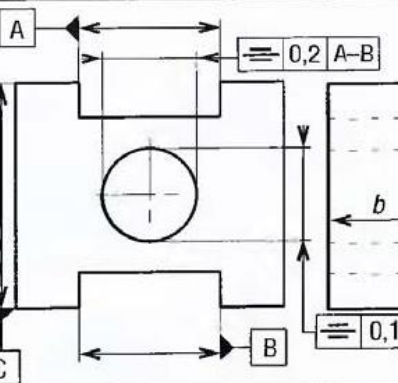
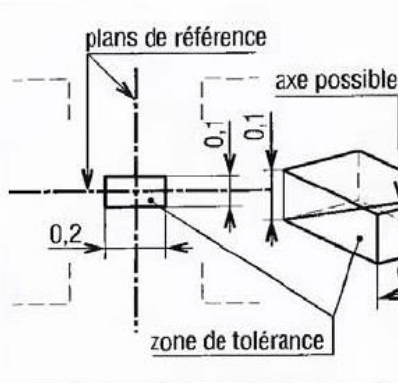
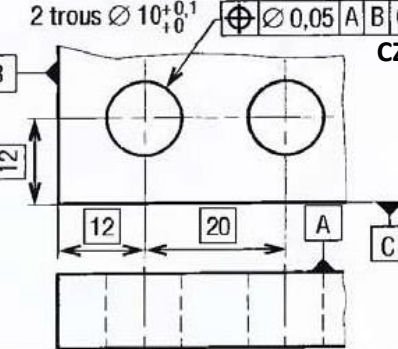
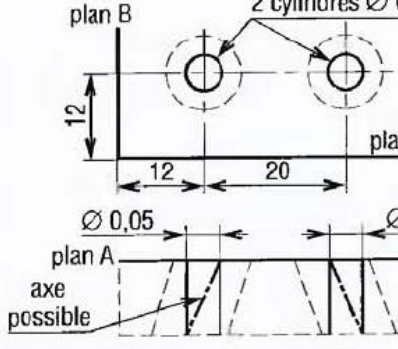
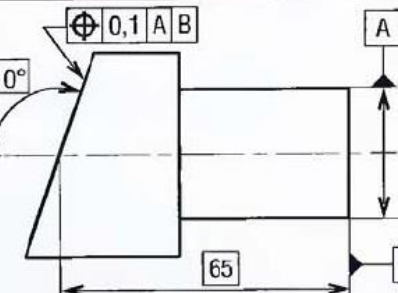
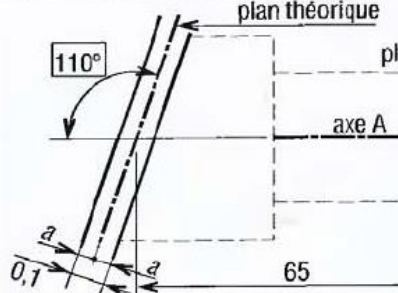
3.5.2) Tolérances de forme

Symbole	Exemple	Interprétation	Observations
rectitude 	 	 sommet possible 0,1 IT	La ligne sommet doit être contenue entre deux droites // distantes de 0,1mm.
	 	 génératrice possible 0,05 IT	Chaque génératrice de la surface réputée cylindrique doit être contenue entre deux droites // distantes de 0,05mm.
	 	 axe possible IT $\varnothing 0,2$	L'axe de la surface réputée cylindrique doit être contenu dans un cylindre de diamètre 0,2mm.
planéité 	 	 plan possible 0,2 IT	La surface réputée plane doit être contenue entre deux plans // distants de 0,2mm.
circularité 	 	 cercle possible 0,1 IT	Le profil de chaque section doit être contenu entre deux cercles concentriques distants de 0,1mm.
cylindricité 	 	 cylindre possible 0,1 IT	La surface réputée cylindrique doit être contenue entre deux cylindres coaxiaux distants de 0,1mm.
profil d'une ligne 	 	 forme possible profil théorique 0,2	Le profil de chaque ligne doit être contenu entre deux profils théoriques spécifiés (ici des cercles de rayon R) distants de 0,2mm.
profil d'une surface 	 	 surface possible surface théorique sphère $\varnothing 0,4$ 0,2 0,2	La surface tolérancée doit être contenue entre deux surfaces théoriques spécifiées distantes de 0,4mm.

3.5.3) Tolérances d'orientation

Symbole	Exemple	Interprétation	Observations
parallélisme 			La surface réputée plane doit être contenue entre deux plans // distants de 0,1mm, // à la référence spécifiée $A_{spécifiée}$.
			L'axe du trou réputé cylindrique doit être contenu dans un cylindre de diamètre 0,2mm dont l'axe est // à la référence spécifiée $A_{spécifiée}$.
perpendicula- rité 			La surface réputée plane doit être contenue entre deux plans // distants de 0,15mm, perpendiculaires à la référence spécifiée ($A_{spécifiée}$).
			L'axe de la surface réputée cylindrique doit être contenu dans un cylindre de diamètre 0,05mm, dont l'axe est perpendiculaire à la référence spécifiée $A_{spécifiée}$.
			L'axe de la surface réputée cylindrique doit être contenu dans un parallélépipède rectangle de côtés 1x 2mm, perpendiculaires à la référence spécifiée ($A_{spécifiée}$).
inclinaison 			La surface réputée plane doit être contenue entre deux plans // distants de 0,3mm, inclinés de 30° par rapport à la référence spécifiée ($plan\ de\ référence$).
			L'axe du trou réputé cylindrique doit être contenu dans un cylindre de diamètre 0,1mm, dont l'axe est incliné de 70° par rapport à la référence spécifiée $A_{spécifiée}$.

3.5.4) Tolérances de position

Symbole	Exemple	Interprétation	Observations
concentricité et coaxialité 			L'axe de la surface réputée cylindrique (de gauche) doit être contenu dans un cylindre de diamètre 0,1mm, coaxial à la référence spécifiée (axe de référence).
			L'axe de la surface réputée cylindrique (centrale) doit être contenu dans un cylindre de diamètre 0,1mm, coaxial à la référence spécifiée commune A-B _{spécifiée} .
symétrie 			La surface médiane réputée plane (de gauche) doit être contenue entre deux plans // distants de 0,05mm, dont le plan médian (de symétrie) est le plan de référence spécifié.
			L'axe du trou réputé cylindrique doit être contenu dans un parallélépipède rectangle de côtés 0,1x0,2mm, dont les plans médians (de symétrie) sont respectivement les références spécifiées C _{spécifiée} et A-B _{spécifiée} .
localisation 			Les axes des trous réputés cylindriques doivent être contenus dans deux cylindres de diamètre 0,05mm, d'axes $\perp$ à A _{spécifiée} , positionnés à 12mm de C _{spécifiée} et à respectivement 12mm et (12+20)mm de B _{spécifiée} 2.
			La surface réputée plane doit être contenue entre deux plans // distants de 0,1mm, inclinés de 110° par rapport à la référence spécifiée A _{spécifiée} et dont le plan médian est à 65mm de la référence spécifiée B _{spécifiée} 2 suivant l'axe A _{spécifiée} .

Autre exemple de localisation figure 20 page 15.

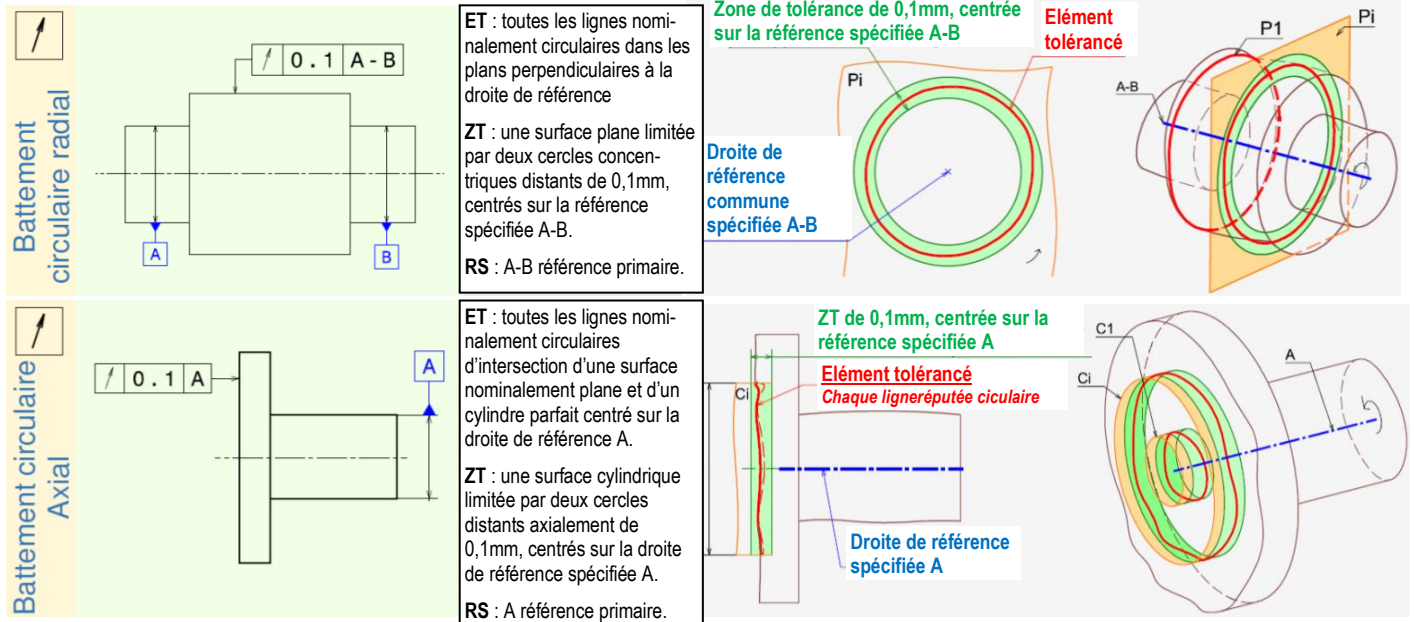
3.5.5) Tolérances de battement

Le battement se mesure en faisant **tourner** la pièce à mesurer autour d'un axe (référence spécifiée).

La mesure peut être effectuée radialement (dans la direction du rayon, $\perp$ à l'axe), axialement, ou oblique, selon la direction de la flèche de tolérancement.

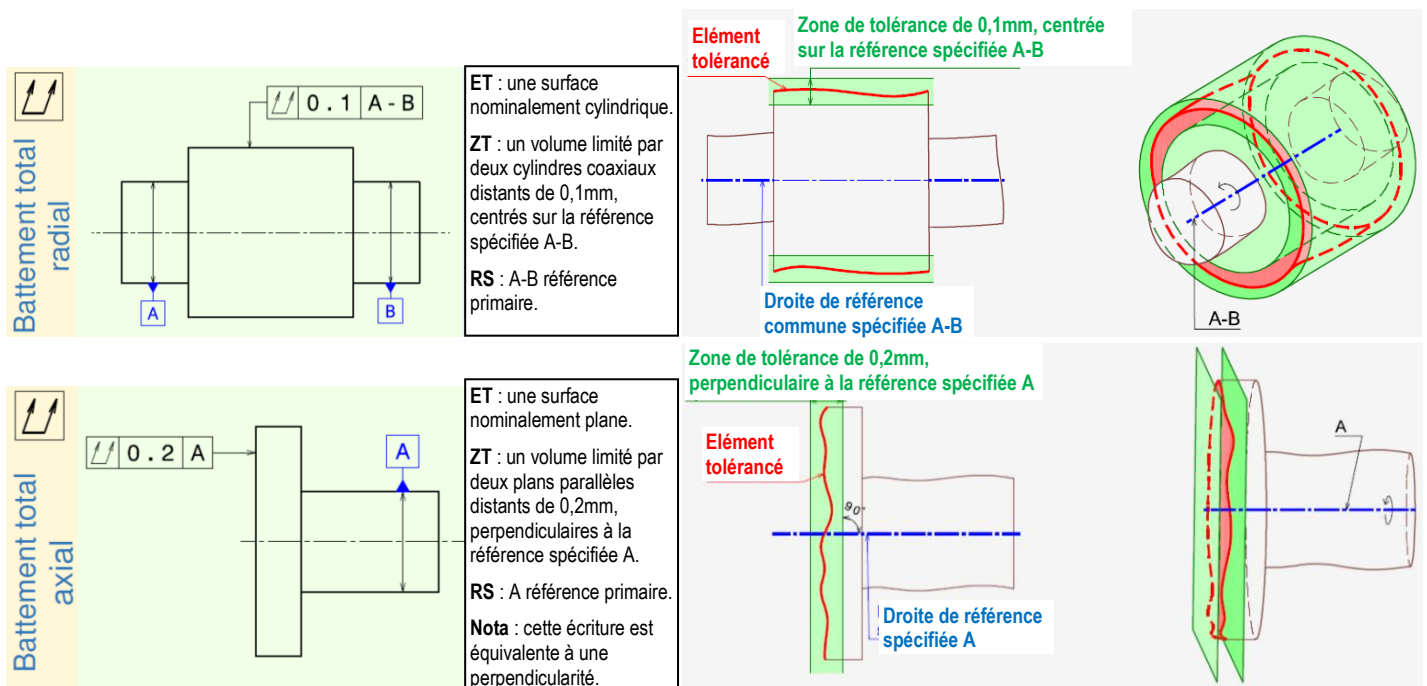
Battement simple (ou circulaire) :

Il tolérances chaque ligne d'une surface donnée.



Battement double (ou total) :

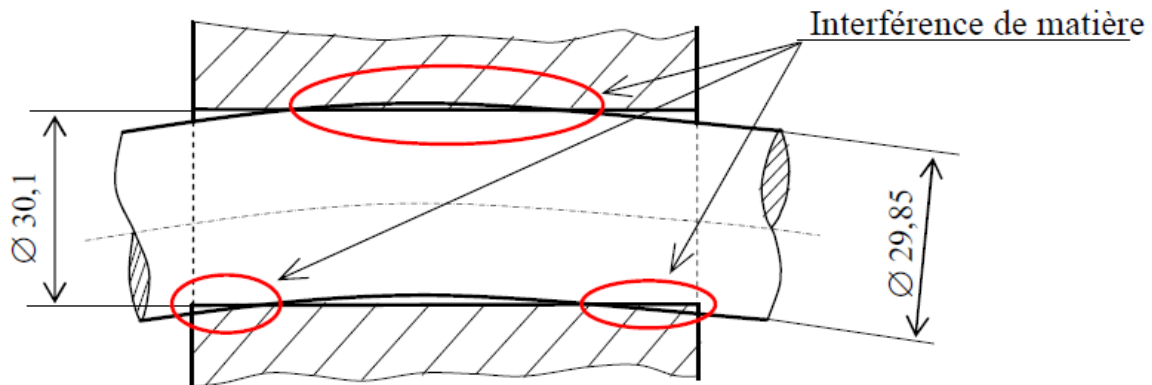
Il tolérances une surface.



4) Exigence de l'enveloppe

4.1) Notion d'enveloppe

Si aucune relation particulière entre la dimension et la géométrie n'existe, un arbre coté $\varnothing 30^{-0,1}_{-0,2}$ ne pourra pas obligatoirement coulisser dans un alésage coté $\varnothing 30^{+0}_{+0,2}$ (par exemple s'il est cintré !).



Si l'on veut que la condition fonctionnelle « arbre coulisant dans l'alésage » soit satisfaite, il est indispensable d'ajouter au tolérancement dimensionnel une condition supplémentaire, géométrique, comme par exemple l'exigence d'enveloppe. **L'exigence de l'enveloppe est la solution la plus simple pour s'assurer de l'ajustement entre 2 pièces l'une contenant l'autre : glissant, incertain ou serré.**

Extrait de la norme ISO 8015 :

L'exigence d'enveloppe implique que l'enveloppe de forme géométrique parfaite à la dimension au maximum de matière de l'élément considéré ne soit pas dépassée.

La dimension au maximum de matière est :

- pour un arbre, sa dimension maximale (ici c'est $\varnothing 29,9$) ;
- pour un alésage, sa dimension minimale (ici c'est $\varnothing 30$).

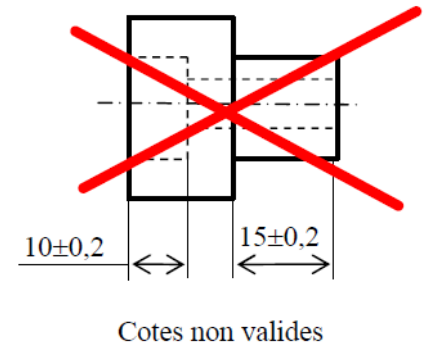
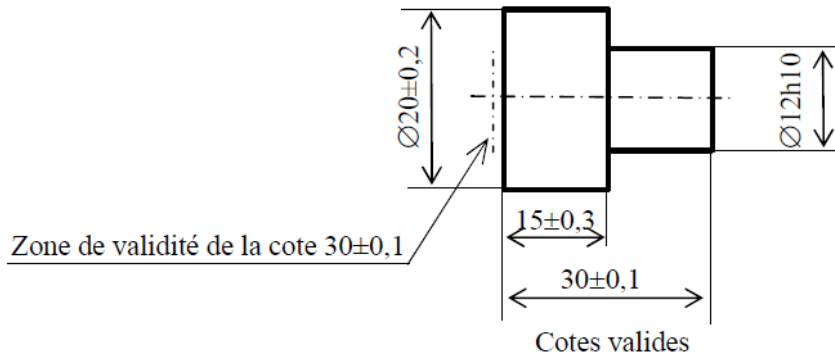
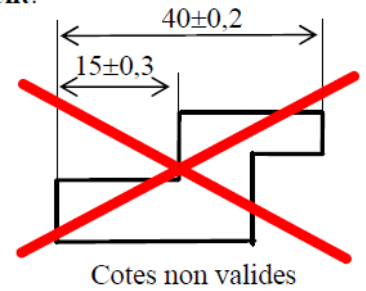
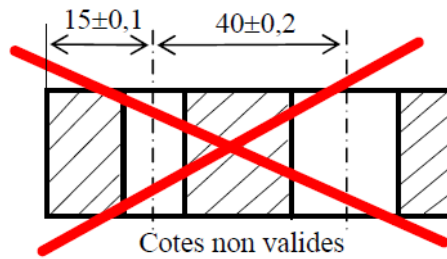
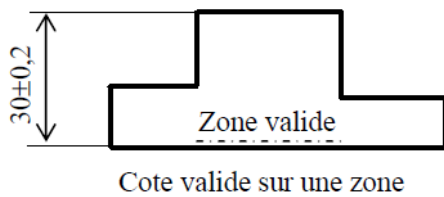
Ainsi le jeu minimal en tout point de l'assemblage sera de 0,1mm.

L'exigence d'enveloppe est indiquée par :

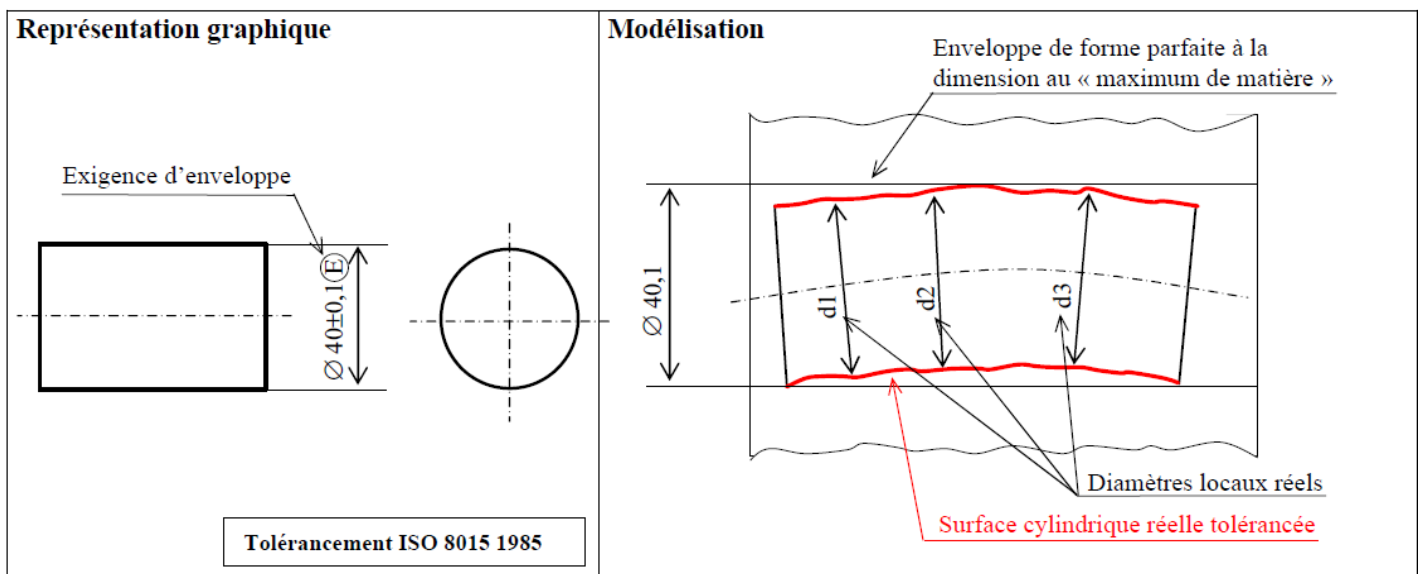
- pour un élément isolé on indique le symbole $\textcircled{E}$ après la cote tolérancée ou l'ajustement ;
- pour l'ensemble du dessin on inscrit le symbole $\textcircled{E}$ près du cartouche ;
- s'il n'y a pas d'indication, le dessin sera interprété suivant le principe des cotes locales.

Remarque :

La **cote linéaire tolérancée** et l'**exigence d'enveloppe** ne peuvent s'appliquer qu'à un élément cylindrique ou à deux éléments plans parallèles et en vis à vis. **Il faut donc que le bipoint existe physiquement.**

Exemples :

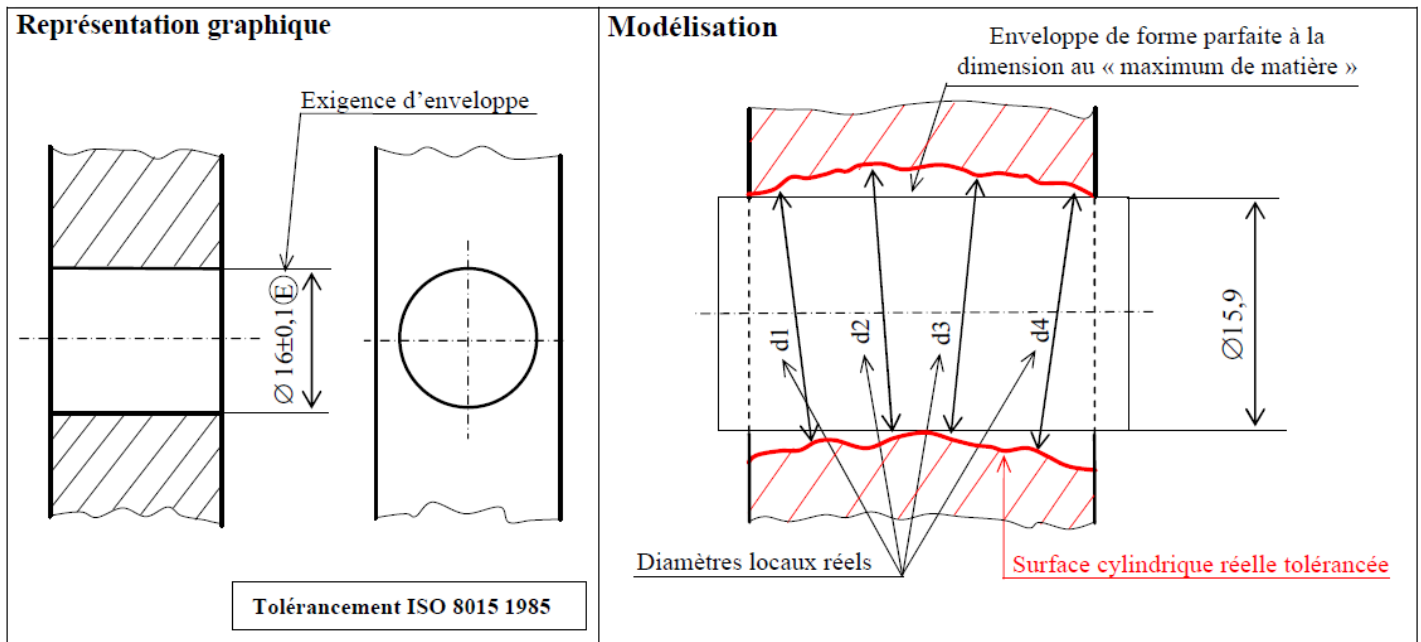
4.2) Diamètre d'un arbre avec exigence d'enveloppe

Condition de conformité :

La surface nominalement cylindrique tolérancée doit respecter les deux exigences suivantes :

- l'arbre entier doit rester dans la limite de l'enveloppe cylindrique de forme parfaite de $\varnothing 40,1 \text{ mm}$ (il s'agit de la dimension au maximum de matière, qui correspond, pour un arbre, à la dimension maximale)
- chaque diamètre local (bipoint d_i) doit vérifier la condition dimensionnelle : $\varnothing 39,9 \leq d_i \leq \varnothing 40,1$

4.3) Diamètre d'un alésage avec exigence d'enveloppe



Condition de conformité :

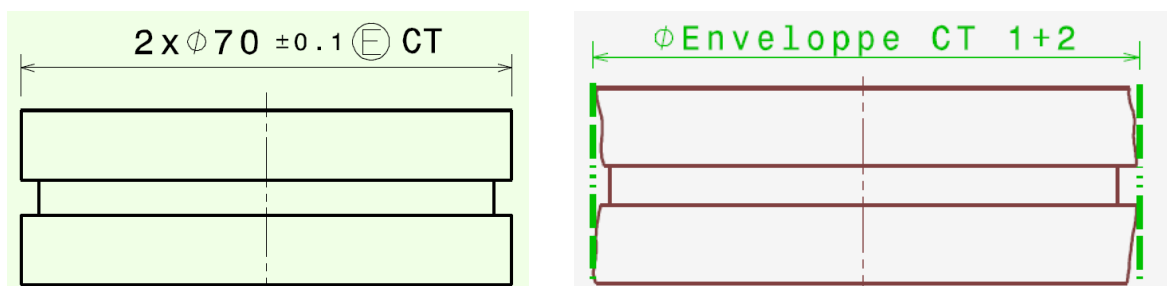
La surface nominalement cylindrique tolérancée doit respecter les deux exigences suivantes :

- l'alésage entier doit rester dans la limite de l'enveloppe cylindrique de forme parfaite de $\varnothing 15,9\text{mm}$ (il s'agit de la dimension au maximum de matière, qui correspond, pour un alésage, à la dimension minimale)
- chaque diamètre local (bipoint d_i) doit vérifier la condition dimensionnelle : $\varnothing 15,9 \leq d_i \leq \varnothing 16,1$

4.4) Tolérance commune (CT) avec exigence d'enveloppe

Lorsque l'on souhaite appliquer l'exigence de l'enveloppe à un élément composé de plusieurs entités élémentaires, il faut lui adjoindre le symbole **CT** signifiant « **Tolérance commune** ». Ainsi ce sera l'ensemble de surfaces nominalement identiques qui seront tolérancées en une seule exigence.

Illustration :



5) Tolérances d'états de surface

5.1) Principaux défauts des surfaces

Les défauts possibles d'une surface peuvent être divisés en 4 catégories, du + grand au + petit :

Défauts d'ordre 1 : ils correspondent aux défauts géométriques : planéité, rectitude, cylindricité...

Défauts d'ordre 2 (fig. 22) : ils sont relatifs aux ondulations, engendrées par les vibrations des machines-outils, le traitement thermique...

Défauts d'ordre 3 (fig. 22) : ce sont les stries de rugosité, sortes de sillons tracés avec régularité dans le relief des ondulations par les outils de coupe, ou engendrés par les parois des moules...

Défauts d'ordre 4 : irréguliers, parfois accidentels, ils correspondent à des arrachements, fentes...

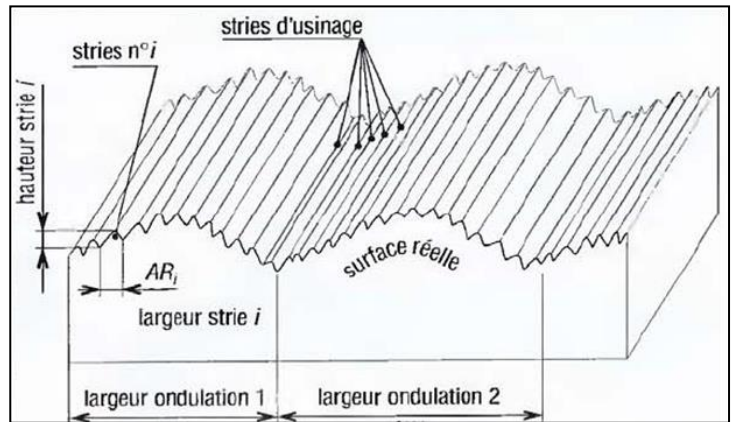


Figure 22 : Défauts amplifiés des surfaces usinées

5.2) Rugosité

La rugosité est la mesure des écarts entre le profil réel d'une surface et sa ligne moyenne.

Différents critères existent pour donner une valeur significative de ces écarts.

L'écart moyen arithmétique R_a (ou critère statistique de rugosité) est le critère de rugosité le plus utilisé. Il vaut la moyenne des écarts en valeur absolue, entre le profil réel et la ligne moyenne.

$$R_a = \frac{|z_1| + |z_2| + |z_3| + \dots + |z_n|}{n}$$

$$R_a = \frac{1}{L} \cdot \int_0^L |z_x| \cdot dx$$

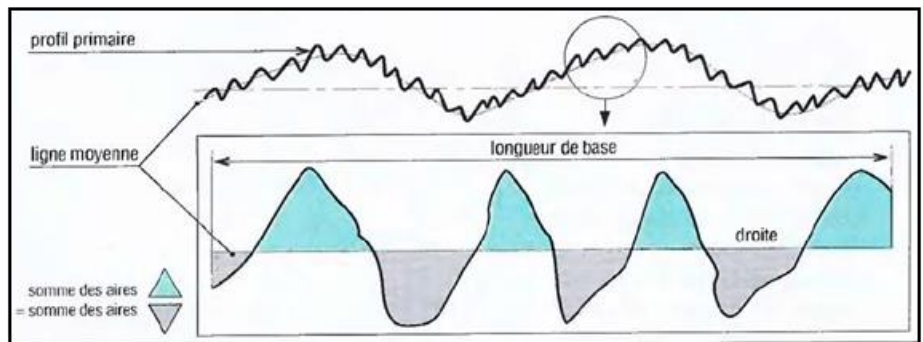


Figure 23 : Ligne moyenne d'un profil de surface

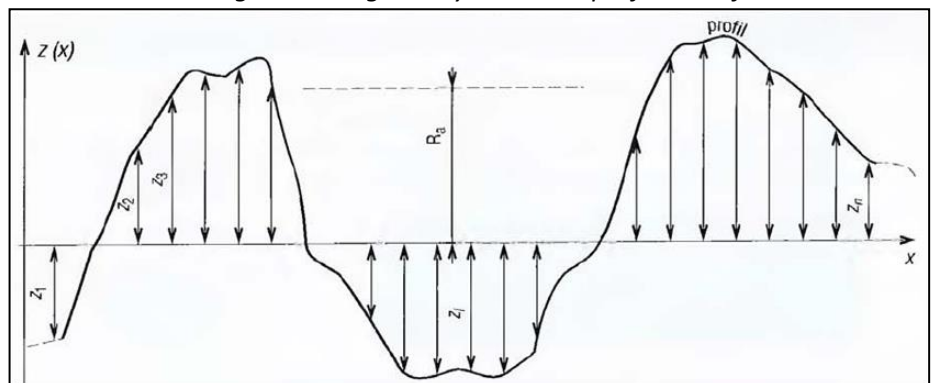


Figure 24 : Écarts et rugosité R_a

5.3) Désignation normalisée d'un état de surface

procédé, traitement ou revêtement (en toutes lettres) rugosité en μm alésé $R_a 3,2$ Désignation classique	Exemple : $R_a 3,2$ sauf indications $R_a 0,8$		
	Surface usinée	Surface brute (enlèvement de matière interdit)	Valable pour toutes les surfaces (sauf indications contraires)

Figure 25 : Désignation normalisée d'un état de surface