

Cotation fonctionnelle

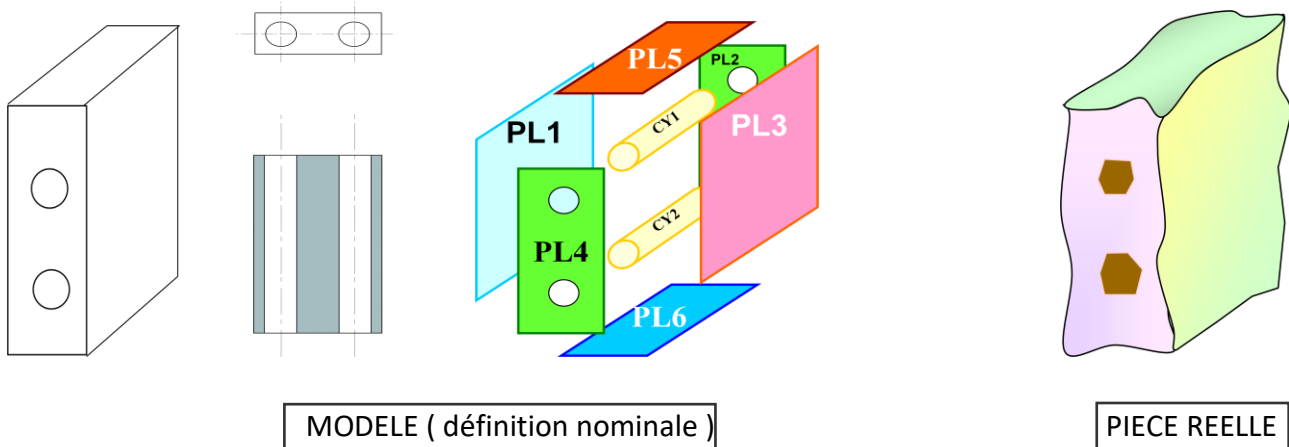
Spécification géométrique & rugosité

À la suite de ce cours, vous devrez être capable de :

- décrire une *spécification géométrique* en indiquant son type, l'élément toléré, la référence, le critère à respecter,
- interpréter une *cotation au maximum de matière* et déterminer son gabarit de contrôle,
- décrire l'état de surface ou la rugosité d'une surface.

1 Introduction - Définitions

Une pièce, nécessairement issue d'un procédé de fabrication, ne fait que s'approcher de la forme et des dimensions théoriques prévues par la conception.



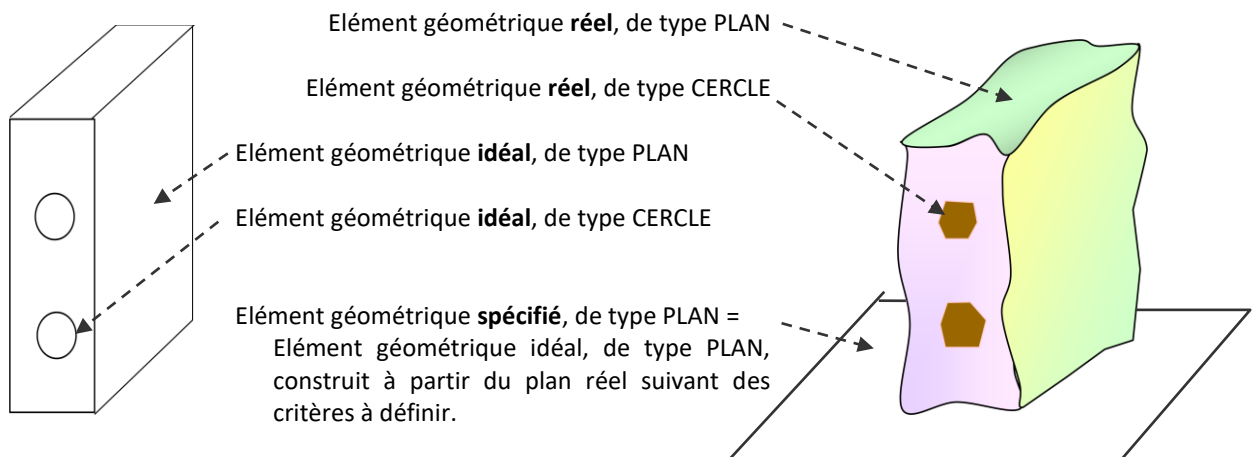
Le modèle géométrique (ou nominal) est défini à partir de surfaces (plans, cylindres...) de formes parfaites, et positionnées de manière idéale entre elles (plans perpendiculaires, ou distants d'une valeur bien précise,...)

La pièce réelle est celle issue d'un processus de fabrication. On peut rencontrer différents types de défauts :

- **Défauts d'état de surface** : la surface fabriquée est-elle assez lisse ?
- **Défauts de forme** : le « plan réel » est-il éloigné d'un plan parfait ?
- **Défauts d'orientation** : les 2 axes des cylindres sont-ils parallèles ?
- **Défauts de position** : les 2 axes des cylindres sont-ils bien distants de 30 mm ?

Quelques définitions :

On appellera « **élément géométrique** » toute surface, ligne ou point défini sur la pièce ou sur le modèle. L'élément géométrique pourra être réel, idéal, ou spécifié, et sera caractérisé par son type. Exemples :



2 Généralités sur les spécifications géométriques (voir Fanchon chap tol. géo.)

Les *spécifications géométriques* (ou *tolérances géométriques*) permettent d'autoriser les *défauts géométriques* tout en assurant que la pièce dans son ensemble remplira bien sa fonction. On définit ainsi des intervalles de tolérance, ou des zones de tolérance.

Différents principes permettent de définir soit des intervalles de tolérance, soit des zones de tolérance à l'intérieur desquelles doivent se trouver les points d'une surface réelle. Voir chapitre 3.

La représentation d'une spécification géométrique sur le dessin de définition de la pièce est normalisée (voir §4). Le tableau suivant recense les spécifications géométriques, regroupées selon le type de défaut, avec des symboles normalisés complémentaires.

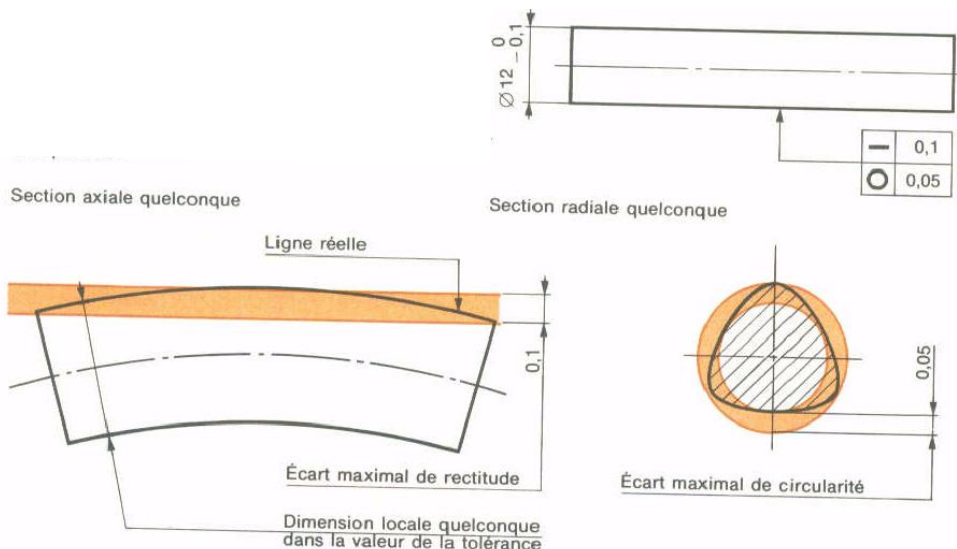
Type de tolérance	Nom	Symbole	Type de tolérance	Nom	Symbole
Tolérance de forme	rectitude		Tolérance d'orientation	parallélisme	
	planéité			perpendicularité	
	circularité			inclinaison	
	cylindricité		Tolérance de position	coaxialité	
	ligne quelconque			symétrie	
	surface quelconque			localisation	
Symboles complémentaires : (E) exigence ou principe d'enveloppe (M) (ou L) exigence au maximum (minimum) de matière (P) zone de tolérance projetée Ø zone de tolérance cylindrique ou circulaire [30] cote encadrée : dimension théoriquement exacte qui définit la position de la zone de tolérance par rapport à la référence spécifiée			Tolérance de battement	battement simple	
				battement total	
			indication de l'élément de référence		

3 Différents principes de cotation

a. Principe de l'indépendance

Chaque *cotation dimensionnelle* ou *spécification géométrique* du dessin de définition d'une pièce **doit être respectée en elle-même**, c'est-à-dire indépendamment des autres tolérances, sauf si une *relation d'interdépendance* est précisée.

Les différents types de défauts sont tous indépendants, comme le montre la figure suivante :



Sur cet exemple, on peut avoir un défaut de rectitude grand conjugué à un défaut dimensionnel petit, un défaut de circularité grand conjugué à un défaut de rectitude petit...

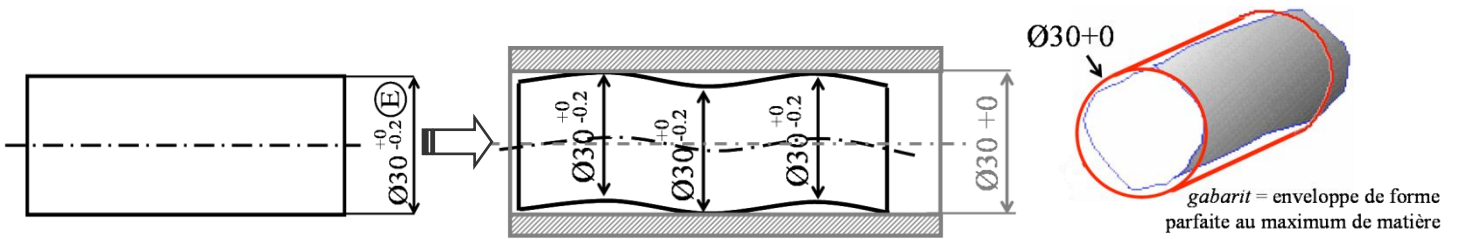
La cote $12 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,1 \end{smallmatrix}$ sera respectée si toutes les dimensions locales sont entre 11,9 et 12 ici.

La difficulté provient du fait que la direction de ces dimensions locales n'est pas clairement définie...

Principe de moins en moins utilisé...

b. Principe de l'enveloppe $\text{\textcircled{E}}$

L'exigence d'enveloppe établit une relation entre la cote dimensionnelle et la forme géométrique de la pièce. Elle est précisée par le symbole $\text{\textcircled{E}}$ placé à la suite de la tolérance dimensionnelle.



L'exigence d'enveloppe implique que la pièce réelle ne dépasse pas l'enveloppe de forme parfaite à la dimension au maximum de matière de l'élément toléré, sans oublier que toutes les dimensions réelles locales doivent respecter la tolérance dimensionnelle.

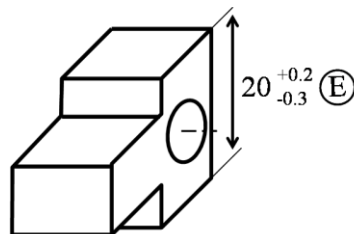
Remarques :

- La surface enveloppe est définie avec un critère « tangent extérieur matière, minimisant le plus gros écart entre point réel et surface enveloppe (critère min-max)
- La direction des dimensions locales est définie par la direction de la surface enveloppe.
- Avec ce principe de cotation, on a nécessairement :

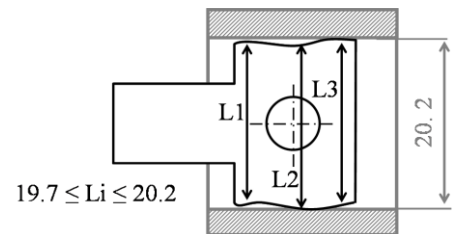
$$IT \text{ cote fonctionnelle} > IT \text{ position} > IT \text{ orientation} > IT \text{ forme} > IT \text{ rugosité}$$

- Ce principe est particulièrement adapté aux pièces destinées à s'assembler entre elles. Il permet de mieux s'approcher de la mise en position réelle entre 2 pièces munies de défauts.

- Le principe d'enveloppe ne peut s'appliquer qu'à un cylindre ou à deux plans parallèles en vis-à-vis.



- Le contrôle d'une cotation avec principe d'enveloppe est réalisé à l'aide de jauges et calibres de contrôle.

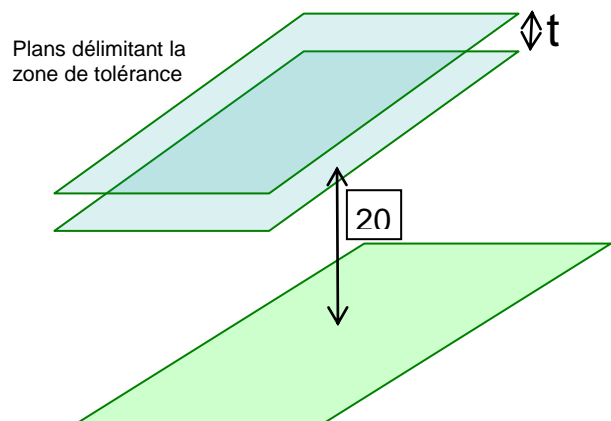


c. Cotation par zone de tolérance

Ce principe consiste à définir une zone (appelée zone de tolérance) à l'intérieur de laquelle doivent se trouver tous les points de la surface réelle dont on souhaite maîtriser les défauts.

Ce principe nécessite de définir sans ambiguïté la manière de construire cette zone de tolérance à partir de la pièce réelle.

Le chapitre suivant permet de définir toutes ces règles de définition de la zone de tolérance.

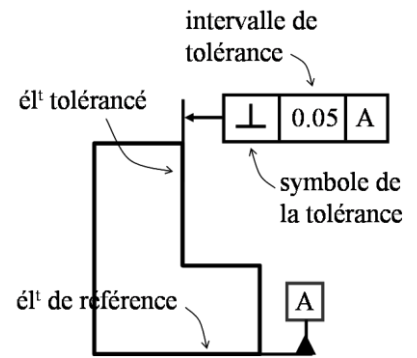


4 Définition des spécifications géométriques

4.1 Inscriptions normalisées

Une *spécification géométrique* se représente par une flèche pointant une surface de la pièce, l'*élément tolérancé*, et reliée à un cadre rectangulaire qui précise :

- le *type de tolérance* par son symbole,
- la forme et la valeur de l'*intervalle de tolérance*,
- si nécessaire l'*élément de référence* par une lettre majuscule.



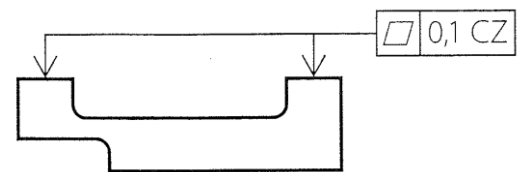
Elément tolérancé

L'*élément tolérancé* est désigné par la flèche. Plusieurs cas sont distingués selon la position de la flèche par rapport à la cote dimensionnelle.

<p>El^t réel : surface réputée plane El^t tolérancé : surface réputée plane</p>	<p>El^t réel : 2 surfaces réputées planes El^t tolérancé : plan médian à l'élément réel (critère à définir)</p>
<p>El^t réel : surface réputée cylindrique El^t tolérancé : surface réputée cylindrique</p>	<p>El^t réel : surface réputée cylindrique El^t tolérancé : axe médian associé à l'élément réel (critère à définir)</p>
<p><i>flèche non alignée avec la cote dimensionnelle</i> → l'<i>élément tolérancé</i> est l'<i>élément réel</i></p>	<p><i>flèche alignée avec la cote dimensionnelle</i> → l'<i>élément tolérancé</i> est l'<i>axe ou le plan médian</i> de l'<i>élément réel</i></p>

Plusieurs éléments peuvent être réunis :

La tolérance s'applique à l'ensemble des points réels constitué par la réunion des surfaces pointées par les flèches, comme si elles faisaient qu'une.



Référence

Mises à part les tolérances de forme, les tolérances de position, d'orientation et de battement exigent l'emploi d'une *référence* : point, axe, surface...

La référence se décline en trois entités :

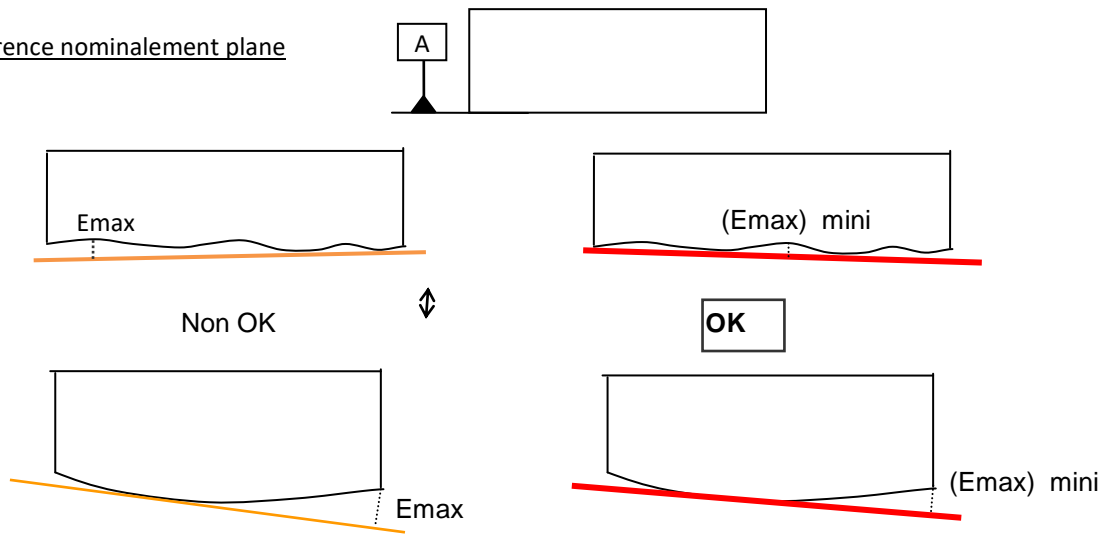
- l'*élément de référence* qui correspond toujours à l'élément géométrique réel (ex. surface réputée plane, surface réputée cylindrique...),
- l'*élément de référence simulé* qui correspond à un élément géométrique de forme parfaite associé à l'élément de référence par un critère à préciser (ex. plan des moindres carrés, surface cylindrique tangente extérieure matière...). En l'absence d'indication, la norme stipule le critère suivant :

Tangent extérieur matière, minimisant le plus gros écart*

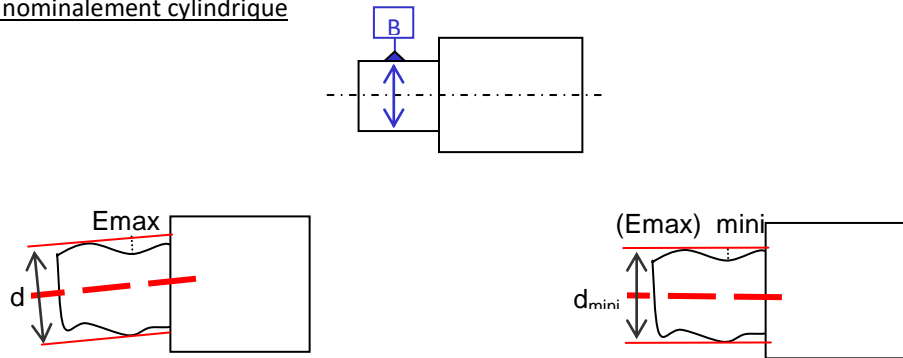
*entre le point réel le plus éloigné de l'élément de référence, et l'élément de référence.

Exemple :

- référence nominalement plane



- référence nominalement cylindrique



Ces critères reviennent à dire, pour des surfaces cylindriques :

- **Plus petit cylindre circonscrit pour un cylindre extérieur**
- **Plus grand cylindre inscrit pour un alésage**

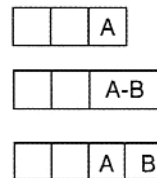
- la *référence spécifiée* qui est une forme géométrique exacte (point, droite, axe, plan) construite à partir de l'élément de référence simulé. La nature de la forme géométrique de la référence spécifiée dépend de la position du triangle indicateur de la référence par rapport à la ligne de cote.

Exemples de désignation de référence selon la position du triangle indicateur

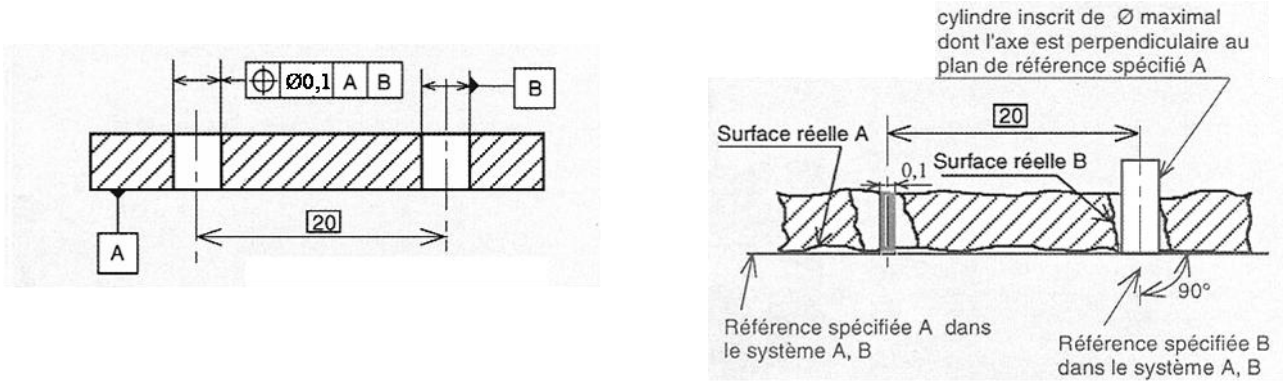
El ^t de référence :	surface réputée plane	surface réputée cylindrique	2 surfaces réputées planes
Référence simulée :	plan (critère : tgt ext. matière)	cylindre (critère : tgt ext. matière)	2 plans // (critère: tgt ext. matière)
Référence spécifiée :	plan (= référence simulée)	axe du cylindre parfait	plan médian des 2 plans //
triangle indicateur aligné avec la ligne de cote : référence spécifiée ≠ référence simulée			

On distingue plusieurs types de référence :

- *simple*,
- *commune*, la référence spécifiée est formée à partir de deux références,
- *système de références spécifiées*, la référence spécifiée est construite à partir de plusieurs éléments de référence selon un ordre prioritaire,



B, référence secondaire, est en position théorique exacte par rapport à A, référence primaire.

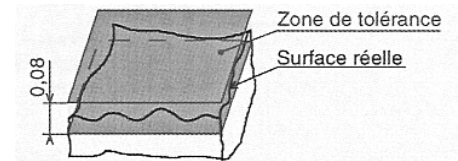
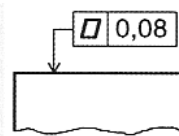


Zone de tolérance (ZT)

La *zone de tolérance* est une portion d'espace de géométrie parfaite dont la forme dépend du type de la tolérance, de la présence ou non du symbole \varnothing dans le cadre de la tolérance et de la valeur de l'intervalle de tolérance. **Quand une référence est précisée, la zone de tolérance est orientée et positionnée par rapport à la référence spécifiée.**

Sans symbole \varnothing , la zone de tolérance est selon la direction de la flèche de l'élément tolérancé.

Ex : ZT = volume entre 2 plans // distants de l'IT = 0.08 mm



Avec symbole \varnothing , la zone de tolérance est le volume du cylindre de diamètre la valeur de l'IT.

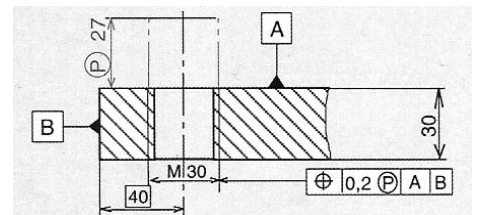
Ex précédent : ZT = volume du cylindre de $\varnothing 0.1$ mm d'axe positionné par rapport au système de réf. spécifié (cote 20 encadrée).

Condition de conformité : la spécification géométrique est vérifiée si l'élément tolérancé (c-a-d tous les points réels qui le constituent) est inclus dans la zone de tolérance.

Rem : cas de la tolérance projetée (P)

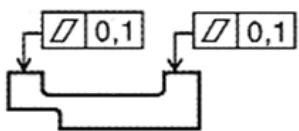
Les conditions fonctionnelles peuvent conduire à tolérer non pas l'élément réel lui-même mais sa projection en dehors de la pièce. Il convient alors d'ajouter l'indication (P) et la cote de prolongement indiquée (P) sur le dessin.

La *zone de tolérance projetée* est souvent utilisée pour les assemblages avec vis de serrage.

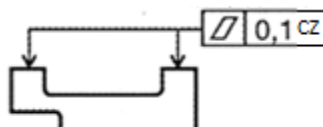
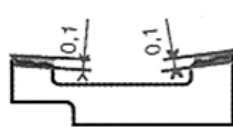


Rem : cas de la zone commune

Une cotation avec *zone commune* impose que les différents éléments tolérancés appartiennent à la même zone de tolérance. Il convient alors d'ajouter l'indication *zone commune* au-dessus du cadre de la tolérance géométrique.



sans zone commune



avec zone commune

La *zone commune* est par exemple utilisée pour spécifier la planéité des semelles des pièces moulées.

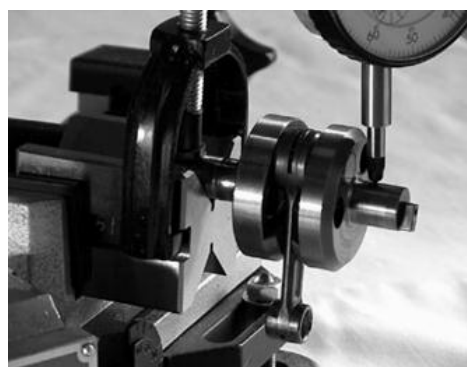
Dans la suite nous présentons des exemples de chacune des spécifications géométriques. Leurs interprétations peuvent être réalisées en complétant le tableau suivant.

4.2 Tableau d'analyse de spécifications

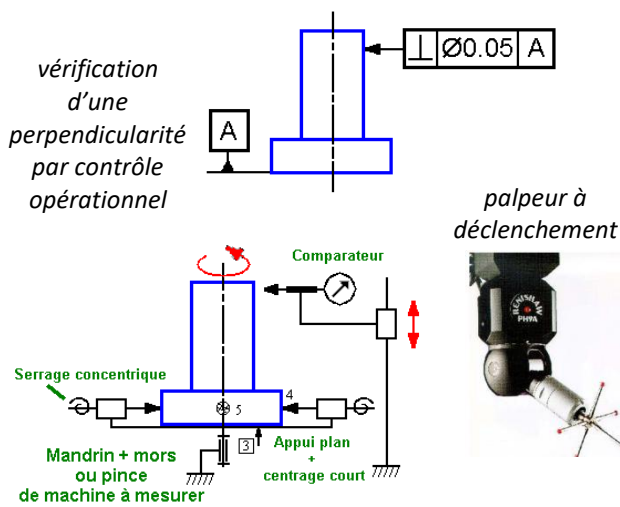
Nom et symbole :	Eléments réels		Eléments idéaux (modèles)		
	Elément(s) tolérancé(s) □ Unique □ Groupe	Elément(s) de référence □ Unique □ Groupe	Référence(s) spécifiée(s) □ Simple □ Commune □ Système	Zone de tolérance □ Simple □ Composée	
Type de spécification : □ Forme □ Orientation □ Position □ Battement Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer dans la zone de tolérance				Contraintes Orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée Critère d'association	
Schéma Extrait du dessin de définition	Nature géométrique	Nature géométrique	Nature géométrique, critère d'association	Nature géométrique	

5 Vérification d'une spécification géométrique

Le contrôle d'une spécification géométrique se réalise généralement à l'aide de *comparateurs (contrôle opérationnel)* ou à l'aide d'une *machine à mesurer tridimensionnelle (MMT)*. Dans ce dernier cas, un logiciel permet d'associer des éléments de géométrie parfaite aux points mesurés sur les surfaces réelles.



vérification d'une coaxialité par contrôle opérationnel

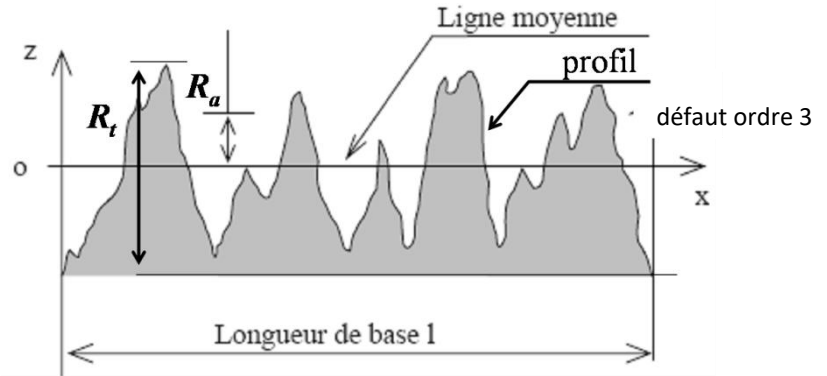
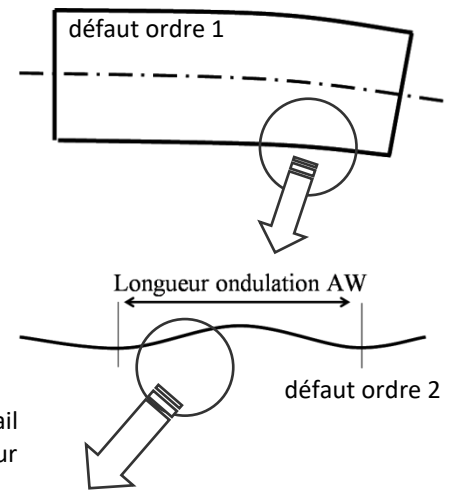


machine à mesurer tridimensionnelle

6 Etat de surface et rugosité

Les défauts possibles d'une surface sont répertoriés selon 4 ordres :

- *ordre 1*, ce sont les *défauts dimensionnels* ou *géométriques* de la pièce, ils sont dus aux mauvais réglages des machines-outils ou à la mise en œuvre du procédé d'obtention (moulage, soudage...). Ces défauts sont limités par la cotation fonctionnelle de la pièce.
- *ordre 2*, ce sont les *ondulations* retrouvées au niveau du profil de la surface et engendrées par les vibrations des machines-outils lors de l'usinage.
- *ordre 3*, ce sont les *stries* ou *sillons de rugosité* dus aux usinages par travail d'enveloppe. Ces défauts sont limités par l'inscription de l'état de surface désiré sur le dessin de définition (voir tableau ci-dessous).
- *ordre 4*, ce sont des défauts irréguliers de type *fente*, *arrachements*.



Définitions de quelques paramètres normalisés

- *profil de surface* : ligne obtenue par intersection de la surface réelle de la pièce et d'un plan fixé,
- *longueur de base* : longueur, selon l'axe x , utilisée pour identifier les irrégularités caractérisant le profil à évaluer,
- *ligne moyenne* : ligne des moindres carrés de forme parfaite calculée à partir du profil de la surface (la somme des aires des crêtes au dessus de la ligne moyenne est égale à la somme des aires des creux sous la ligne moyenne),
- R_t : *écart total de rugosité* correspondant à la distance maximale entre un creux et une crête du profil, $R_t = z_{MAX} - z_{min}$,
- R_a : *écart moyen arithmétique* ou *critère statistique de rugosité*, correspondant à la moyenne arithmétique des distances entre le profil et la ligne moyenne :

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |z(x)| dx$$

Exemples de symboles graphiques	Interprétation de l'indication sur le dessin technique
	Symbole graphique de base d'indication d'état de surface. Surface prise en considération sans prescrire d'exigence sur la rugosité de surface.
	Enlèvement de matière par usinage exigé (ou surface à usiner).
	Enlèvement de matière interdit ou surface devant rester telle qu'elle a été obtenue précédemment.
	Même état de surface exigé pour toutes les surfaces du contour de la pièce.
	Valeur maxi de la rugosité R_a en micromètres : la limite supérieure de l'écart moyen arithmétique du profil évalué ne doit pas dépasser 1,6 μm .

Remarque : les valeurs de R_a sont normalisées, les plus rencontrées suites à des opérations d'usinage sont de 3,2 μm à 1,6 μm .