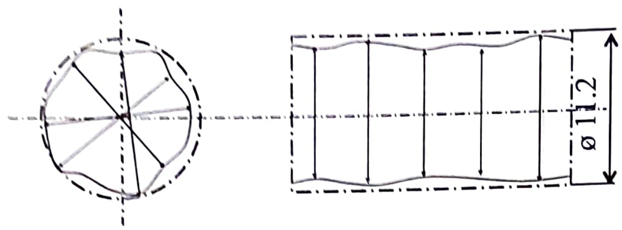
4) Les modificateurs

4.1 L'exigence d'enveloppe

Celle-ci implique que l'enveloppe de forme parfaite à la dimension au maximum de matière de l'élément ne soit pas dépassée.
L'exigence d'enveloppe ne peut s'appliquer qu'à un cylindre ou à deux plans parallèles en vis à vis.

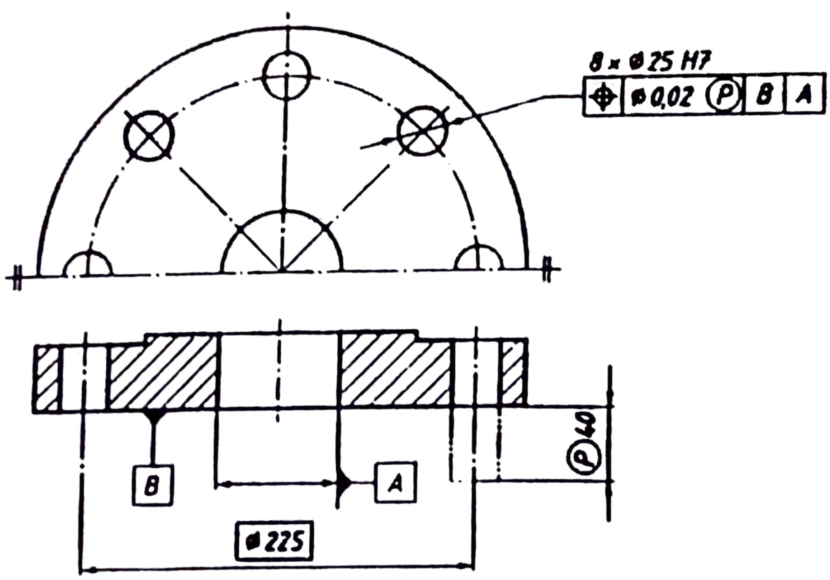
Ex : ø11±0.2 Ⓔ



11-0.2≤di≤11+0.2 ∀i

4.2 La zone projetée

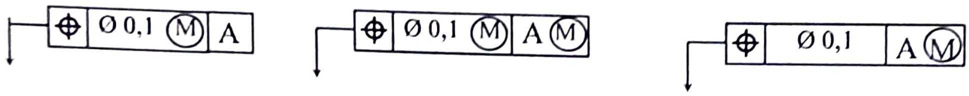
Dans certains cas, les tolérances d'orientation et de position doivent être appliquées, non pas à l'élément lui-même, mais à son prolongement en dehors de la pièce. De telles zones de tolérances sont à indiquer par le symbole Ⓟ et sont tracées à l'aide d'un trait mixte fin à deux tirets.



4.3 L'exigence de maximum de matière

L'exigence de maximum de matière est **un modificateur** qui permet d'établir une **relation entre les spécifications dimensionnelles et géométriques.** Elle est notée dans une des cases du cadre de tolérance et change complètement la signification géométrique des exigences spécifiées.

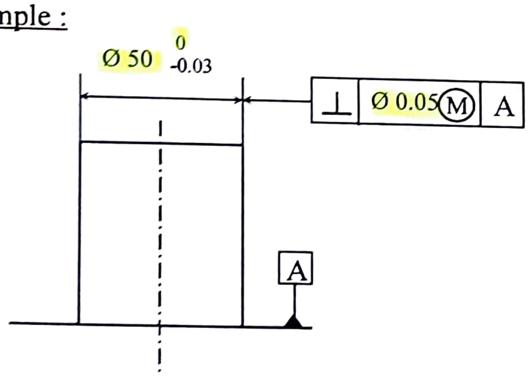
Ecriture symbolique :



Interprétation :
L'exigence du maximum de matière spécifie la notion **d'état virtuel** pour l'(les) élément(s) tolérancé(s) et d'état de forme parfaite au maximum de matière pour l'(les) élément(s) de référence, les deux états **ne devant pas être dépassés par les surfaces de la pièce.**
L'état virtuel pour l'(les) élément(s) tolérancé(s) est défini comme étant :

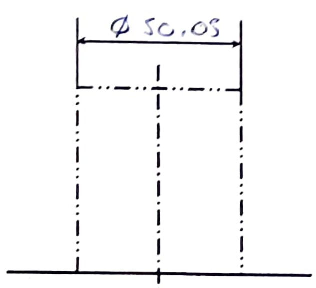
L'état de l'enveloppe limite de forme parfaite permis par les exigences du dessin pour l'élément. Il est généré par l'effet collectif de la dimension au maximum de matière et des tolérances géométriques.

Exemple :

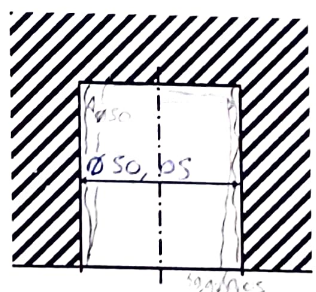


Indication sur le dessin

Ø de l'état virtuel =
Ø au maximum de matière (50mm)
+
Ø de la zone tolérance de perpendicularité (0,05mm)



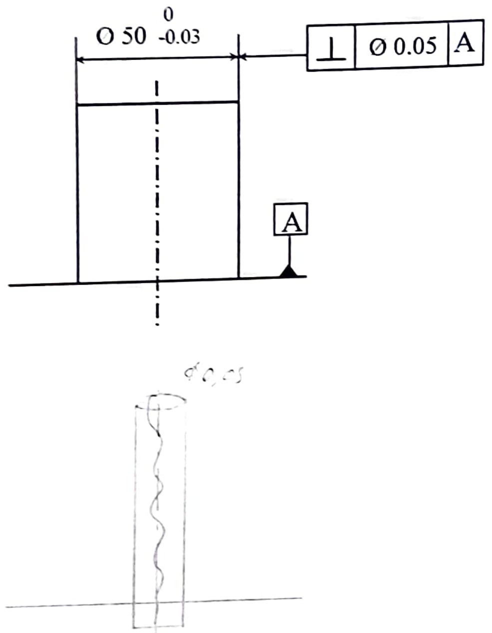
Etat virtuel



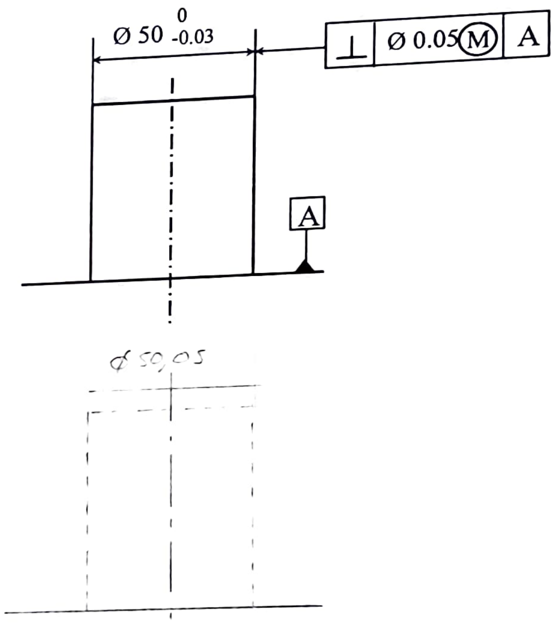
Calibre fonctionnel

Même si les éléments tolérancés sont désignés par une flèche placée en prolongement d'une cote de diamètre ou de distance entre deux plans, seules les surfaces réelles des éléments tolérancés seront prises en compte et non plus les axes réels des cylindres et les plans médians réels comme c'était le cas précédemment. La spécification a ici pour seul objectif de définir l'état virtuel de l'(les) élément(s) tolérancé(s) et si cela est spécifié, l'état au maximum de matière de l'(les) élément(s) de référence, ces deux états représentant les dimensions d'un calibre fonctionnel quand celui-ci est matérialisable, et dans tous les cas ils peuvent représenter 'un calibre virtuel ou numérique' qui est très bien adapté au contrôle sur Machine à Mesurer Tridimensionnelles.

- *Comparaison des significations avec et sans maximum de matière sur l'élément tolérancé :*

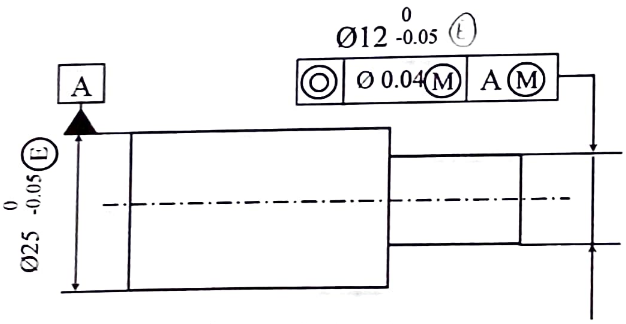


zone de tolérance et élément tolérancé



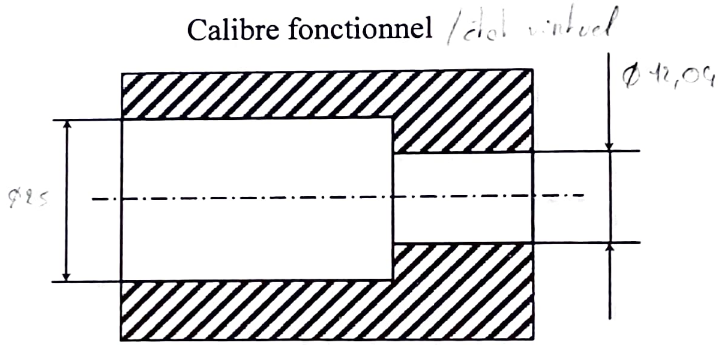
Etat virtuel de l'élément tolérancé

- *Exemple d'un cas avec exigence de maximum de matière sur l'élément tolérancé et sur l'élément de référence :*



Indication sur le dessin

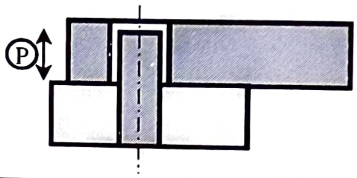
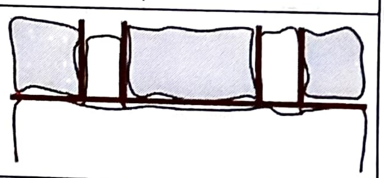
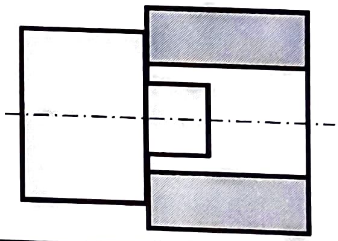
Calibre fonctionnel / état virtuel



4.4 L'exigence du minimum de matière

Le principe est exactement le même que pour le maximum de matière mais on se place au minimum de matière. Le symbole est Ⓛ

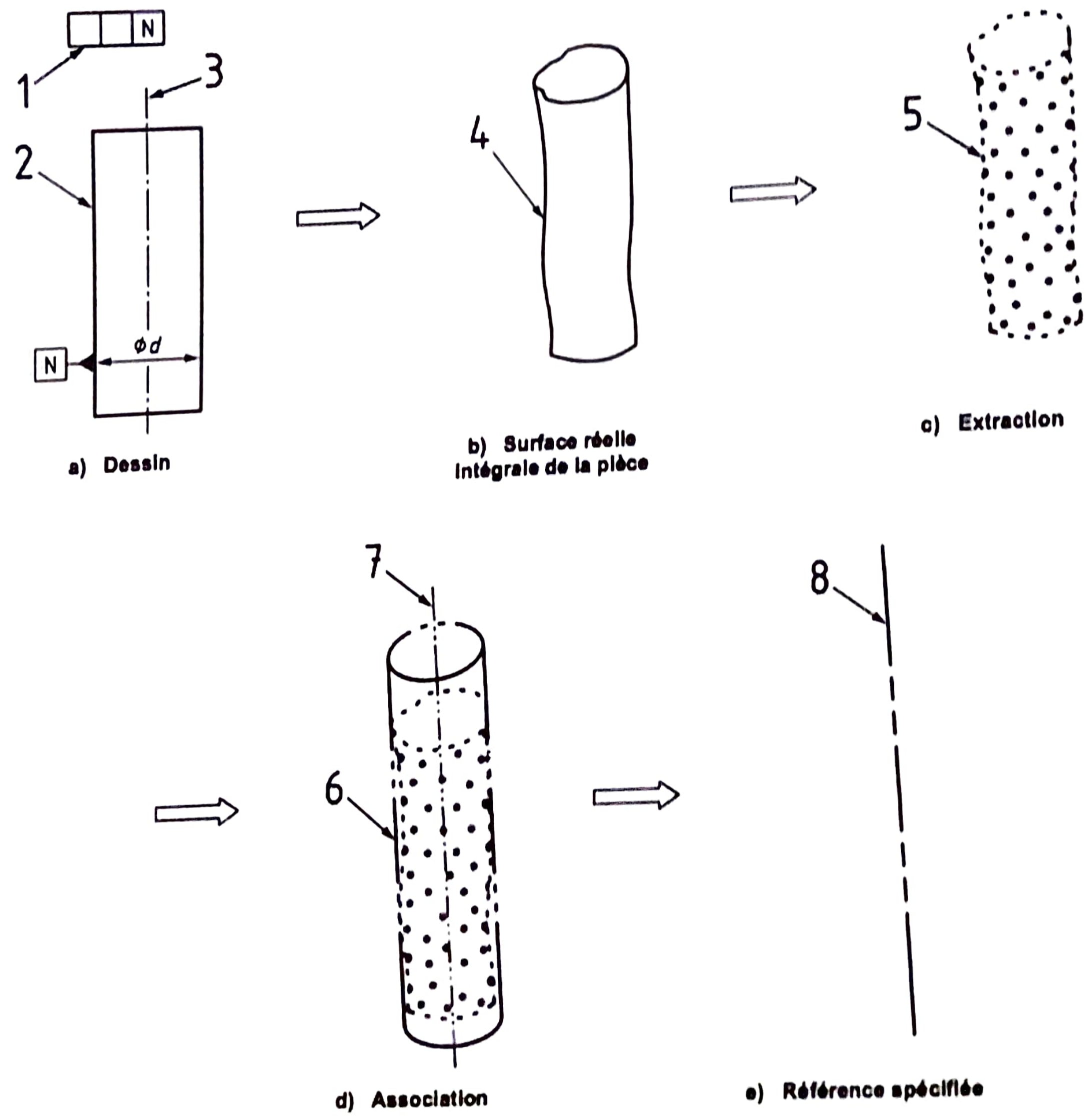
4.5 Récapitulatif sur les modificateurs

Modificateur	fonction	exemple
zone projetée Ⓟ	Liaison avec serrage et porte-à-faux	
maximum de matière Ⓜ	montabilité, liaison avec jeu favorable	
minimum de matière Ⓛ	précision des liaisons avec jeu (jeu défavorable)	

5) Critères d'association

5.1 Méthode de mesure d'une surface

Quelque soit l'instrument de mesure utilisé, la surface réelle est connue par le relevé d'un ensemble de coordonnées de points. Les coordonnées des points peuvent être définies soit par rapport à un élément géométrique idéal de référence de mesure (surface d'un marbre, axe de rotation d'une broche etc...) soit par rapport à un repère orthonormé défini par les trois guidages d'une machine à mesurer tridimensionnelle.
L'association d'une surface géométrique idéale à un ensemble de points permet de modéliser une surface réelle par un élément géométrique parfait, et permet également de définir une surface de référence à l'expression des écarts de forme.



5.2 Critères d'association

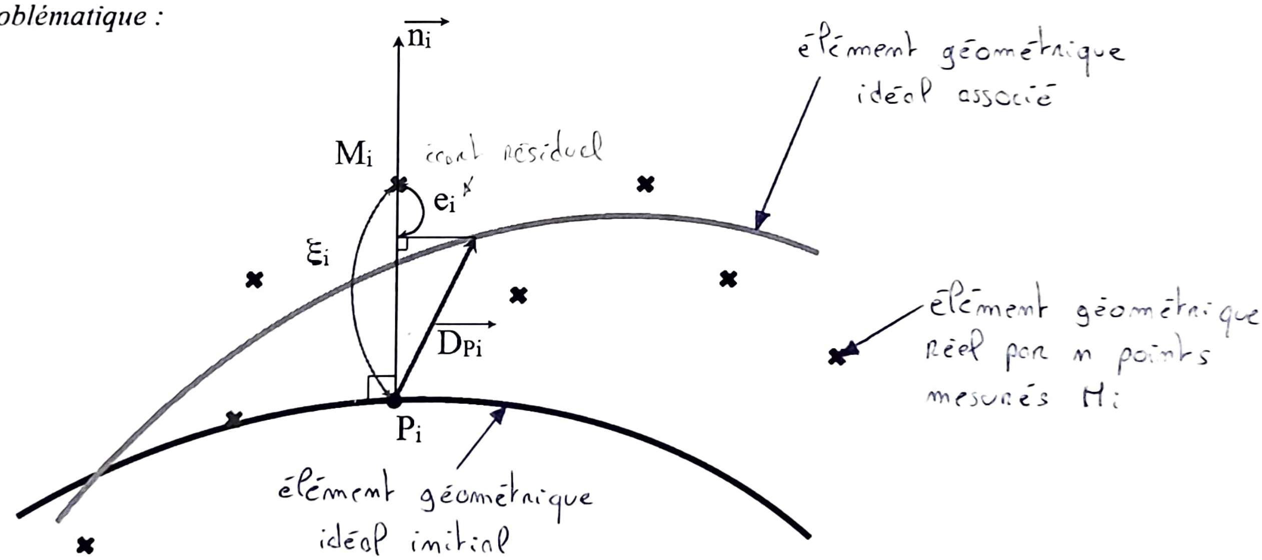
La norme définit différents critère d'association.

Symbole	Critère d'association	Remarques
C	Minimax (Tchebychev)	critère par défaut de la norme 5459:2011
G	Moindres carrés (Gaussien)	critère norme 1101:2017 et MMT
X	Maximum inscrit	pour cylindre et cercle par défaut pour la norme 5459:2011
N	Minimum circonscrit	pour cylindre et cercle par défaut pour la norme 5459:2011
E	contrainte extérieur matière	se combine avec le critère d'association par exemple GE pour Gaussien extérieur matière. Par défaut de la norme 5459:2011
I	contrainte intérieur matière	se combine avec le critère d'association

5.3 Critère d'association des moindres carrés (Gaussien)

Contrôle

Problématique :



Il s'agit de déterminer le déplacement de l'élément géométrique idéal initiale de manière à optimiser l'écart ξ_i (écart mesuré) entre cet élément et les points mesurés M_i. L'écart optimisé est noté e_i. On a donc :

$$e_i = \xi_i - (\overrightarrow{D_{P_i}} \cdot \overrightarrow{m_i})$$

Le torseur de petit déplacement $\mathcal{T}_o$ (D_O, Ω) nous permet d'écrire :

$$\overrightarrow{D_{P_i}} = \overrightarrow{D_O} + \overrightarrow{P_iO} \wedge \overrightarrow{\Omega}$$

CABAR

Ce qui donne :

$$e_i = \xi_i - (\overrightarrow{D_O} \cdot \overrightarrow{n_i} + (\overrightarrow{P_iO} \wedge \overrightarrow{\Omega}) \cdot \overrightarrow{n_i})$$

Le système sur lequel porte l'optimisation comporte autant d'équations que de points mesurés et plus d'équations que d'inconnues.

Le critère des moindres carrés consiste à minimiser : $W=\sum(e_i)^2$

Si $\overrightarrow{D_O}=\begin{cases} u \\ v \\ w \end{cases}$ et $\overrightarrow{\Omega}=\begin{cases} \alpha \\ \beta \\ \gamma \end{cases}$ alors le problème s'écrit sous la forme d'un système

à six équations et six inconnues :
$$\begin{cases} \dfrac{\partial W}{\partial u} = 0 \\ \dfrac{\partial W}{\partial v} = 0 \\ \dfrac{\partial W}{\partial w} = 0 \\ \dfrac{\partial W}{\partial \alpha} = 0 \\ \dfrac{\partial W}{\partial \beta} = 0 \\ \dfrac{\partial W}{\partial \gamma} = 0 \end{cases}$$

$\boxed{\text{Critère des moindres carrés consiste à minimiser } W = \sum (e_i)^2}$