

ANALYSE DES SPECIFICATIONS DE COTATION ISO

Première partie : les bases : spécification et référence avec des surfaces simples (plan, cylindre, surface quelconque)

B ANSELMETTI

Juin 2017

PLAN DU COURS



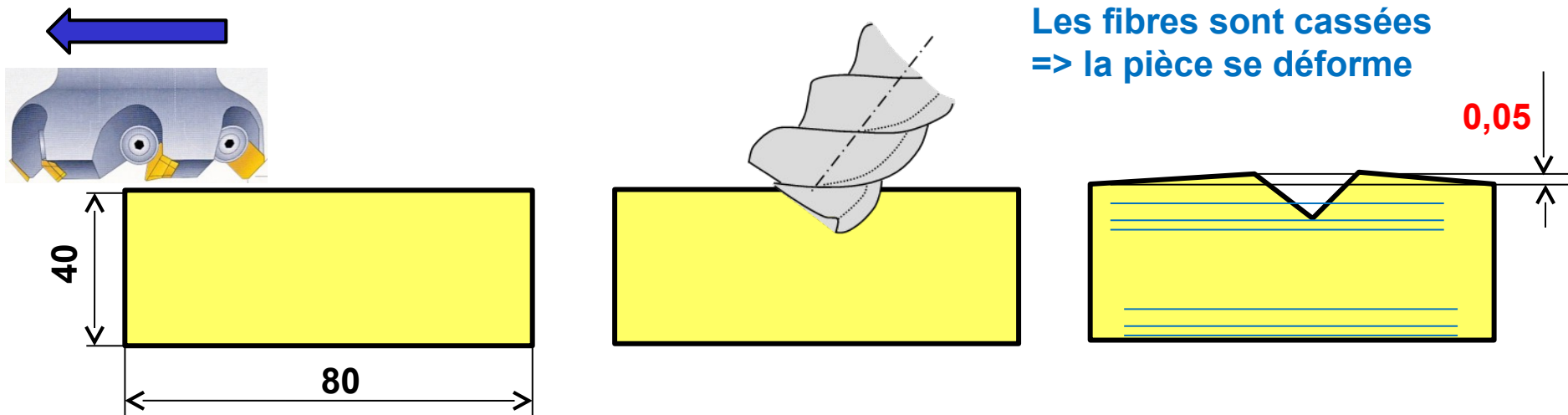
1. Objectifs et principe
2. Lecture du tolérancement dimensionnel
3. Tolérancement par zone de tolérance
4. Association d'une surface nominale à une surface réelle
5. Principe de lecture des spécifications géométriques
6. Définition détaillée des principales spécifications
7. Congés et chanfreins
8. Applications

GEOMETRIE AVEC DEFAUTS

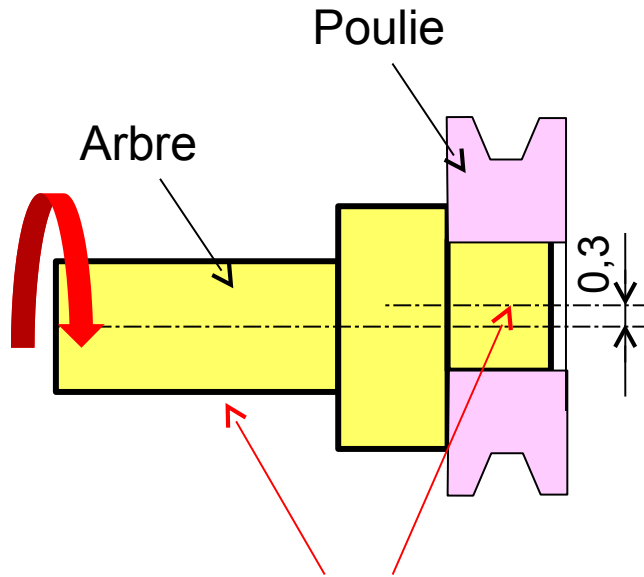
Les concepteurs définissent les mécanismes en CAO en considérant les pièces comme parfaites.

En fabrication, il est impossible de réaliser des pièces sans défaut :

- Les machines et les outils ont des défauts et se dilatent
- Les outils s'usent
- Les réglages sont réalisés avec une incertitude de mesure.
- Les pièces et les outils se déforment pendant l'usinage

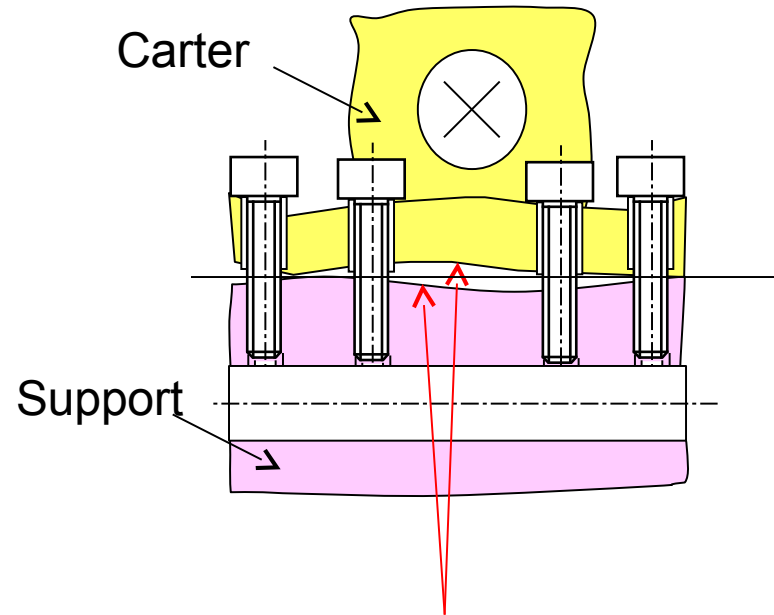


INFLUENCE DES DEFAUTS SUR LE FONCTIONNEMENT



Ecart de coaxialité
(les axes ne sont pas confondus)

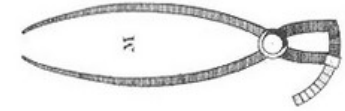
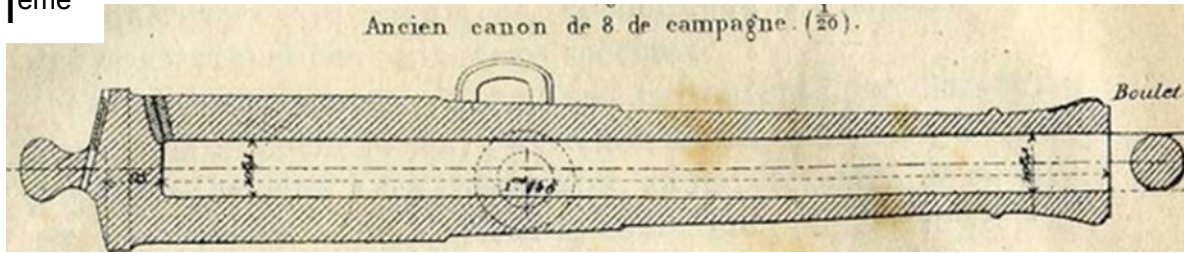
Quelle est l'influence de l'écart de coaxialité de 0,3 mm sur le comportement de la courroie ?



Ecart de planéité
(Gap entre les plans)

Quelle est l'influence du serrage sur la qualité de l'alésage s'il y a un écart de planéité de 0,3 mm ?

HISTORIQUE

XVII^{eme}

Guerre de sécession 1861 --

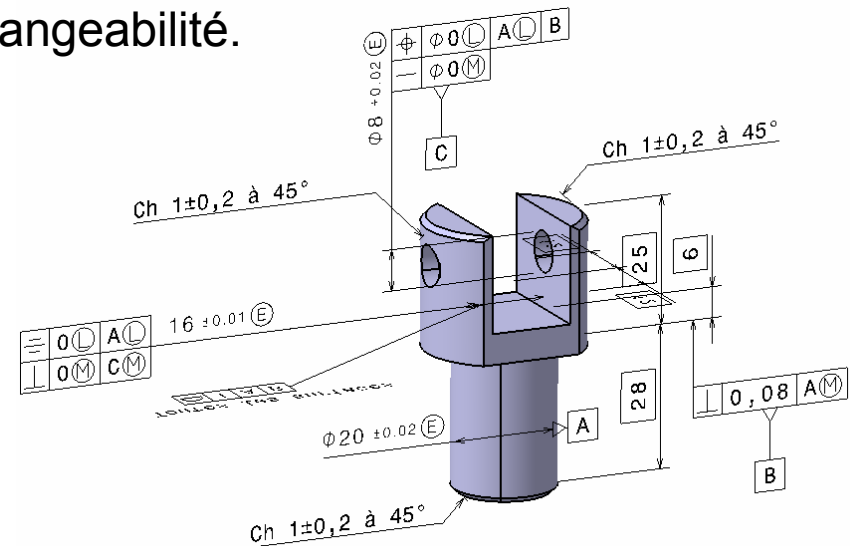


Le tolérancement est nécessaire pour assurer la fabrication indépendante des pièces et l'interchangeabilité.

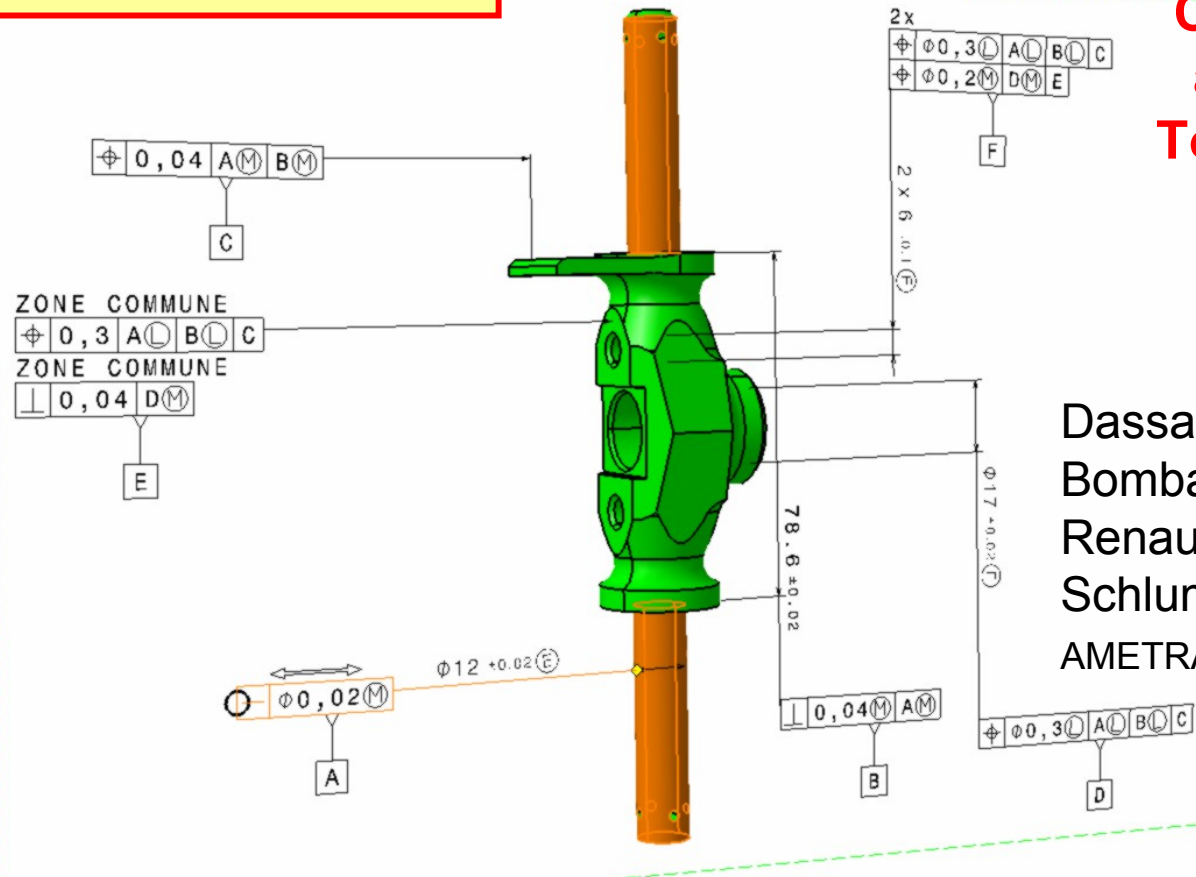
Mise en place des normes : 1970

Déploiement industriel : 1990 (Boeing)
1998 (Renault)

Aujourd'hui : CAO 3D



COTATION ISO



**Cotation effectuée en 3D
avec l'atelier Functional
Tolerancing Annotation de
CATIA**

Dassault Aviation, AIRBUS, Snecma
Bombardier, Boeing
Renault, PSA, BMW, Mercedes
Schlumberger, Schneider Electric,
AMETRA..

La cotation ISO est un langage graphique international qui permet au concepteur de décrire les tolérances admissibles sur les surfaces fonctionnelles.

Principales normes ISO
1101:2017. Spécifications (160 pages),
5459 :2011. Systèmes de références (92 pages)
2692 :2014. Maxi mini matière (62 pages)

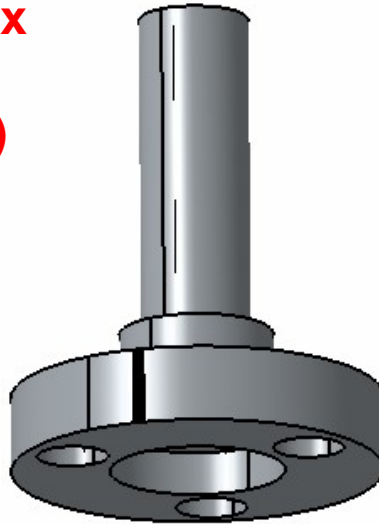
Le dessin de définition est un contrat entre le client et le fournisseur

EXEMPLE DE PROJET GMP1

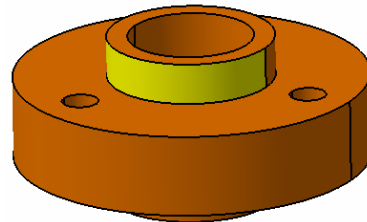
Support de palpeur pour connaître la position des surfaces sur machine à commande numérique

**Modèles nominaux
en CAO
(pièces parfaites)**

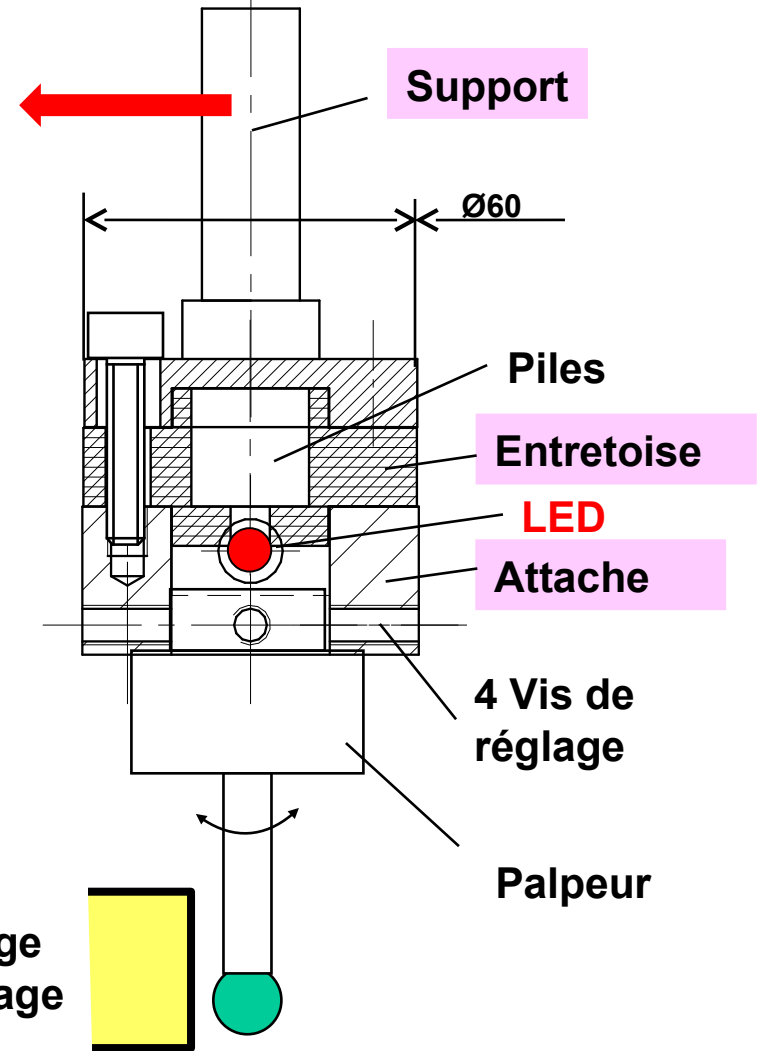
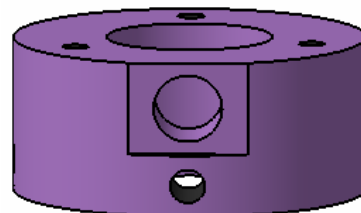
Support



Entretoise



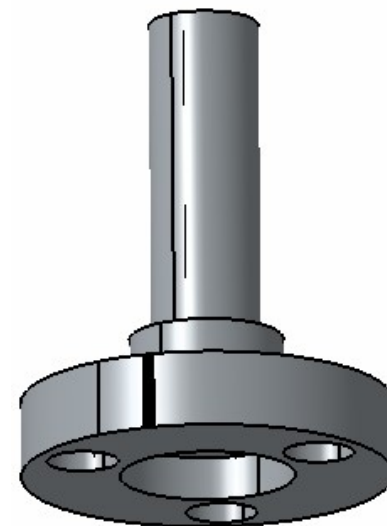
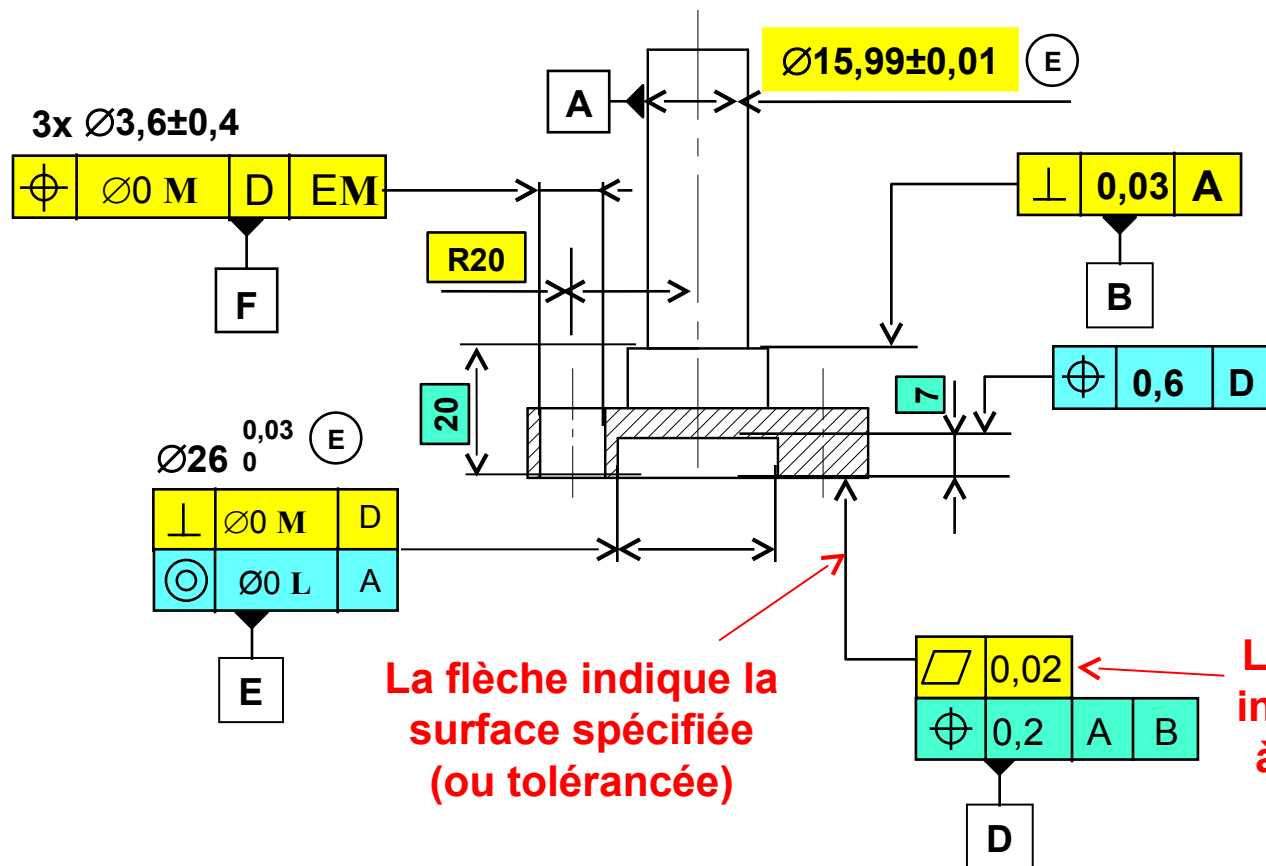
Attache



Montage
d'usinage

Lorsque le palpeur touche la
pièce, la lampe LED s'allume.

COTATION REALISEE PAR LES ETUDIANTS GMP1



La flèche indique la surface spécifiée (ou tolérancée)

L'indicateur de tolérance indique la caractéristique à vérifier et la tolérance

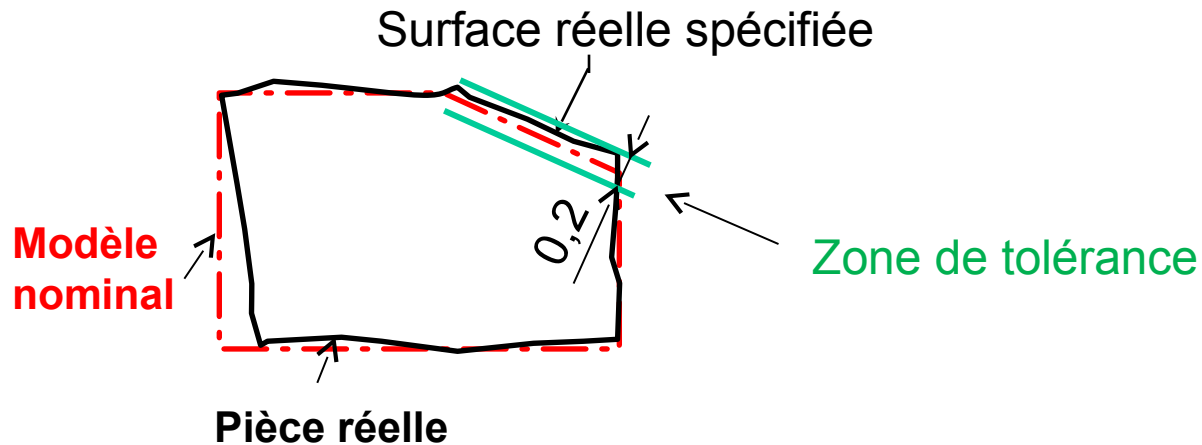
CODE COULEUR

Noir : Pièce ou surface réelle

Rouge : Pièce ou surface nominale

Vert : Zone de tolérance

Bleu : Autre surface ou construction :



PLAN DU COURS

1. Objectifs et principe



2. Lecture du tolérancement dimensionnel

3. Tolérancement par zone de tolérance

4. Association d'une surface nominale à une surface réelle

5. Principe de lecture des spécifications géométriques

6. Définition détaillée des principales spécifications

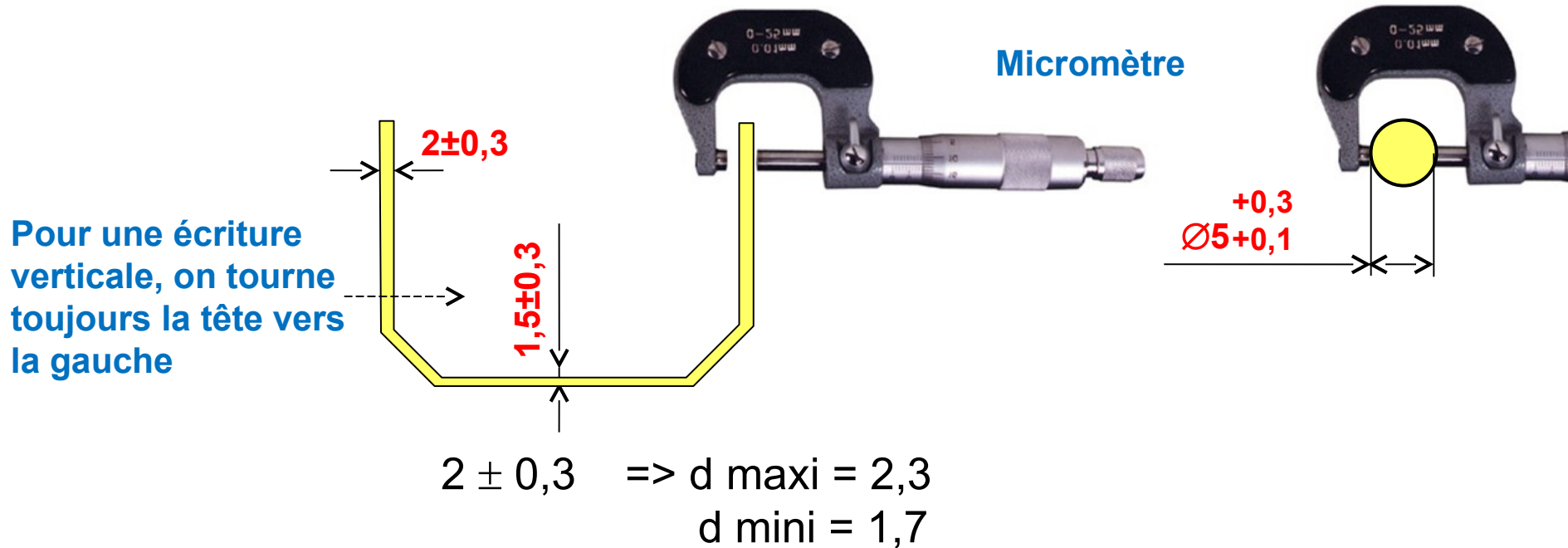
7. Applications

TOLERANCEMENT DIMENSIONNEL

Conditions de résistance des matériaux ou d'épaisseur de matière

Toutes les dimensions locales doivent être dans l'intervalle de tolérance

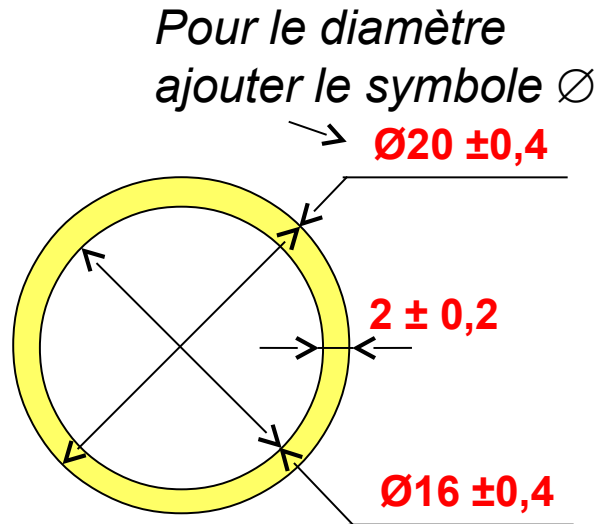
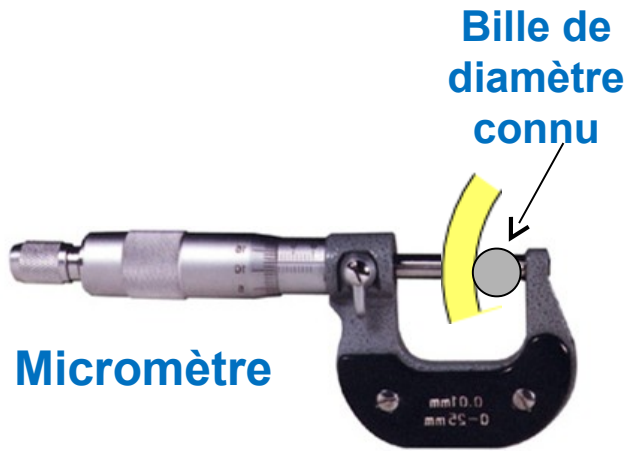
$$d_{\text{mini}} \leq d_{\text{mesurées}} \leq d_{\text{maxi}}$$



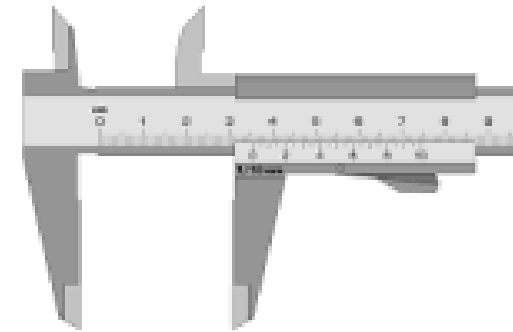
5 $+0,3 \leftarrow$ Ecart supérieur $\Rightarrow d_{\text{maxi}} = 5,3$
 $+0,1 \leftarrow$ Ecart inférieur $d_{\text{mini}} = 5,1$

TOLERANCEMENT DIMENSIONNEL

Exemple : Diamètres et épaisseur d'un tube



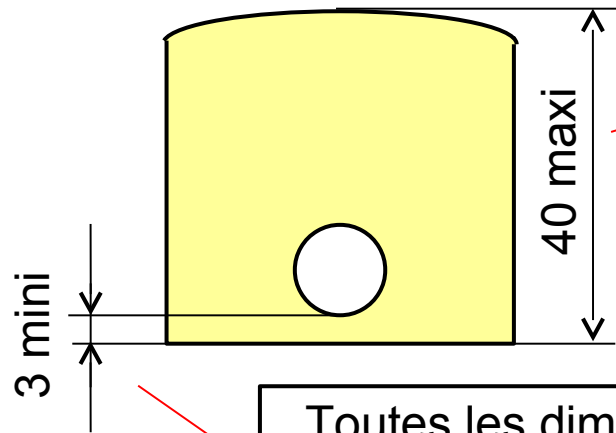
Dimension intérieure



Dimension extérieure

TOLERANCEMENT DIMENSIONNEL

Condition unilimite

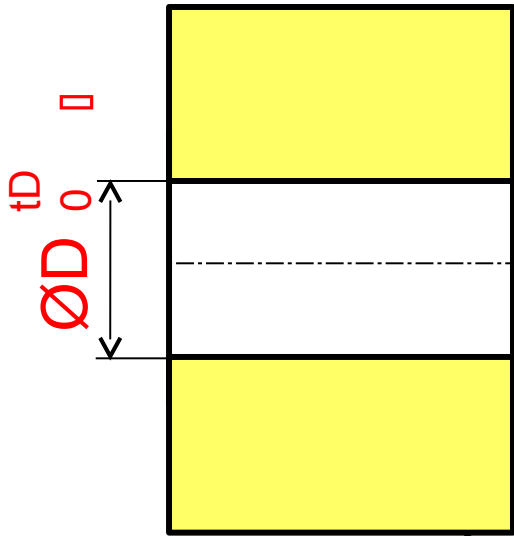


Toutes les dimensions locales di doivent
être inférieures à 40 (distance maxi)
di mesurées ≤ 40

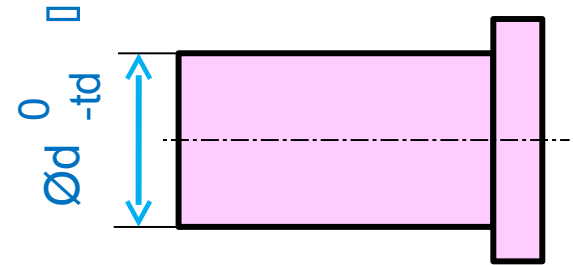
Toutes les dimensions locales di doivent
être supérieures à 3 (distance mini)
di mesurées ≥ 3

TOLERANCEMENT DIMENSIONNEL

Alésage



Arbre



D = Diamètre nominal

Ecart supérieur tD
Ecart inférieur 0.

Exigence de l'enveloppe

Intervalle de tolérance

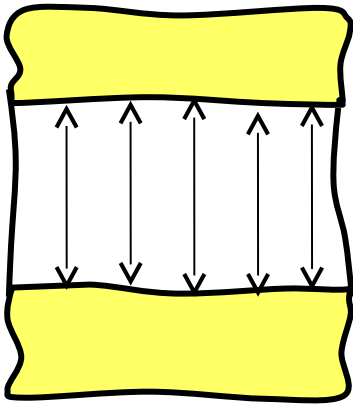
Diamètre maxi : $D + t_D$
Diamètre mini : $D + 0 = D$

DIMENSIONS LOCALES

Toutes les dimensions locales mesurées doivent être dans l'intervalle de tolérance

$$d_{\min} \leq d_{\text{mesurées}} \leq d_{\max}$$

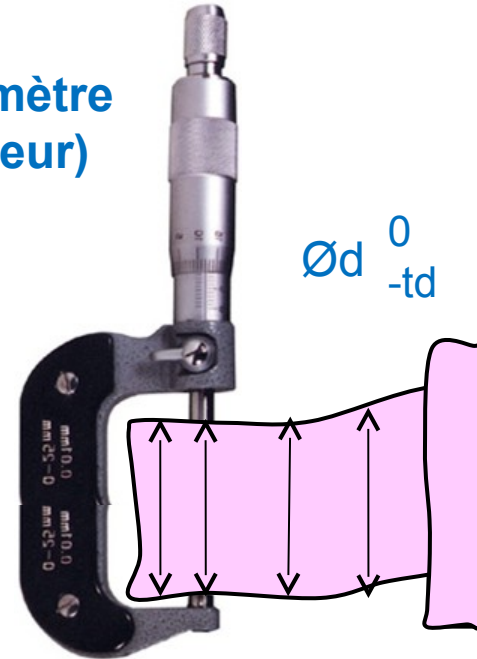
$\varnothing D \begin{smallmatrix} tD \\ 0 \end{smallmatrix}$



Micromètre
intérieur

Micromètre
(extérieur)

$\varnothing d \begin{smallmatrix} 0 \\ -td \end{smallmatrix}$



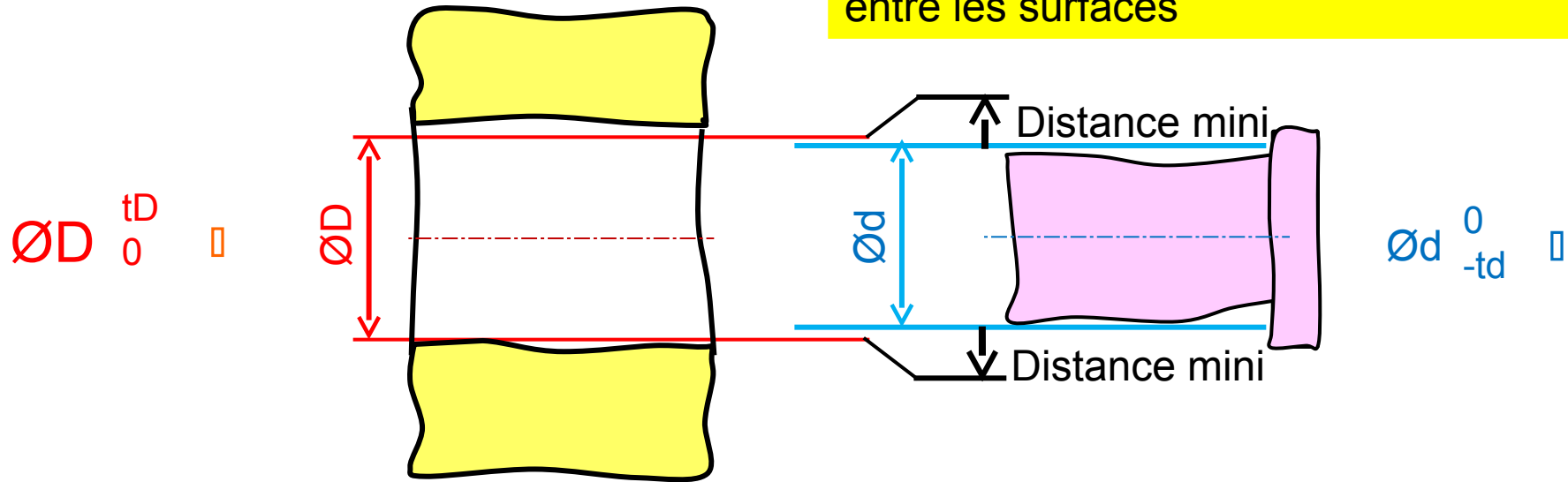
Comparateur



EXIGENCE DE L'ENVELOPPE

L'enveloppe garantit la montabilité :

Jeu mini = double de la distance mini entre les surfaces



La montabilité est assurée : jeu mini = $D-d$ (différence des enveloppes)

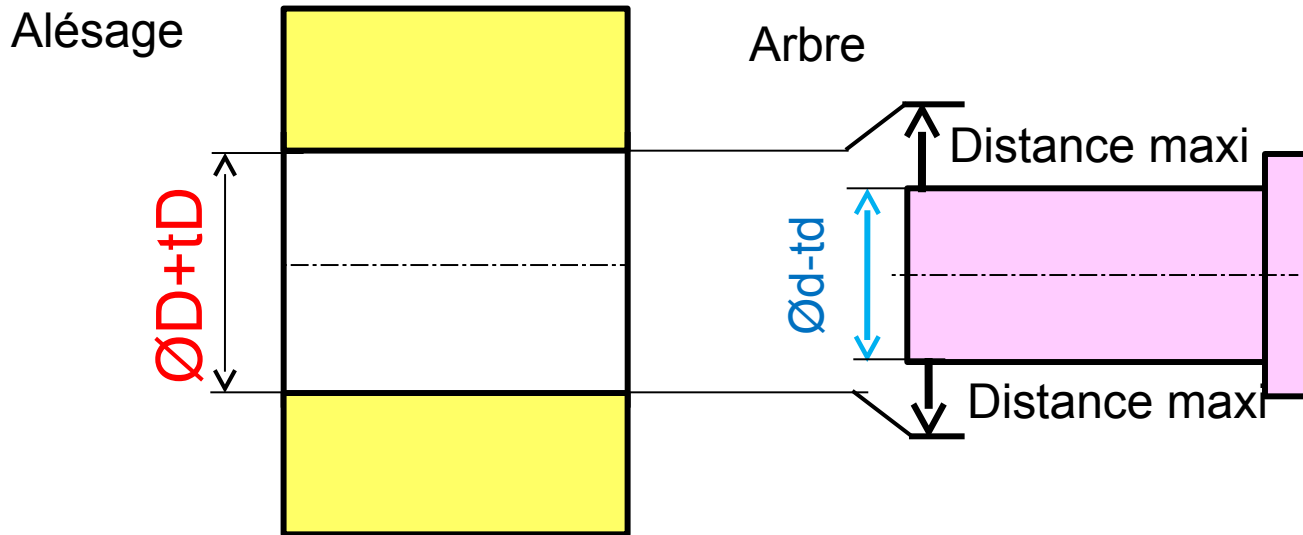
Définition de l'enveloppe :

Arbre : la surface réelle doit pouvoir être contenue dans un cylindre de diamètre égal au diamètre maxi

Alésage : la surface réelle doit pouvoir contenir un cylindre de diamètre égal au diamètre mini

JEU MAXI

Le jeu est maxi lorsque les pièces sont parfaites et au minimum de matière :



$$\begin{aligned}\text{Jeu maxi} &= (D + tD) - (d - td) \\ &= \text{jeu mini} + (tD + td) = \text{jeu mini} + \text{somme des tolérances}\end{aligned}$$

ECRITURES EQUIVALENTES

$\varnothing 15,99 \pm 0,01$

(E)

$\varnothing 15,99 \pm 0,01 \quad \Leftrightarrow \quad \varnothing 16 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,02 \end{smallmatrix}$

Nominal centré : 15,99

Nominal non centré : 16

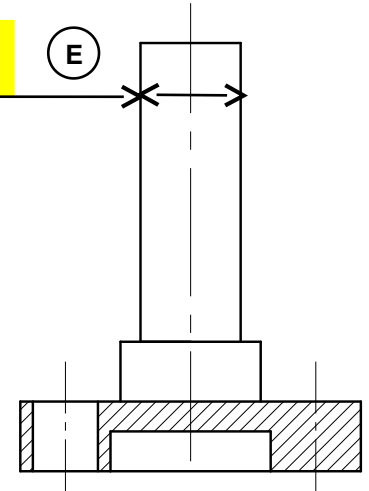
Les 2 écritures sont rigoureusement équivalentes :

Diamètre maxi : 16

Diamètre mini : 15,98

Exigence de l'enveloppe : 16

Tolérance : 0,02



Le diamètre nominal est fixé par le modèle CAO.

Sur machine à commande numérique, l'outil se déplace selon le modèle nominal.

=> Les industriels imposent très souvent une définition en nominal centré.

LES AJUSTEMENTS

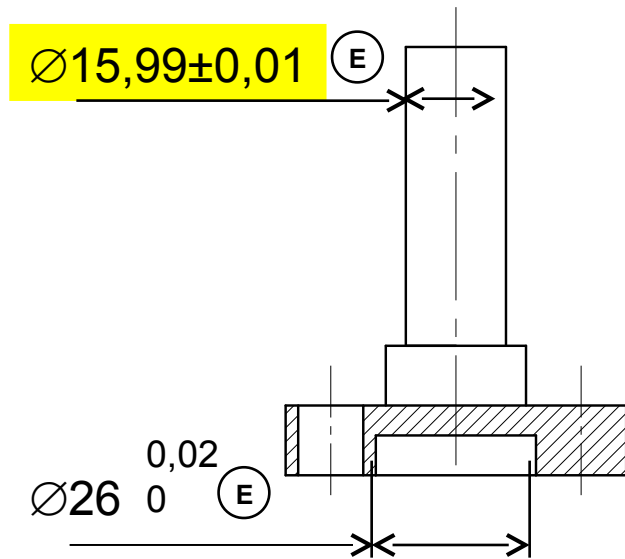
Les ajustements contiennent implicitement l'exigence de l'enveloppe

$$\varnothing 16 \text{ H7} \Leftrightarrow \varnothing 16 \text{ H7 } \boxed{} \Leftrightarrow \varnothing 16 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,018 \end{smallmatrix} \boxed{} \Leftrightarrow \varnothing 15,991 \pm 0,009 \boxed{}$$

Ecritures recommandées

Les tolérances sont données par une table en fonction de la lettre, du chiffre et de la dimension

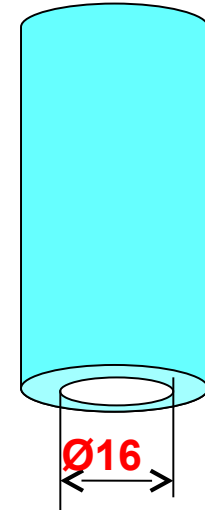
VERIFICATION DU SUPPORT



Micromètre



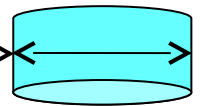
Calibres de contrôle



Alésomètre

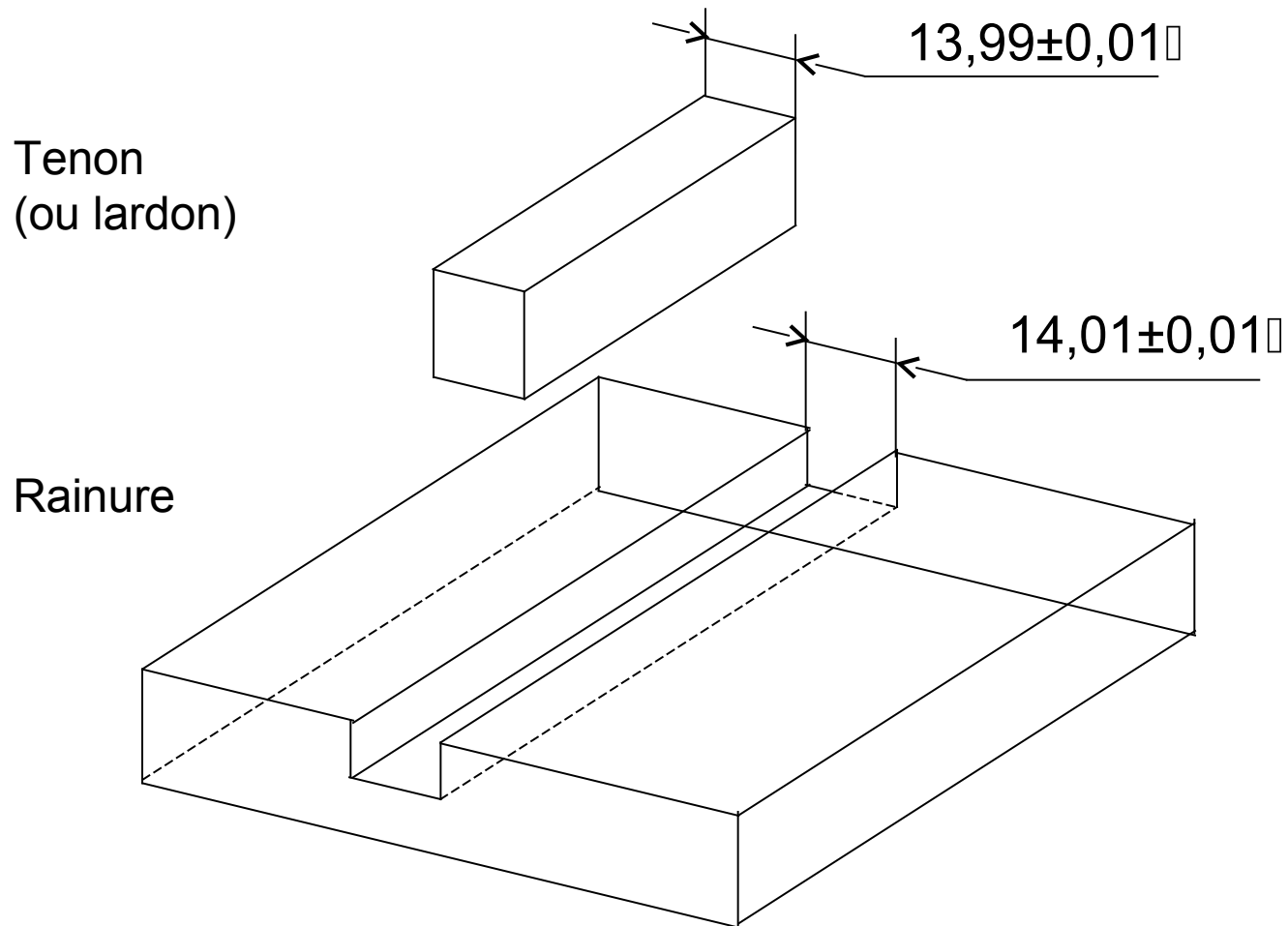


$\varnothing 26$



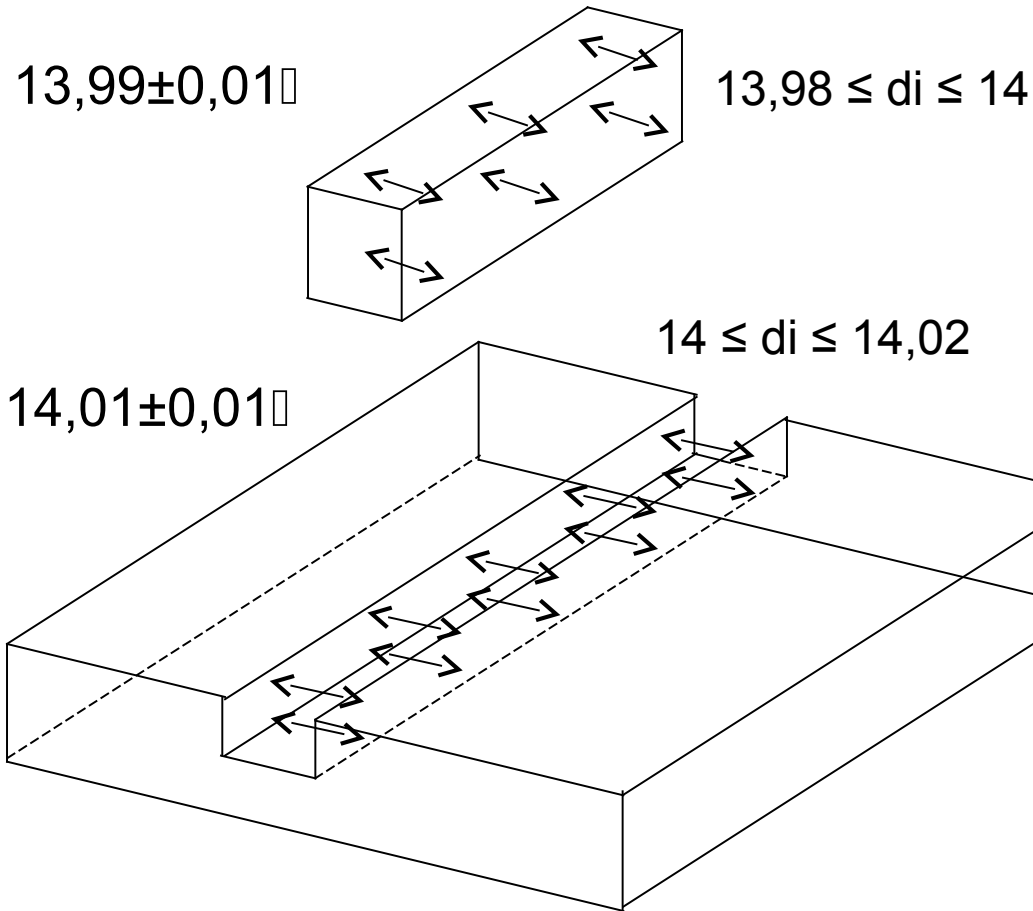
LIAISON TENON / RAINURE

Condition d'assemblage du tenon dans la rainure

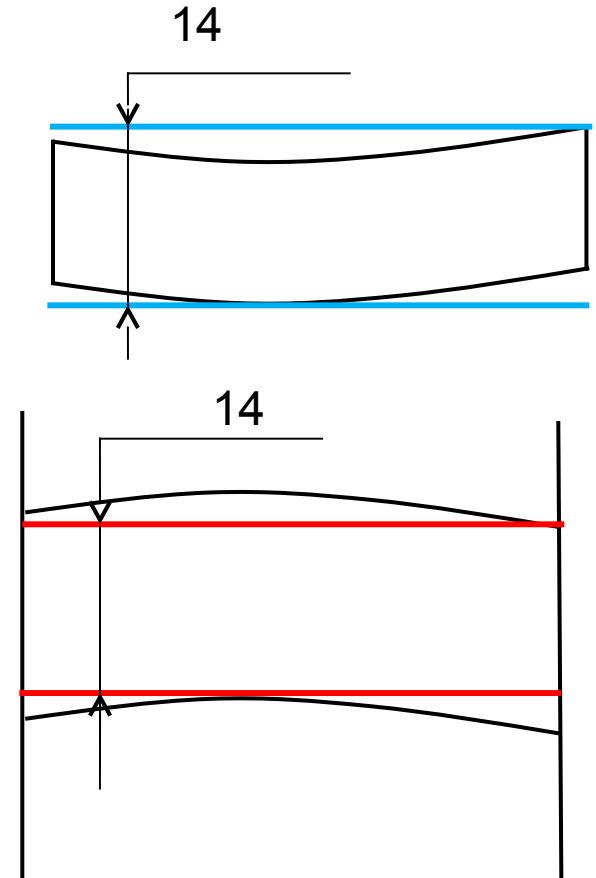


LIAISON TENON / RAINURE

Respect des dimensions locales



Exigences d'enveloppe

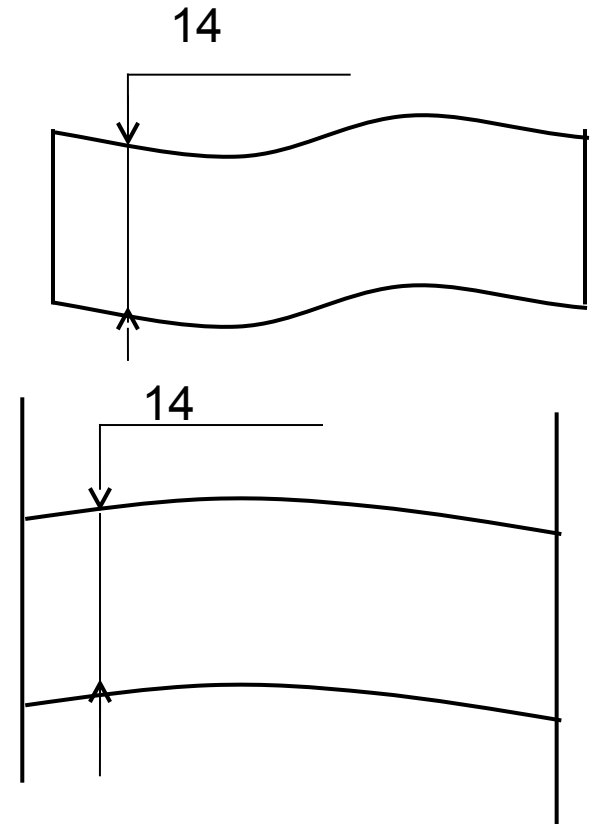
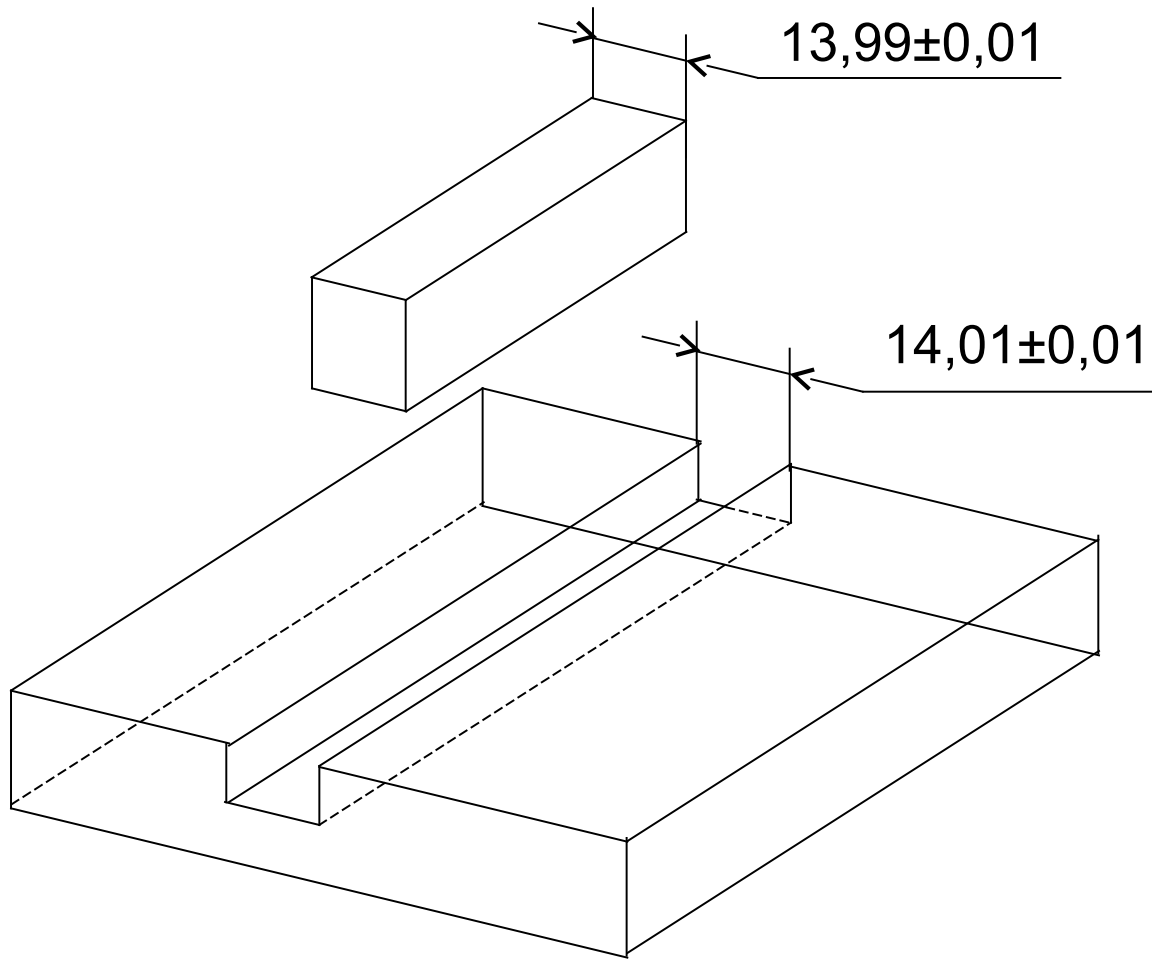


Tenon : les 2 surfaces réelles doivent pouvoir être placées entre deux plans distants de la cote maxi

Rainure : les 2 surfaces réelles doivent pouvoir contenir deux plans distants de la cote mini

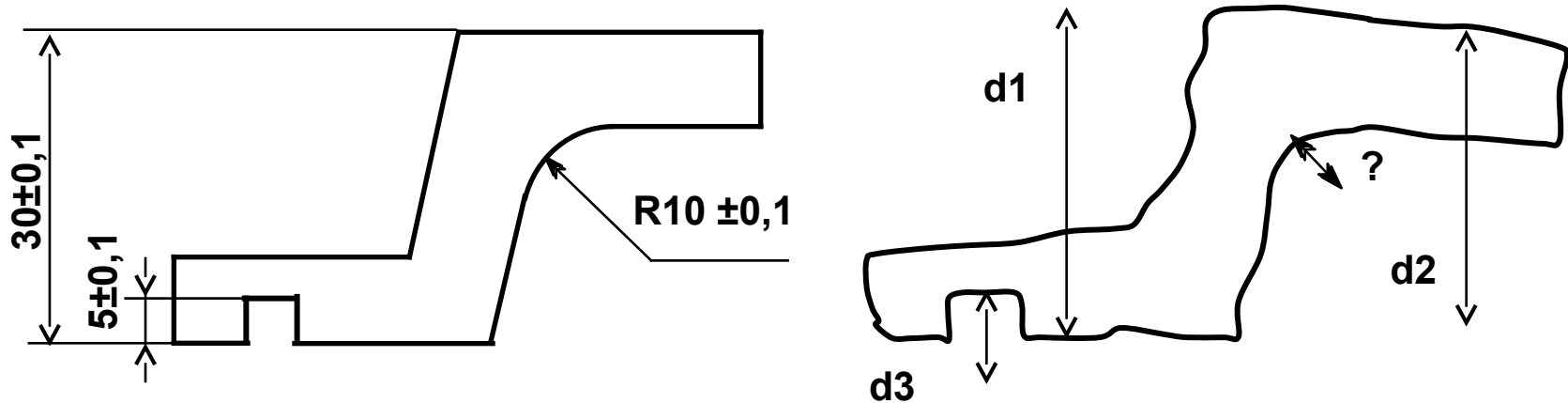
QUESTION

La montabilité est-elle assurée sans enveloppe ?

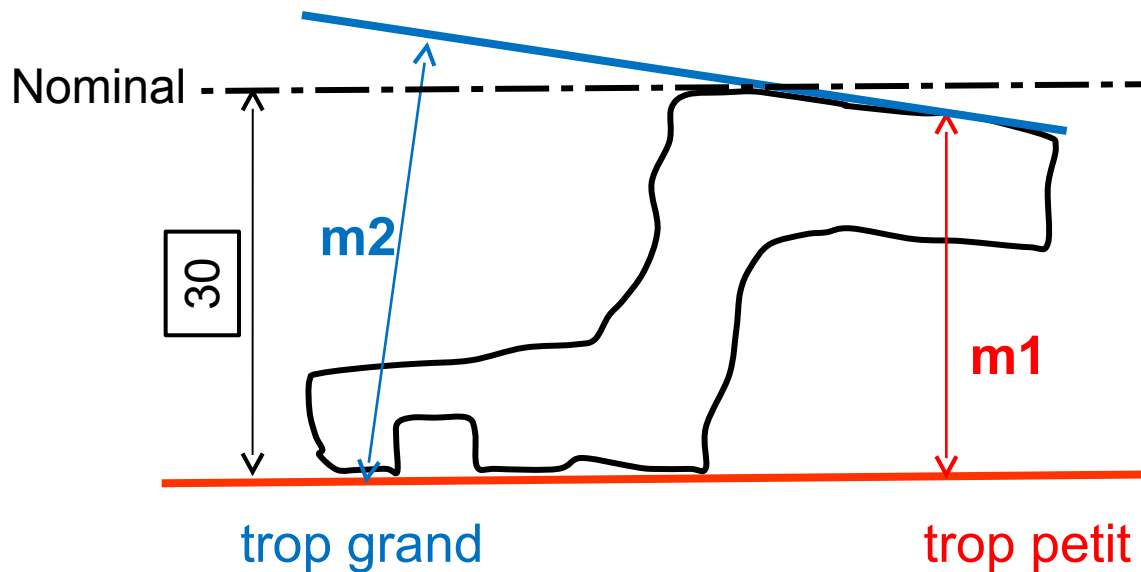


COTES INTERDITES

Les cotes ne sont pas utilisables si les points ne sont pas face à face.



Non conforme à la définition, ambiguïtés.



UTILISATION DE LA FICHE DE SYNTHÈSE

8 - TOLERANCEMENT DIMENSIONNEL AVEC ENVELOPPE ¶

▪

$$\overleftrightarrow{\text{Ø}30 \pm 0.2 \text{ (E)}} \quad ¶$$

Toutes les dimensions locales d_i (distance entre des points face à face) doivent être comprises dans *l'intervalle de tolérance*. $\underline{d_{mini}} \leq d_i \leq \underline{d_{max}}$ (indiquer les valeurs) ¶

Enveloppe (E) : ¶

Arbre : la surface réelle doit pouvoir être contenue dans un cylindre de diamètre $\underline{d_{maxi}} = \dots$ ¶

Alésage : la surface réelle doit pouvoir contenir un cylindre de diamètre $\underline{d_{mini}} = \dots$ ¶

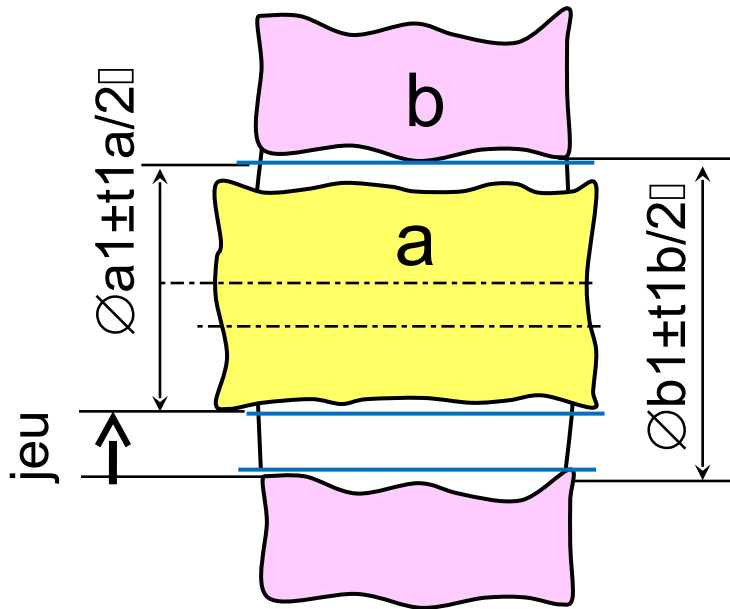
Tenon : les 2 surfaces réelles doivent pouvoir être contenues entre 2 plans distants de $\underline{d_{maxi}} = \dots$ ¶

Rainure : les 2 surfaces réelles doivent pouvoir contenir 2 plans distants de $\underline{d_{mini}} = \dots$ ¶

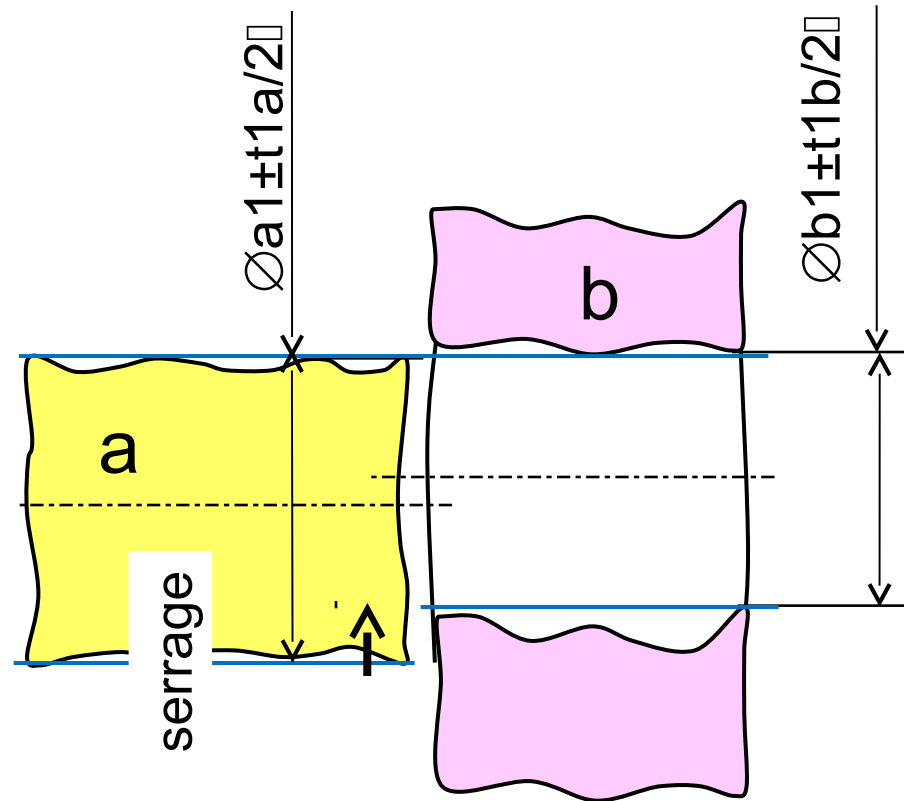
RELATIONS DE CALCUL

Liaison cylindre / cylindre

Notation : a = arbre, b = bâti



Si l'arbre est plus gros que l'alésage, il y a serrage



$$\text{jeu maxi} = b_{\text{maxi}} - a_{\text{mini}} = b_1 - a_1 + (t_1a + t_1b)/2$$

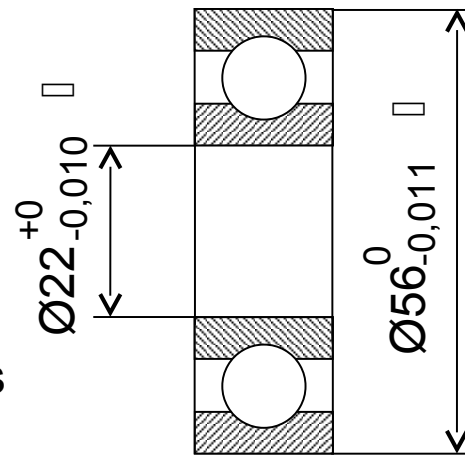
$$\text{jeu mini} = b_{\text{mini}} - a_{\text{maxi}} = b_1 - a_1 - (t_1a + t_1b)/2$$

$$\text{serrage maxi} = a_{\text{maxi}} - b_{\text{mini}} = a_1 - b_1 + (t_1a + t_1b)/2$$

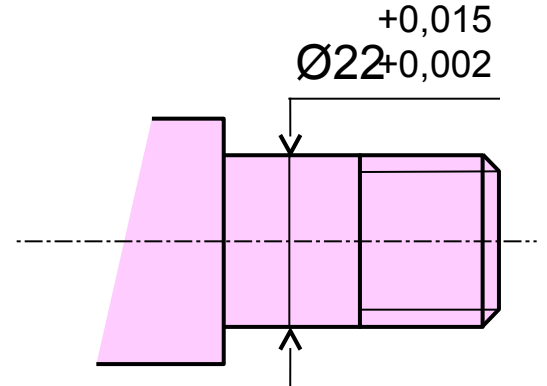
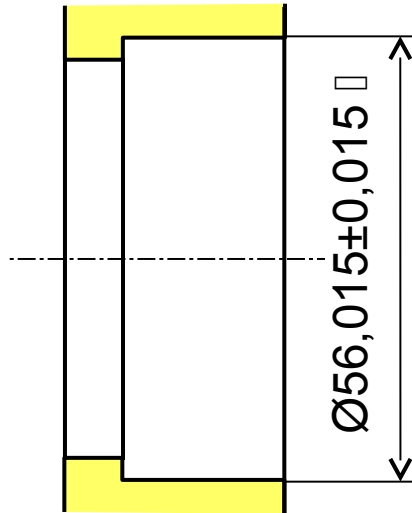
$$\text{serrage mini} = a_{\text{mini}} - b_{\text{maxi}} = a_1 - b_1 - (t_1a + t_1b)/2$$

EXERCICE

Le fournisseur du roulement indique les cotes suivantes :



L'alésage du carter et l'arbre ont été prévus avec les spécifications suivantes :



Calculer le jeu carter / roulement

Jeu maxi =

Jeu mini =

Calculer le serrage arbre / roulement

Serrage maxi =

Serrage mini =

Convertir la cote de diamètre de l'arbre pour avoir un diamètre nominal centré

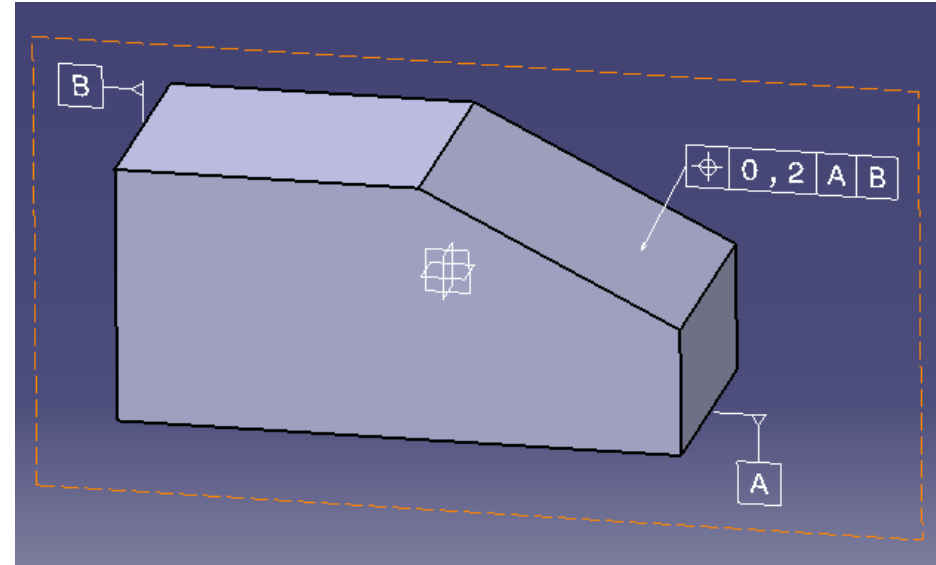
PLAN DU COURS

1. Objectifs et principe
2. Lecture du tolérancement dimensionnel
-  3. Tolérancement par zone de tolérance
4. Association d'une surface nominale à une surface réelle
5. Principe de lecture des spécifications géométriques
6. Définition détaillée des principales spécifications
7. Applications

COTATION CONTRACTUELLE

Solution 1 : modèle numérique 3D

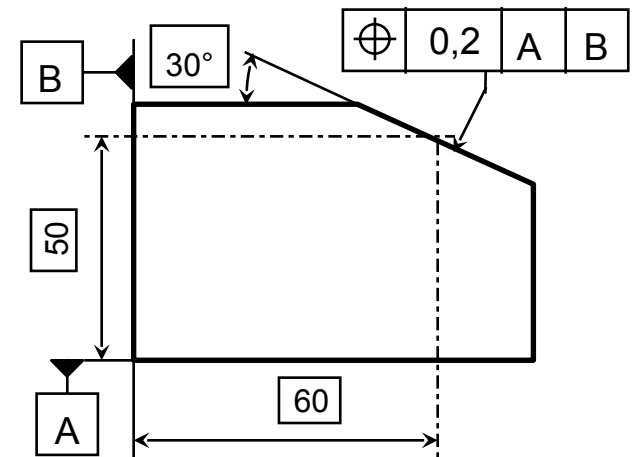
Les dimensions nominales et les angles sont définis par la CAO.
Les valeurs peuvent être mesurées dans la CAO.



Solution 2 : modèle 2D

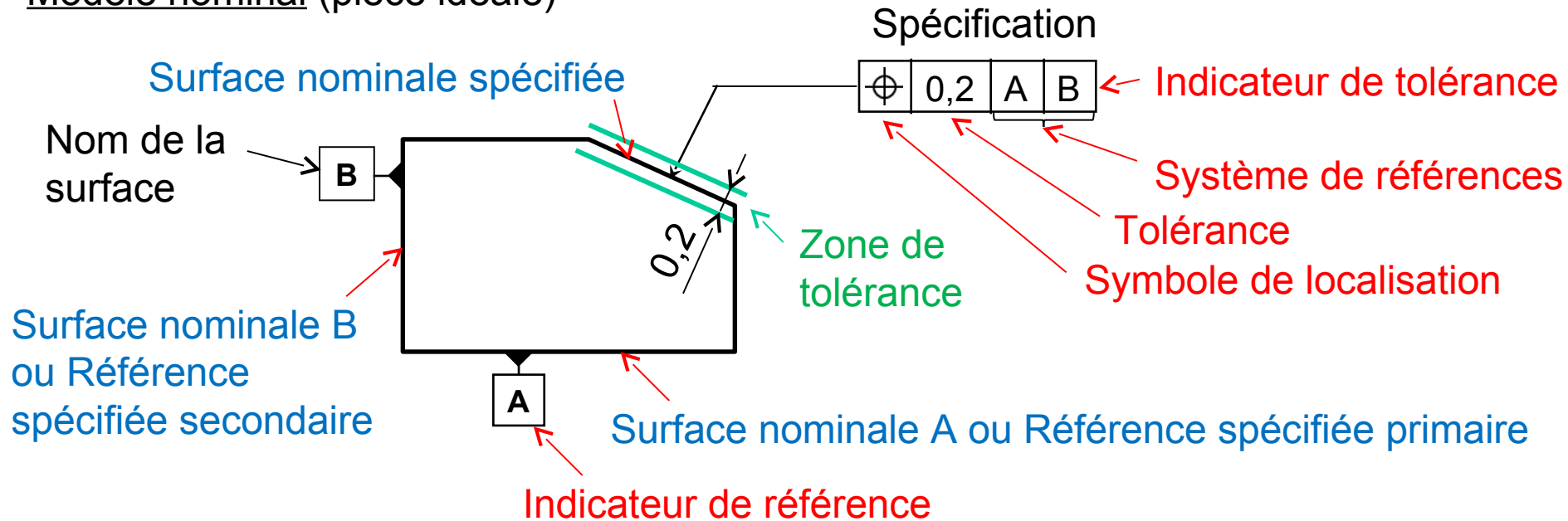
La cotation est décrite sur le dessin de définition de la pièce avec une ou plusieurs vues.

Pour une impression "papier", les cotes et les angles nominaux sont indiqués dans un cadre.

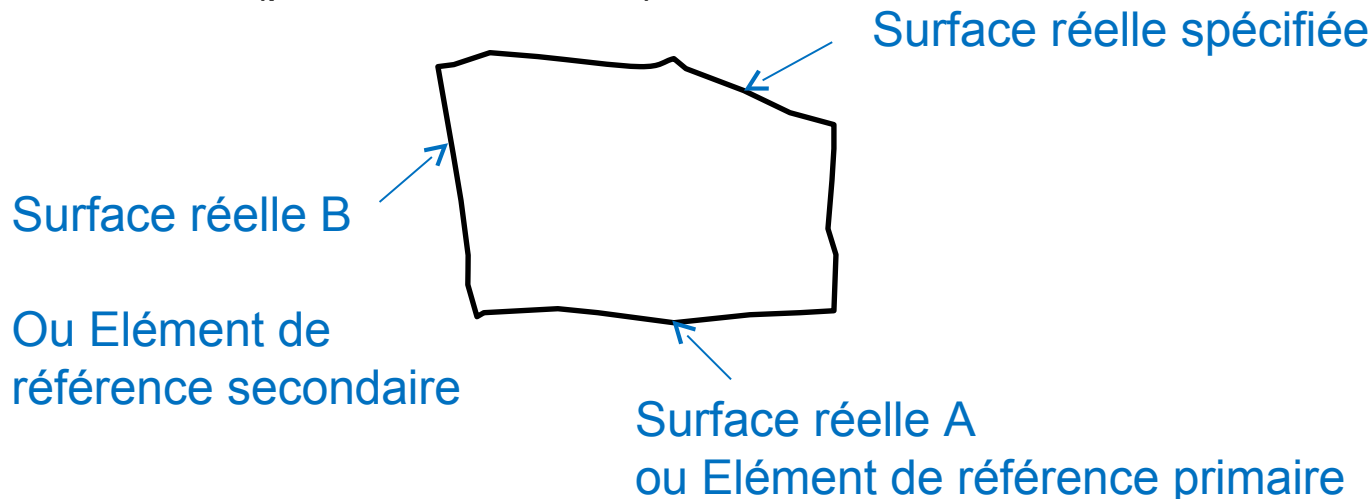


TOLERANCEMENT PAR ZONE DE TOLERANCE

Modèle nominal (pièce idéale)



Pièce réelle (pièce avec défaut)



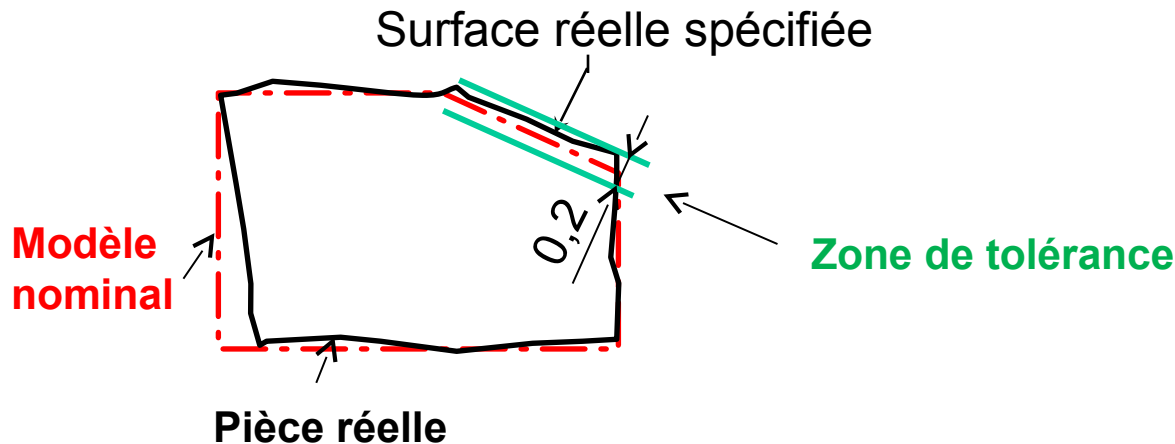
TOLERANCE DE POSITION PAR RAPPORT AU NOMINAL

Le modèle nominal est associé à la pièce réelle à l'aide du système de références :

La surface nominale primaire est associée à la surface réelle primaire.

La surface nominale secondaire est associée à la surface réelle secondaire.

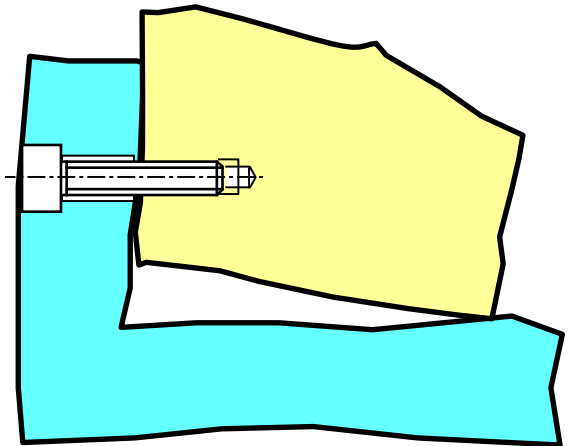
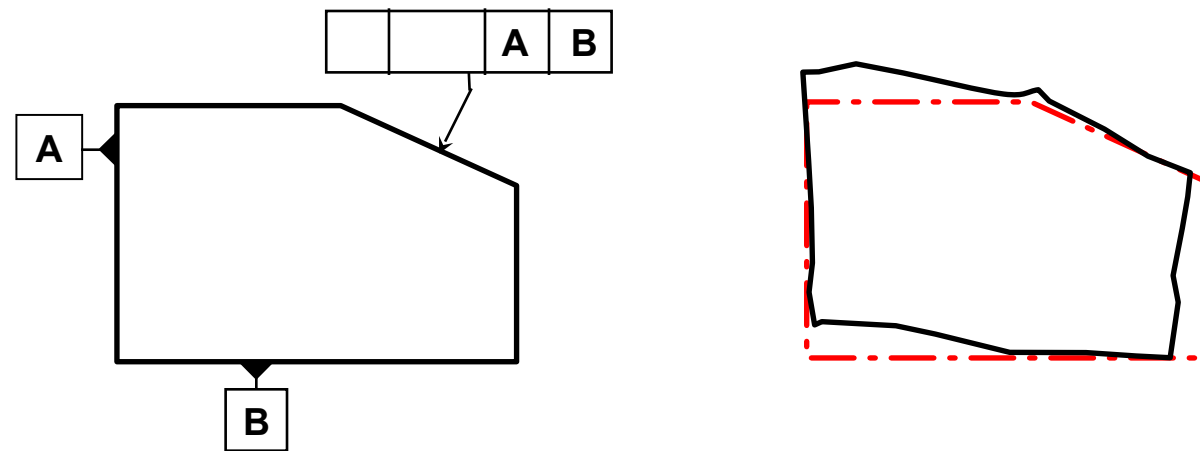
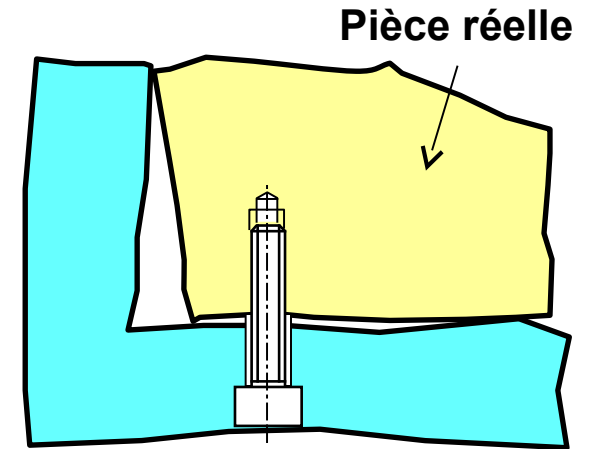
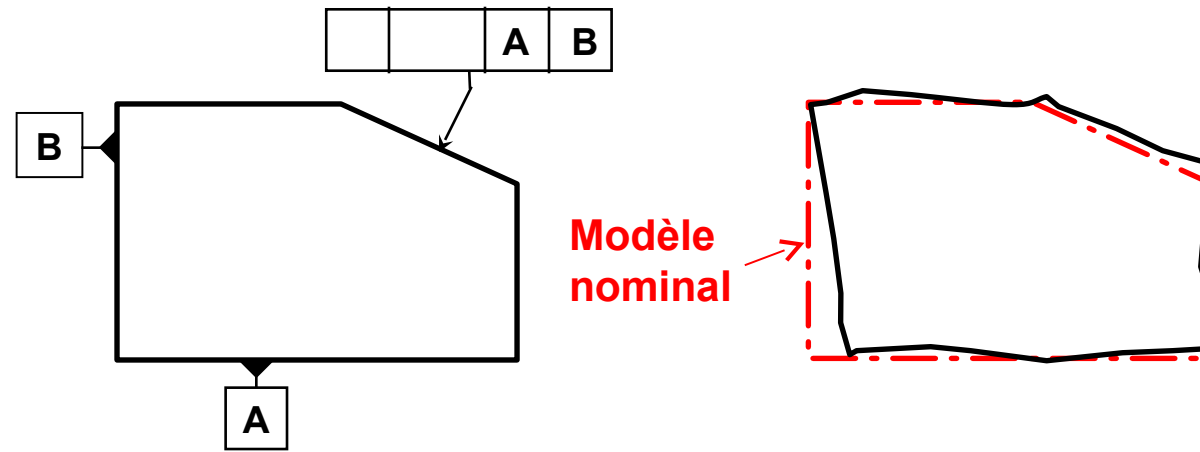
La spécification est conforme si la surface spécifiée est dans la zone de tolérance.



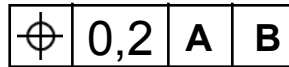
La zone de tolérance est limitée par 2 plans distants de 0,2 mm.

La zone de tolérance de position est centrée sur la surface nominale spécifiée

ORDRE DES REFERENCES

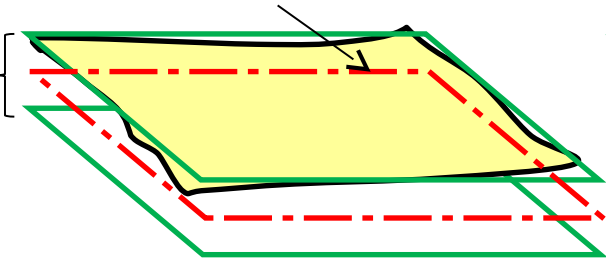


DEFAUTS PERMIS PAR UNE LOCALISATION

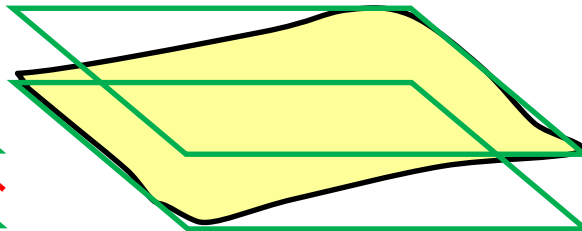


La surface réelle peut occuper toute la zone de tolérance

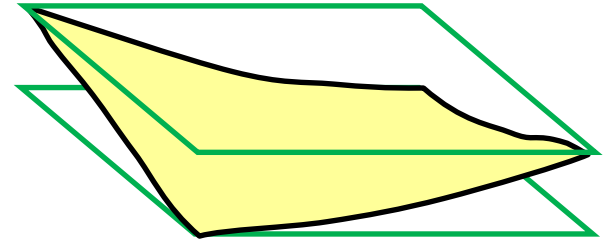
Surface nominale



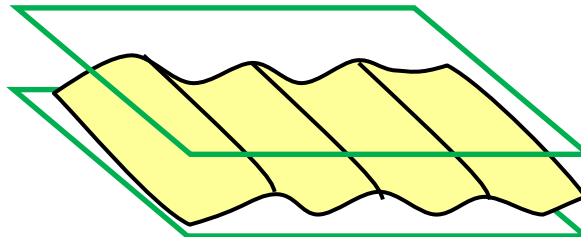
La surface est décalée
par rapport au nominal



La surface est inclinée
dans la zone de tolérance



La surface est voilée dans
la zone de tolérance

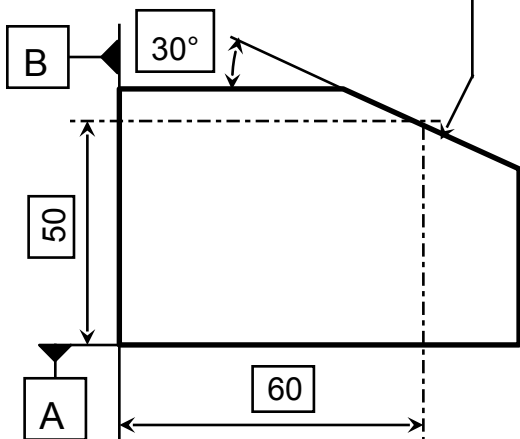


La surface est ondulée
dans la zone de tolérance

EXEMPLE : POSITION, ORIENTATION ET FORME

Localisation
Inclinaison
Planéité

$\oplus$	0,2	A	B
$\angle$	0,1	A	B
$\square$	0,02		



La zone est limitée par 2 plans distants de la tolérance.

Position
Localisation

$\oplus$	0,2	A	B
----------	-----	---	---

La zone est centrée sur le nominal

Plan nominal

0,2

Surface tolérancée

Orientation
Inclinaison

$\angle$	0,1	A	B
----------	-----	---	---

La zone est parallèle au nominal

Plan nominal

0,1

Surface tolérancée

Forme

Planéité

$\square$	0,02
-----------	------

La zone est libre par rapport au nominal

0,02

Surface tolérancée

Plan nominal

POSITION, ORIENTATION ET FORME

La zone de tolérance est limitée par 2 plans distants de la tolérance.

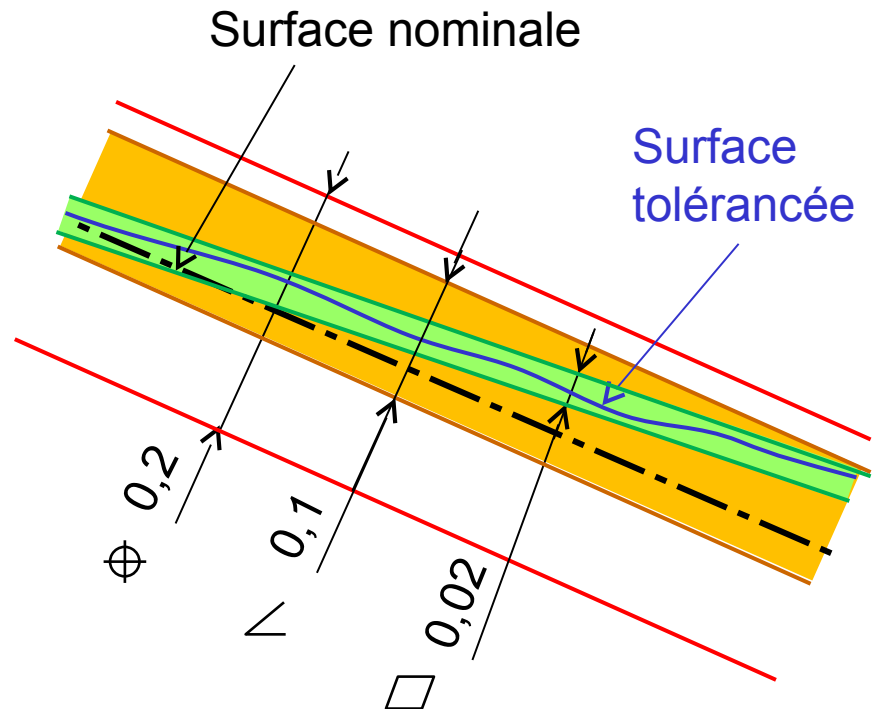
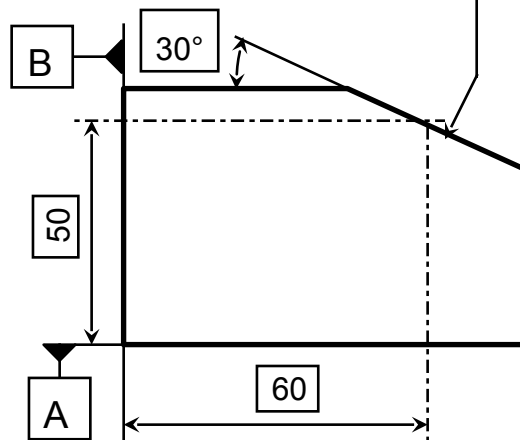
Position
Orientation
Forme

Localisation

Inclinaison

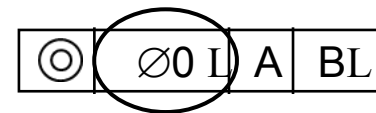
Planéité

$\oplus$	0,2	A	B
$\angle$	0,1	A	B
$\square$	0,02		



Large tolérance de position
Faible inclinaison
Bonne planéité

BON EMPLOI DES MODIFICATEURS



	Fonctions	Exemples
A Axe réel ou surface médiane réelle	Equilibrage d'un arbre, canalisation d'un flux d'air	
M Maximum de matière	Montabilité	
L Minimum de matière	Précision des liaisons avec jeu	
G Axe associé par les moindres carrés	Liaison avec serrage	
P Axe associé par les moindres carrés prolongé sur la plage P	Liaison avec serrage et porte-à-faux	

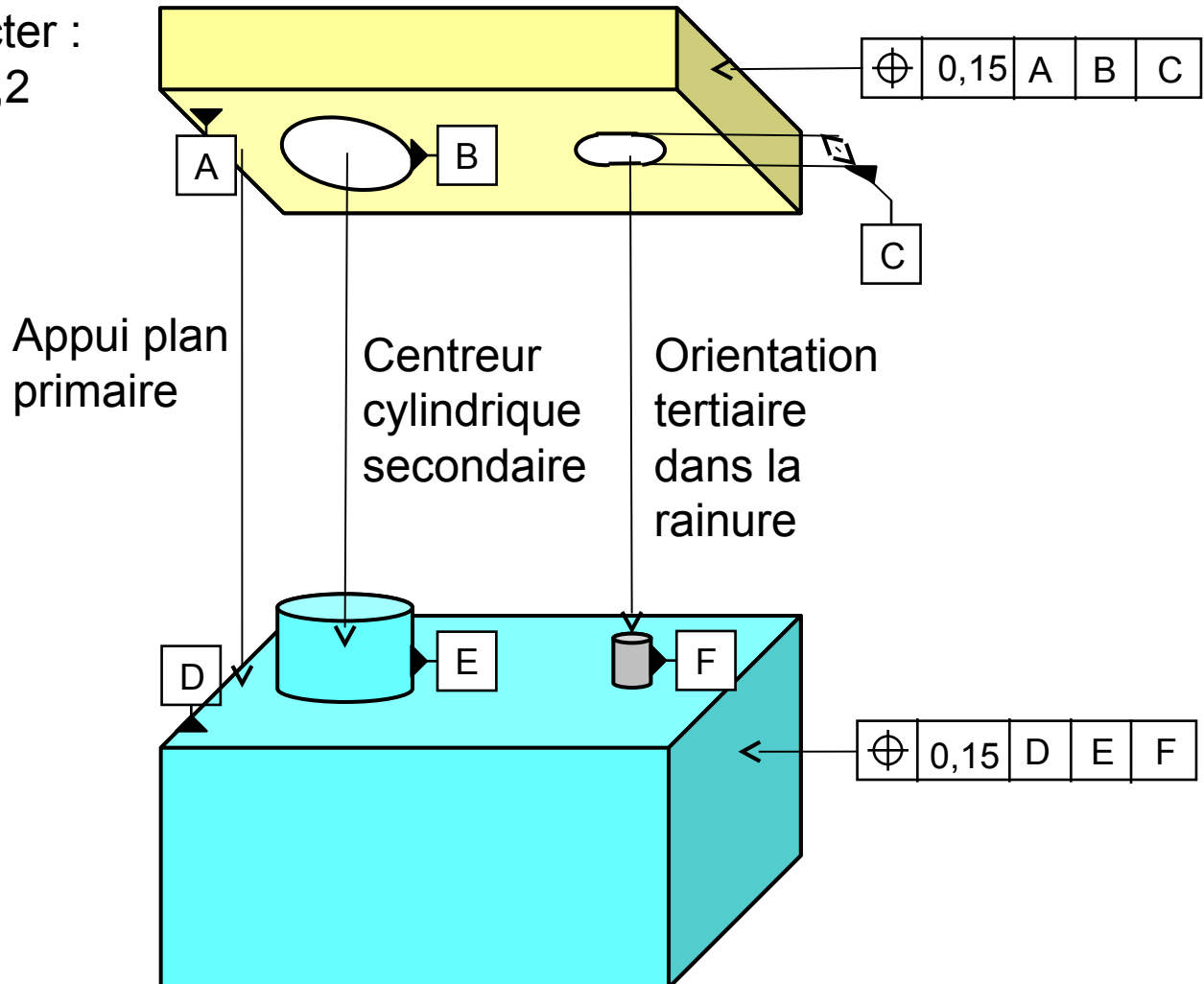
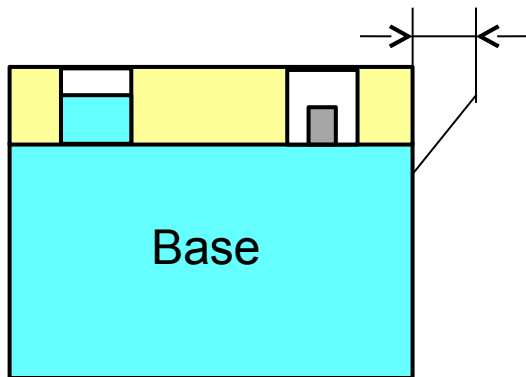
PLAN DU COURS

1. Objectifs et principe
2. Lecture du tolérancement dimensionnel
3. Tolérancement par zone de tolérance
-  4. Association d'une surface nominale à une surface réelle
5. Principe de lecture des spécifications géométriques
6. Définition détaillée des principales spécifications
7. Applications

DEFINITION DU SYSTEME DE REFERENCES

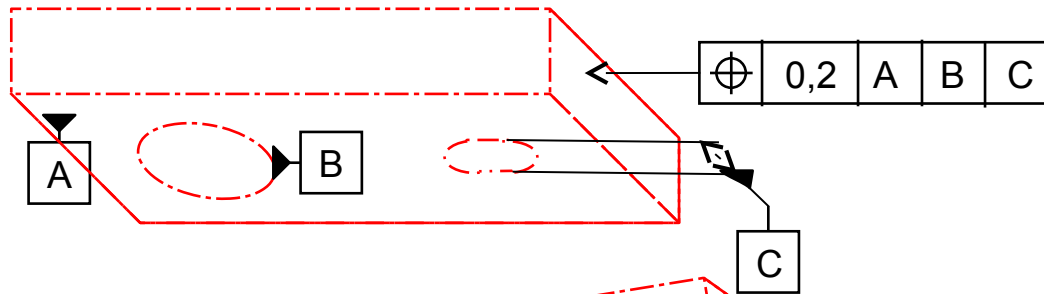
Le système de références décrit les surfaces qui assurent la mise en position des pièces.

Exigence à respecter :
Décalage maxi $\pm 0,2$

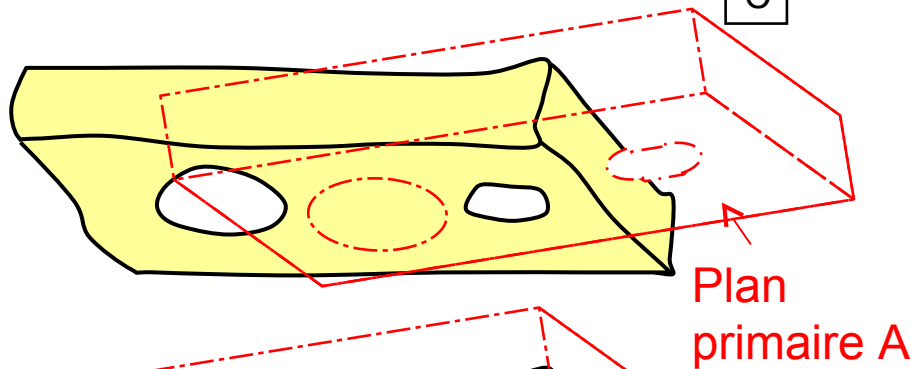
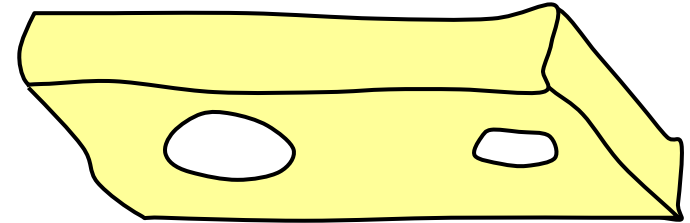


ASSOCIATION DU MODELE NOMINAL A LA PIECE REELLE

Modèle nominal

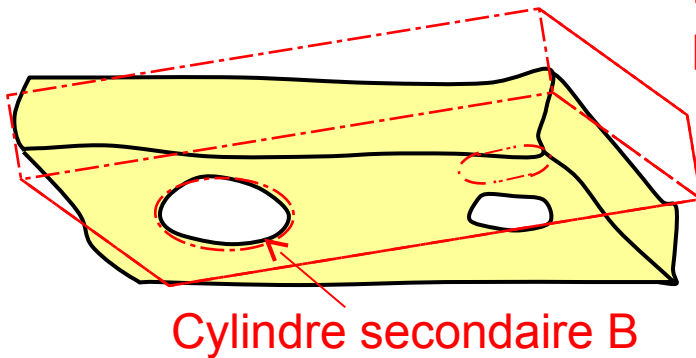


Pièce réelle



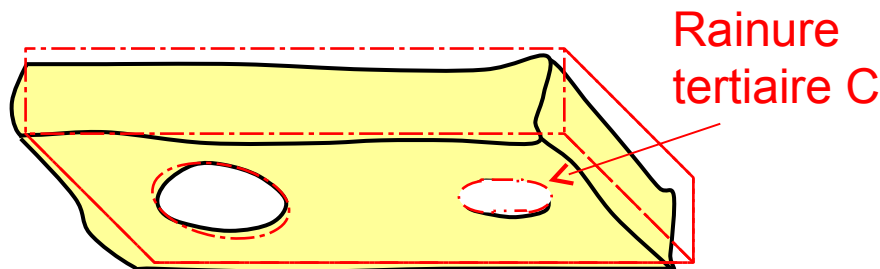
Le plan primaire A est associé à la surface réelle A.

=> Le modèle nominal peut encore glisser sur le plan primaire A



Le cylindre secondaire B est associé à l'alésage réel B

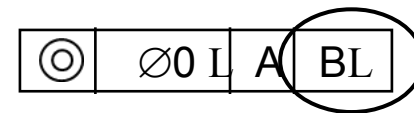
=> Le modèle nominal peut encore tourner autour de B



La rainure tertiaire C est associé à la rainure réelle C

=> Le modèle nominal est complètement positionné sur la pièce réelle

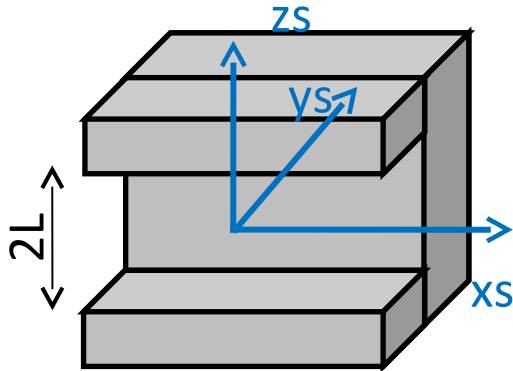
BON EMPLOI DES REFERENCES



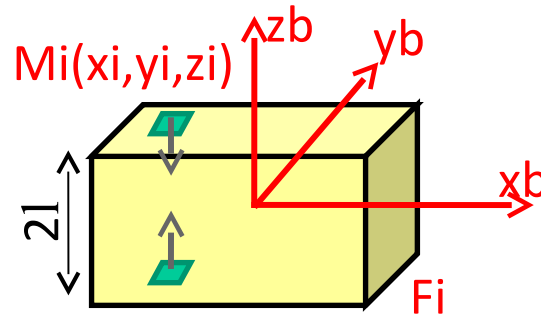
	Fonctions	Exemples
[GE] Extérieur matière des moindres carrés	Contact surfacique	
[GM] moindres carrés moyen	Contact ou assemblage avec serrage ou contraintes	
M Maximum de matière	Liaison avec jeu favorable	
L Minimum de matière	Précision des liaisons avec jeu (jeu défavorable)	
P Moindres carrés sur la projection dans la plage P	Liaison avec serrage et porte-à-faux	

SERRAGE ENTRE 2 PLANS

Support infiniment rigide

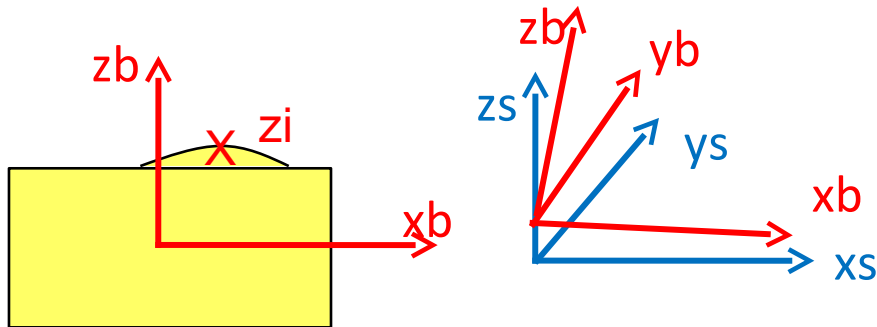


Bloc étudié



Chaque surface élémentaire en M_i du bloc subit une compression qui génère un effort F_i dirigé vers l'intérieur de la pièce.

Que se passe t-il avec une bosse ?



La position est donnée par l'équilibre statique.

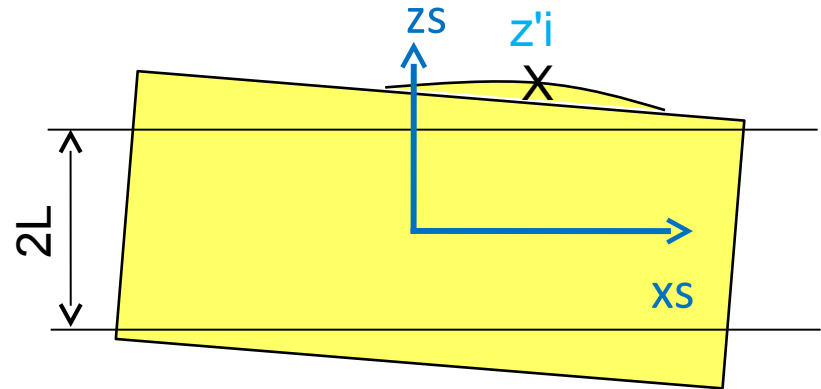
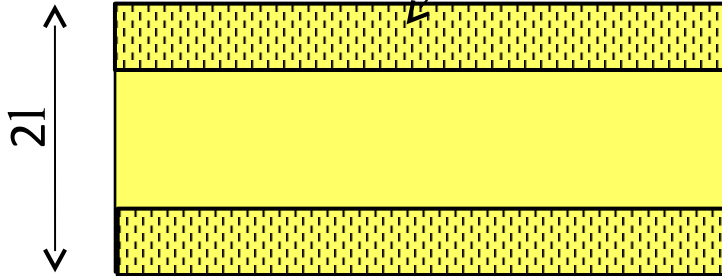
Les points M_i du bloc ont pour coordonnées (x_i, y_i, z_i) dans le repère b .

Dans le repère s de la pièce support, on a :

$$z'_i = z_i + w + \alpha \cdot y_i - \beta \cdot x_i$$

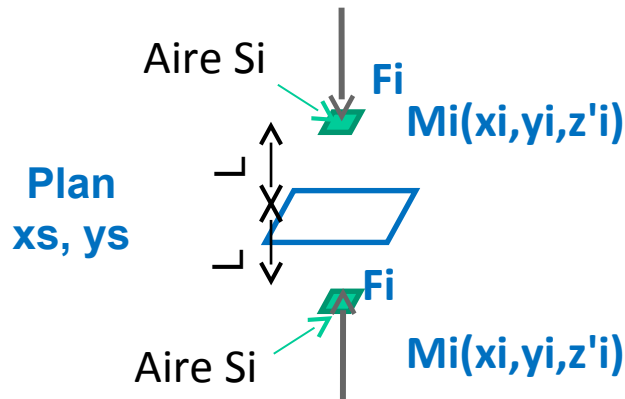
SERRAGE ENTRE 2 PLANS

Couche élastique : $F = k. \Delta z$.



Dans le repère s de la pièce support : $z'i = z_i + w + \alpha.y_i - \beta.x_i$

La compression en M_i est $\Delta z_i = z'i - L$



Sur la face supérieure, l'écart est $\xi_i = z_i - L$.

A l'équilibre, la compression est $z'i - L$.

L'effort appliqué est $F_i = k.s_i.(L - z'i)$

Sur la face inférieure, l'écart est $\xi_i = z_i + L$.

A l'équilibre, la compression est $-z'i - L$.

L'effort appliqué est $F_i = -k.s_i.(L + z'i)$

EQUILIBRE STATIQUE

L'équilibre est assuré si :

$$\text{Moment en } x = -k. [\sum s_i.(\xi_i . y_i) + w. \sum s_i.y_i + \alpha. \sum s_i.y_i^2 - \beta. \sum (s_i.x_i.y_i)] = 0$$

$$\text{Moment en } y = -k. [\sum s_i.(\xi_i . x_i) + w. \sum s_i.x_i + \alpha. \sum (s_i.x_i.y_i) - \beta. \sum s_i.x_i^2] = 0$$

$$\text{Résultante en } z = -k. [\sum s_i.(\xi_i) + w. \sum s_i + \alpha. \sum s_i.y_i - \beta. \sum s_i.x_i] = 0$$

La position est indépendante de la raideur k .

Si la densité de points est constante, l'aire de la surface élémentaire s_i est la même pour tous les points. Le système d'équation devient :

$$\sum (\xi_i . y_i) + w. \sum y_i + \alpha. \sum y_i^2 - \beta. \sum (x_i.y_i) = 0$$

$$\sum (\xi_i . x_i) + w. \sum x_i + \alpha. \sum (x_i.y_i) - \beta. \sum x_i^2 = 0$$

$$\sum (\xi_i) + w. \sum s_i + \alpha. \sum y_i - \beta. \sum x_i = 0$$

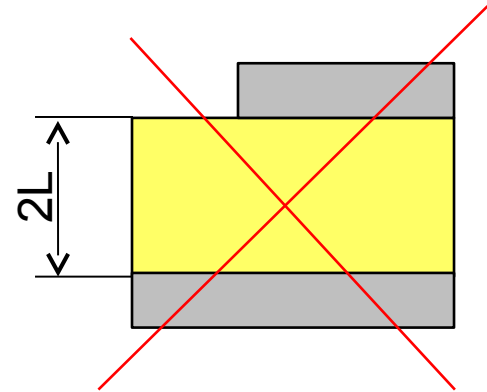
$$\text{Avec } \sum (\xi_i) = \sum_{\text{Sup}} (z_i - L) + \sum_{\text{Inf}} (z_i + L) = \sum z_i + \underbrace{(n_{\text{inf}} - n_{\text{sup}})}_{=0 \text{ si les points sont face à face}} L$$

$$\sum (\xi_i . y_i) = \sum (z_i) + L \left(\sum_{\text{Inf}} y_i - \sum_{\text{Sup}} y_i \right)$$

$$\sum (\xi_i . x_i) = \sum (z_i) + L \left(\sum_{\text{Inf}} x_i - \sum_{\text{Sup}} x_i \right)$$

=0 si les points sont face à face

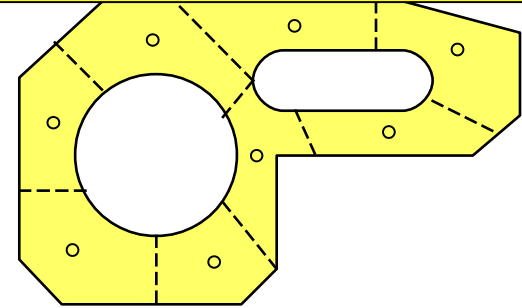
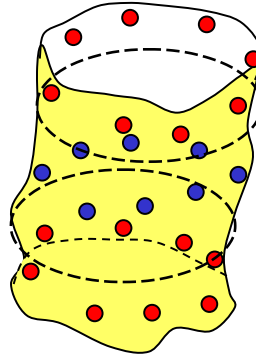
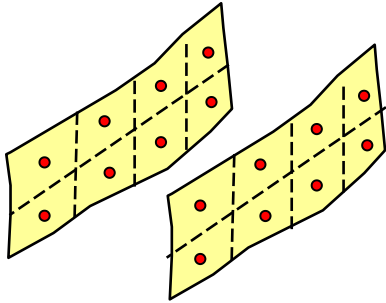
=> Résultat indépendant de L



Si les palpées sont aux mêmes points sur les 2 plans, la solution correspond exactement à la méthode des moindres carrés et est indépendante de la largeur nominale (L).

PRECONISATION

Partager la surface en zones de même aire et palper un point au centre de chaque zone.



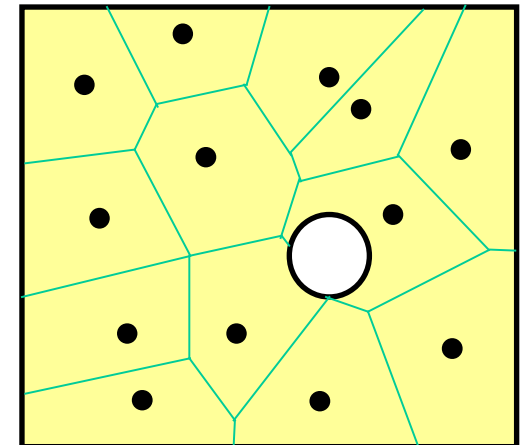
Pour deux plans face à face avec des contours différents et/ou des palpages quelconques, il faudrait appliquer les relations avec pondération par s_i :

$$\sum s_i.(\xi_i .y_i) + w. \sum s_i.y_i + \alpha. \sum s_i.y_i^2 - \beta. \sum (s_i.x_i.y_i) = 0$$

$$\sum s_i.(\xi_i .x_i) + w. \sum s_i.x_i + \alpha. \sum (s_i.x_i.y_i) - \beta. \sum s_i.x_i^2 = 0$$

$$\sum s_i.(\xi_i) + w. \sum s_i + \alpha. \sum s_i.y_i - \beta. \sum s_i.x_i = 0$$

L'aire s_i de chaque petit élément de surface autour de chaque point peut être donné par l'algorithme de Voronoï (faces élémentaires limitées par les médiatrices avec des points voisins)



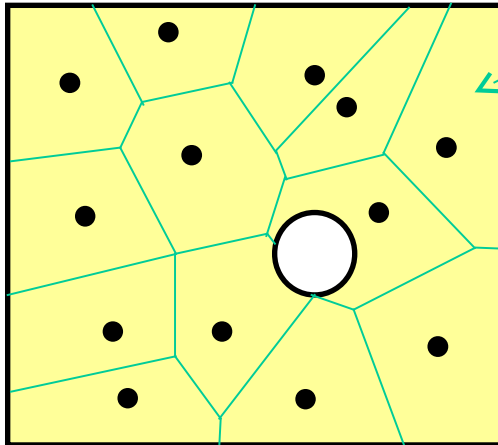
VUE THEORIQUE

Le modèle théorique est un calcul intégral défini sur une surface continue.

$$S = \int e^2 \cdot ds$$

La mesure est réalisée avec un nombre limité de points

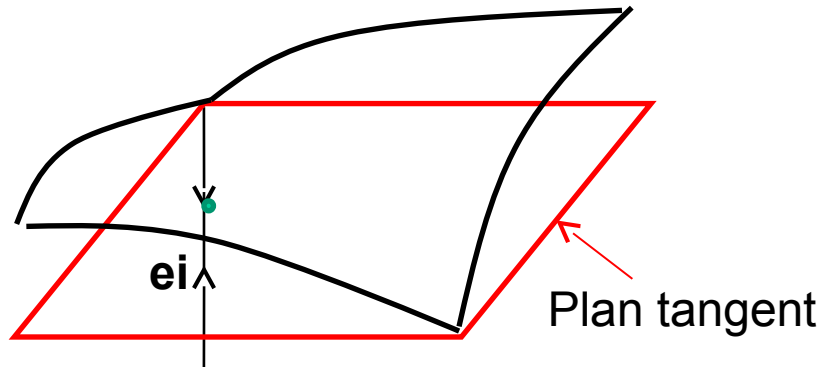
$$S = \sum s_i \cdot e_i^2$$



Hypothèse correspondante :
L'écart e_i est constant pour toute la
facette autour du point.

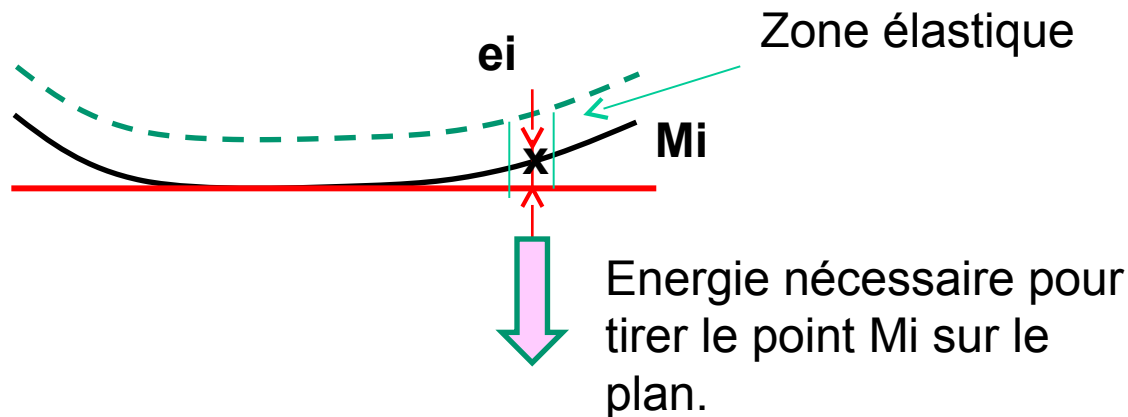
Remarque : un prélèvement non uniforme implique une incertitude de mesure.

CRITERE [GE]



$$S = \sum e_i^2 \text{ minimale}$$

Plan qui minimise l'énergie de déformation pour tirer la surface sur le plan



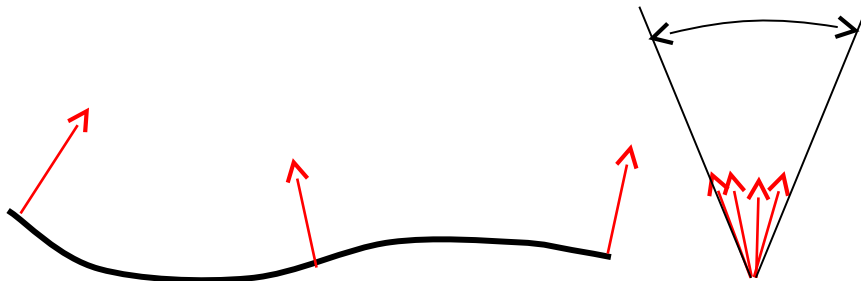
Problème : ce nouveau critère [GE] n'est pas souvent disponible dans les logiciels de métrologie

PRECONISATION

Surfaces planes ou plates

Critère [GE] : plan extérieur matière, des moindres carrés

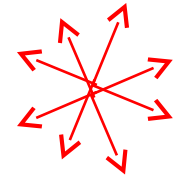
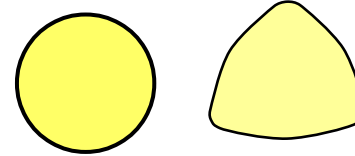
Critère proposé : toutes les normales sont comprises dans un cône d'angle 30° .



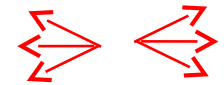
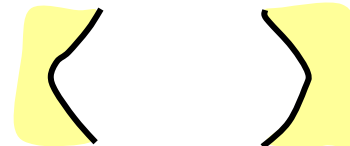
Autres surfaces

Critère d'association des moindres carrés [GM] (sans contrainte de tangence).

Surface fermée



Surface bilatérale



Surface gauche



Dans les deux cas, la surface associée est la surface nominale.

Pour un cylindre complet, le résultat est théoriquement indépendant du rayon si la densité est uniforme. Il est alors possible de faire varier les rayons pour être moins sensible aux variations de densité.

CRITERES D'ASSOCIATION SANS MODIFICATEUR

ISO 1101:2017

Symbol	Association
C	Minimax (Chebyshev)
G	Least squares (Gaussian)
X	Maximum inscribed ^a
N	Minimum circumscribed ^a
E	Constrained external to the material
I	Constrained internal to the material
^a Only applies to spherical and cylindrical features for form and features of size for datums.	

Exemple :
ISO 5459 : juin 2017

	0,2	A[CE]	B[X]	C[X]
---	-----	-------	------	------

CRITERE D'ASSOCIATION D'UNE REFERENCE

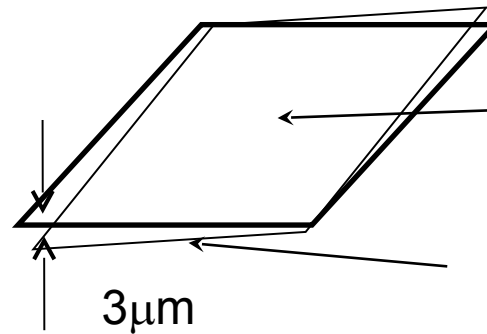
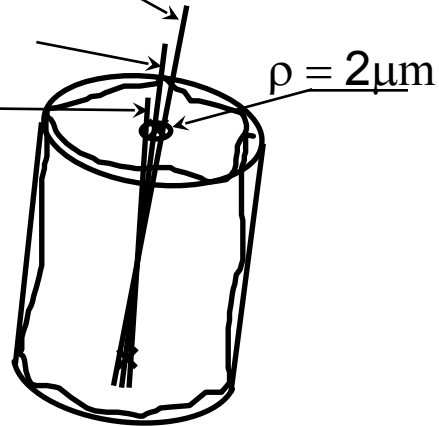
Sur des surfaces de bonne qualité, les surfaces associées sont assez proches quel que soit le critère, en comparant effectivement des surfaces "extérieures matière" ou "centrées".

(ex : on a un écart de $2\mu\text{m}$ entre les axes aux extrémités d'un cylindre obtenue en tournage)

[GM] Moindres carrés

[CE] Minimax

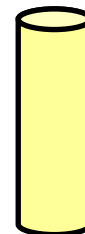
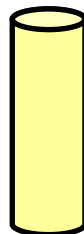
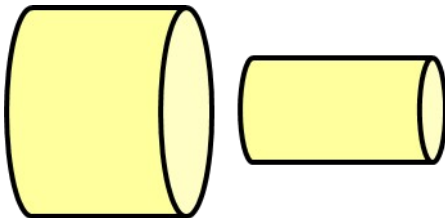
[N] Circonscrit



[CE] Minimax

[GE] Moindres carrés
Extérieur matière

La différence se fait sur les cylindres coaxiaux ou parallèles



CRITERE D'ASSOCIATION PAR DEFAUT

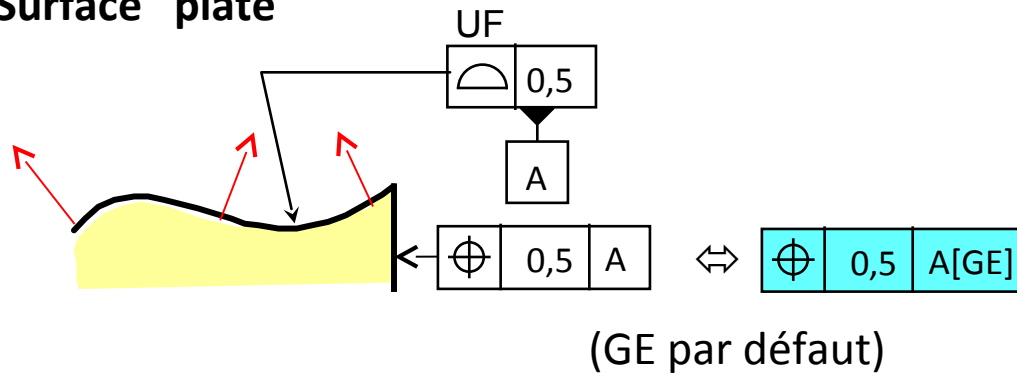
Critère par défaut	Avant 2018	Après 2018
Plan et Surface quelconque	Minimax [CE]	Moindres carrés extérieur matière [GE]
Alésage Arbre	Inscrit [X] Circonsrit [N]	Moindres carrés [GM]

Gauss
Moyen

REFERENCE POUR UNE SURFACE QUELCONQUE

La norme ne distingue pas les surfaces quelconques plates ou non plates et impose par défaut le critère [GE].

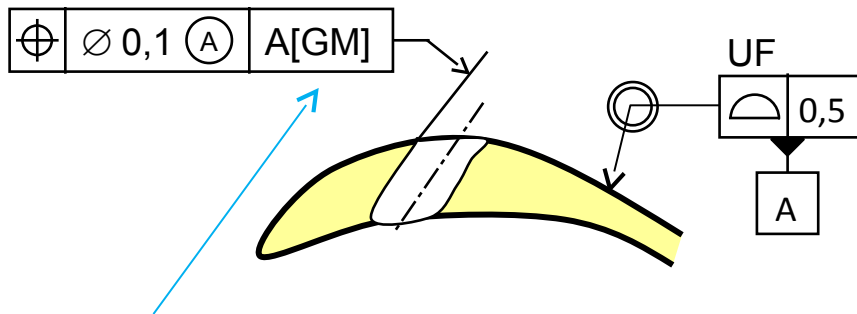
Surface "plate"



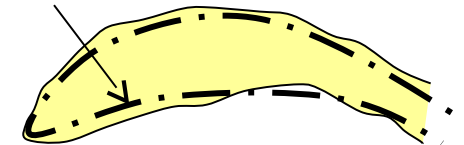
Surface nominale extérieure
matière des moindres carrés



Surface "non plate"



Surface nominale des
moindres carrés



PLAN DU COURS

1. Objectifs et principe
2. Lecture du tolérancement dimensionnel
3. Tolérancement par zone de tolérance
4. Association d'une surface nominale à une surface réelle
-  5. Principe de lecture des spécifications géométriques
6. Définition détaillée des principales spécifications
7. Applications

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Système de références

Primaire
Secondaire
Tertiaire

Ligne repère

Symbole

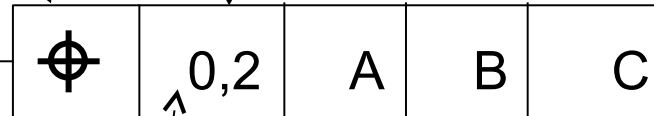
Tolérance

*Flèche
perpendiculaire
à la surface*

Élément spécifié

Forme de la
zone de
tolérance

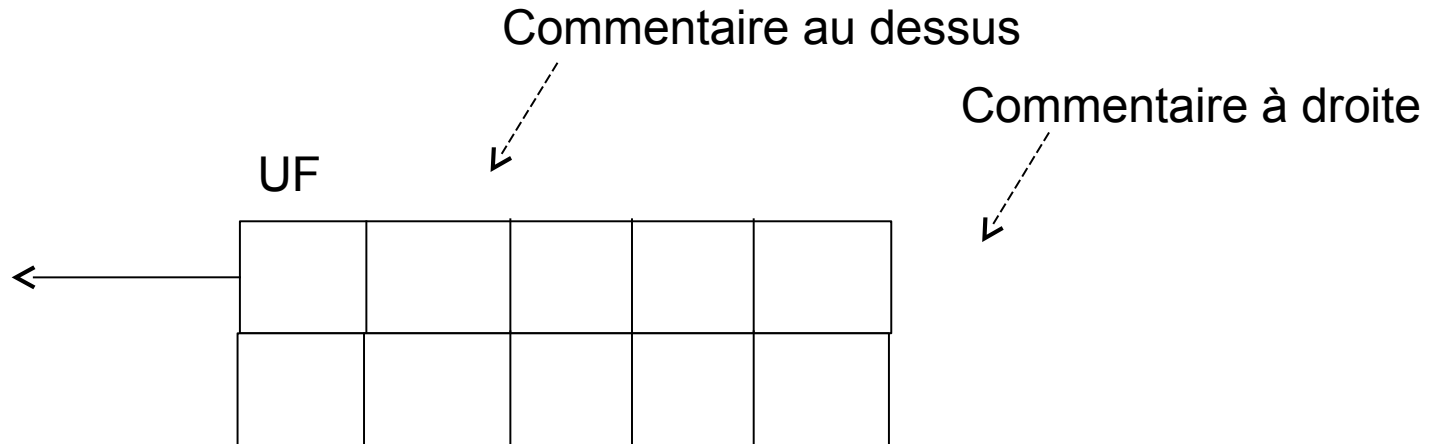
$\varnothing$
s $\varnothing$



Principaux modificateurs :

- A Axe réel ou surface médiane réelle
- G Surface associée par les moindres carrés
- P Prolongement de l'axe
- M Maximum de matière
- L Minimum de matière
- F Etat libre (Free)

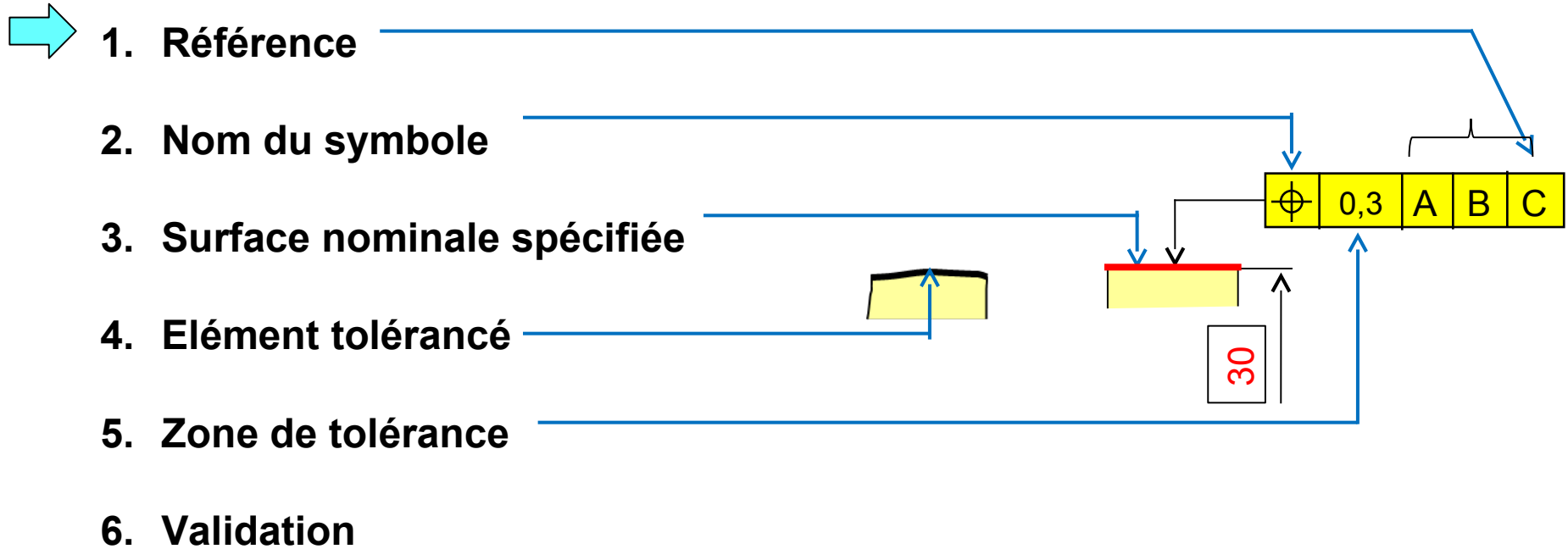
INDICATIONS COMPLEMENTAIRES



Les indications et commentaire au-dessus sont communs à toutes les spécifications
Les indications et commentaire à droite d'une spécification concerne uniquement cette spécification

REGLE DE LECTURE DES SPECIFICATIONS

La lecture se fait selon un ordre précis :

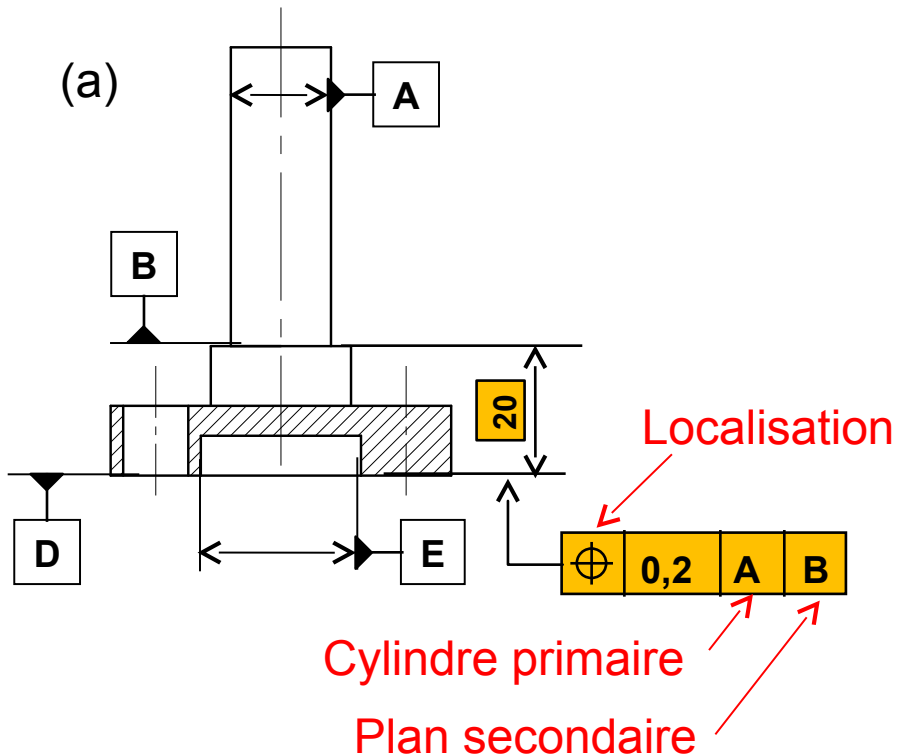


La fiche "LECTURE DES SPECIFICATIONS ISO DE COTATION" permet de rédiger chacune des rubriques.

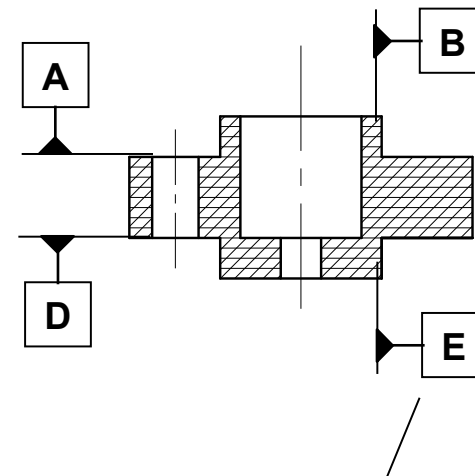
SYSTÈME DE REFERENCES

Les surfaces sont désignées sur le modèle nominal.

Une pièce ne peut pas comporter deux surfaces différentes avec la même lettre.
Les désignations sont indépendantes entre les pièces.



(b)

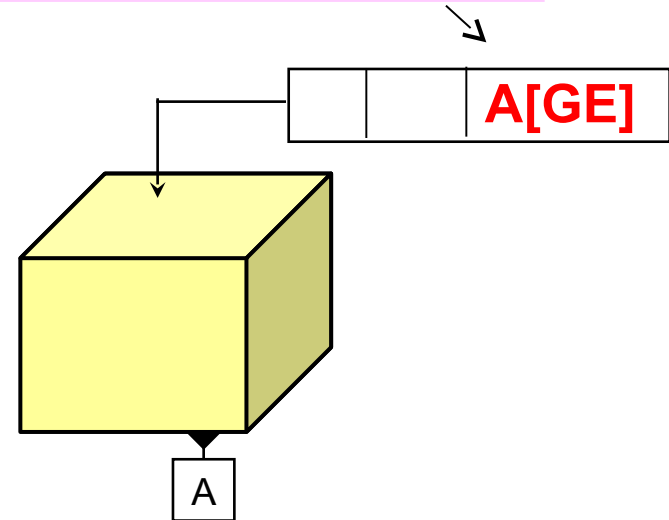
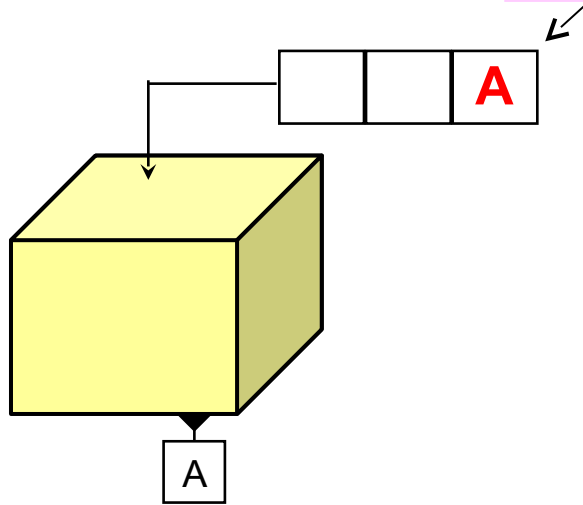


Cette référence désigne le cylindre (pas une ligne de la peau du cylindre qui nécessite une référence partielle).

Chaque spécification est évaluée en associant le modèle nominal à la pièce réelle à l'aide du système de références.

REFERENCE SUR UN PLAN

Cette référence désigne le plan nominal
A associé à la surface réelle A



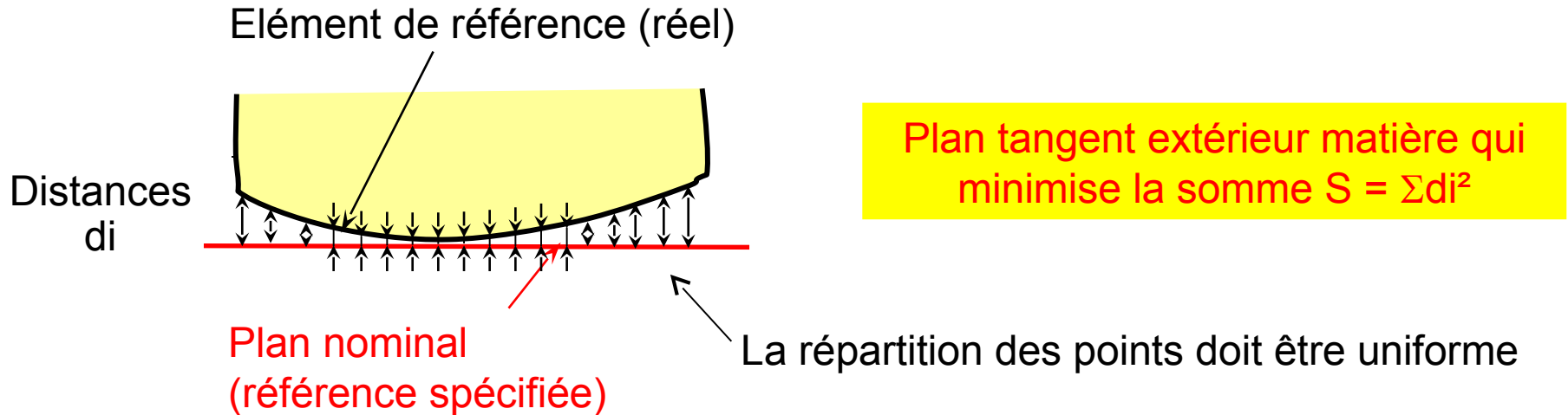
Critère par défaut :

Avant 2017 Critère minimax [CE]

Après 2017 Critère moindres carrés extérieur matière [GE]

PLAN EXTERIEUR DES MOINDRES CARRES [GE]

Moindres carrés extérieur matière [GE] (Gauss contraint extérieur matière)



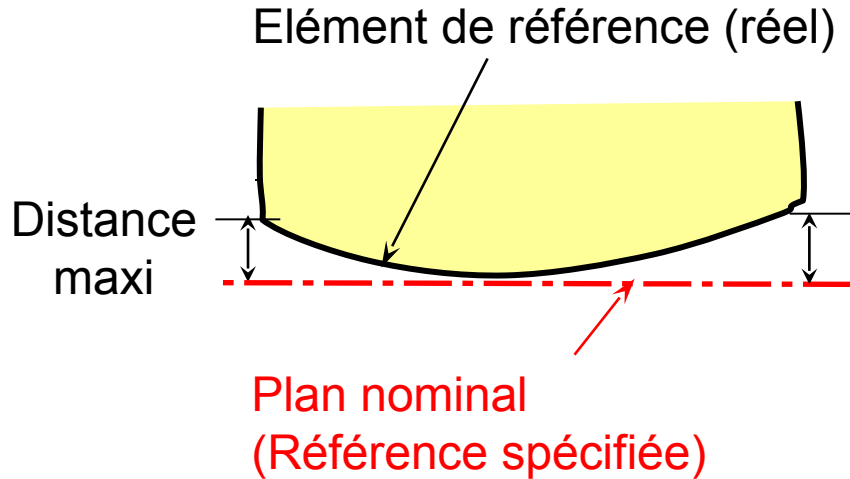
Ce critère est celui par défaut depuis 2017

La référence spécifiée est le plan qui nécessite le moins d'énergie pour redresser la surface, par exemple à l'aide de plusieurs vis.

PLAN MINIMAX [CE]

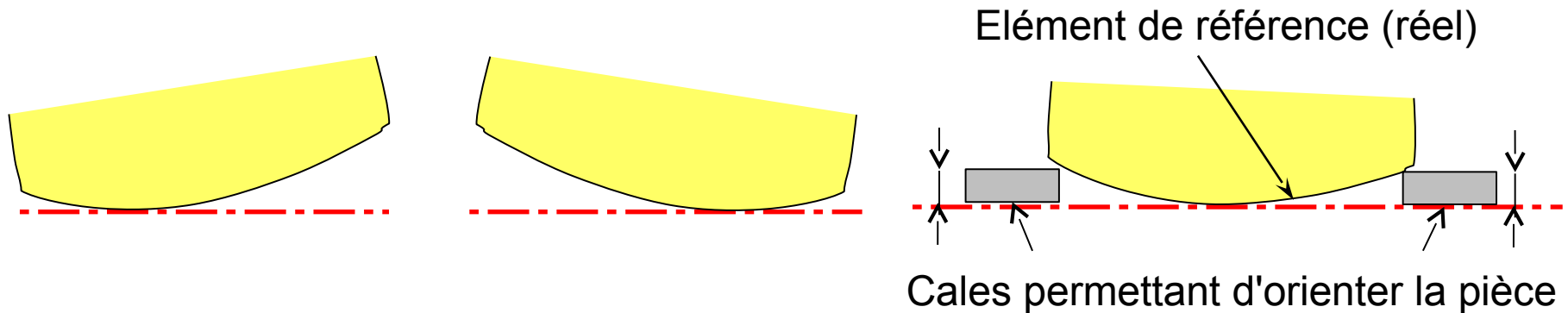
Ce critère est celui par défaut avant 2017

[CE] (Chebyshev constraint Extérieur matière) appelé également **minimax**.



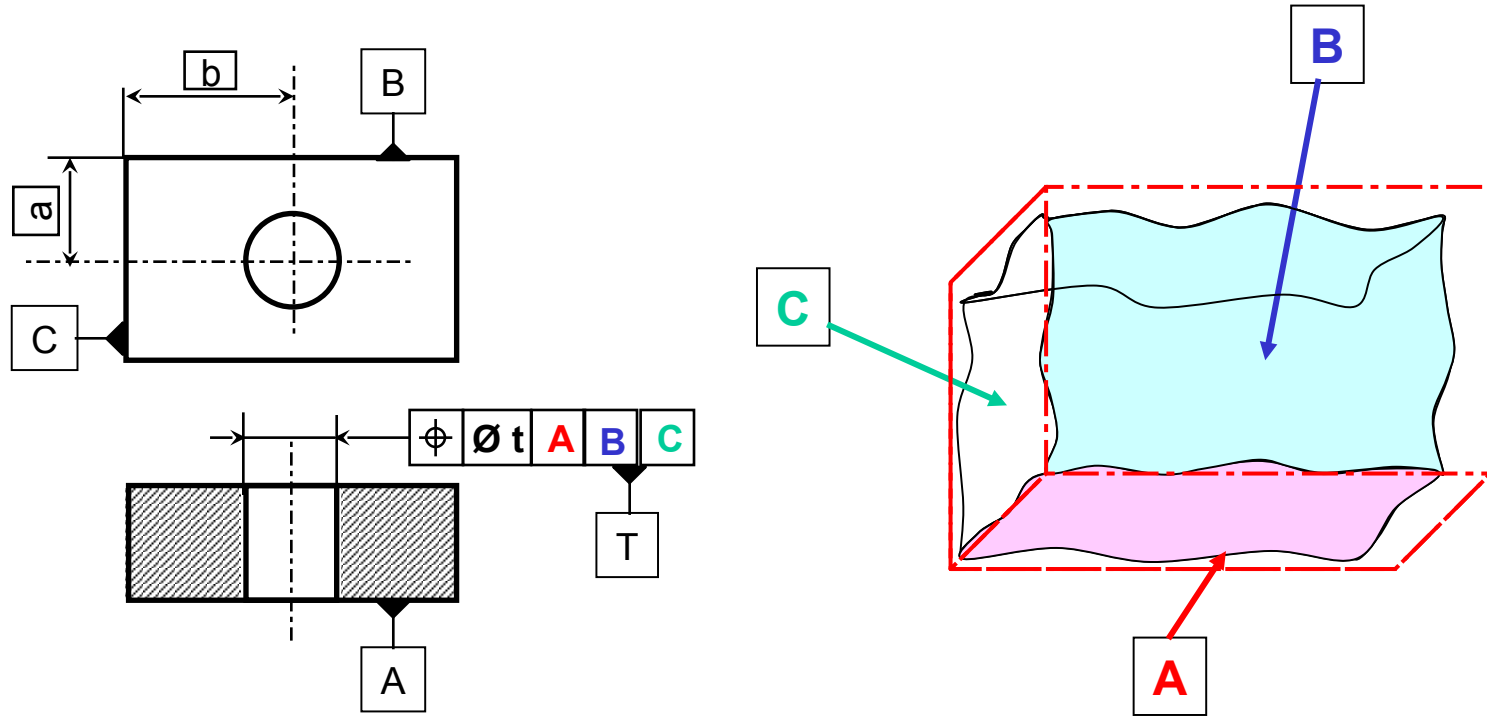
Minimax = Plan tangent du côté libre de la matière, qui minimise la distance maxi (Plan minimax)

La référence peut être simulée en plaçant la pièce sur un marbre.



Les deux références [CE] et [GE] obtenues avec les deux méthodes sont très proches.

SYSTÈME DE REFERENCES PLAN | PLAN | PLAN



Le plan nominal primaire A est associé à la surface réelle A avec [GE].

⇒ Le modèle nominal peut encore glisser sur le plan primaire A

Le plan nominal secondaire B est associé à la surface réelle B avec [GE].

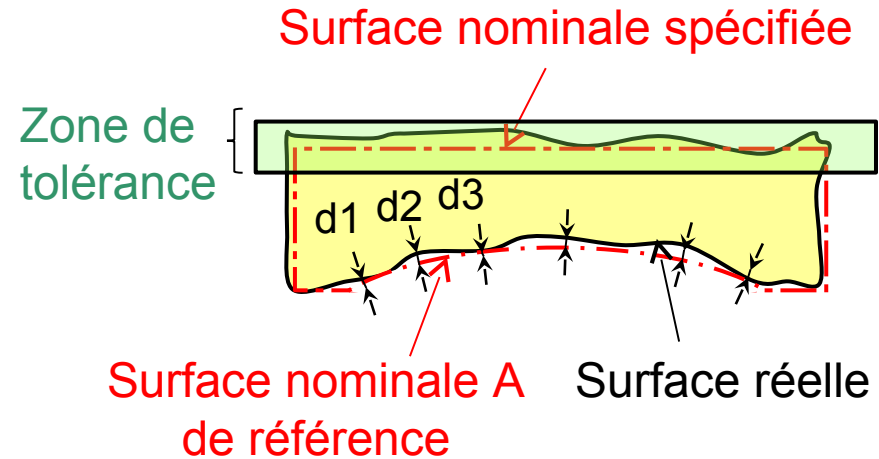
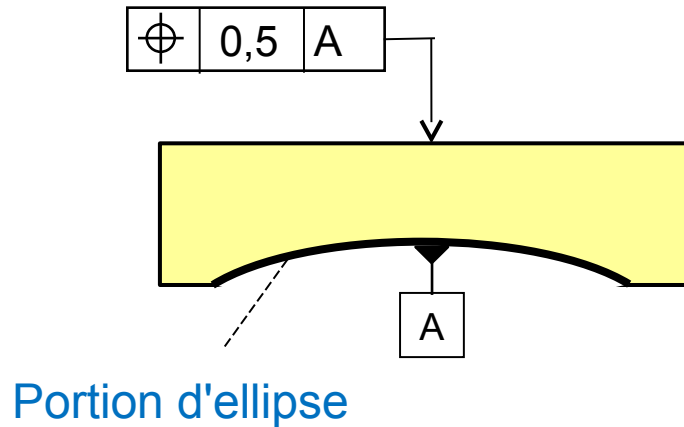
⇒ Le modèle nominal peut encore se traduire selon la droite d'intersection de A et B

Le plan nominal tertiaire C est associé à la surface réelle C avec [GE].

⇒ Le modèle nominal est complètement positionné

REFERENCE SUR UNE SURFACE QUELCONQUE

Moindres carrés extérieur matière [GE] (Gauss constraint extérieur matière)



Surface nominale tangente extérieur
matière qui minimise la somme
 $S = \sum d_i^2$

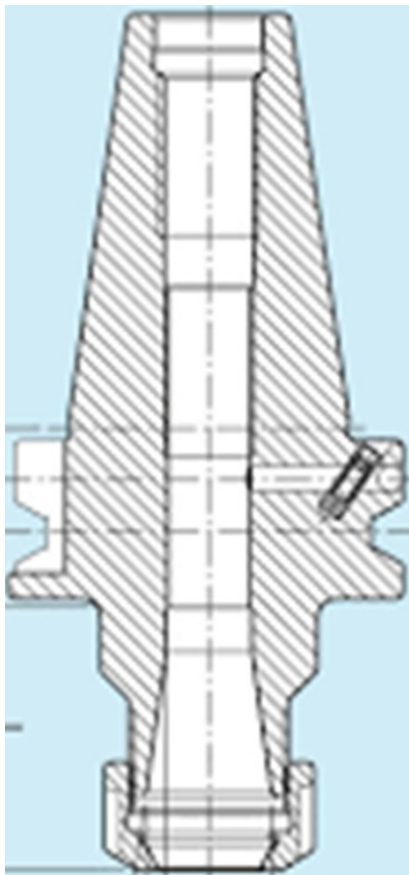
La répartition des points doit être uniforme

Attention : ce critère ne convient que pour des surfaces relativement plate.

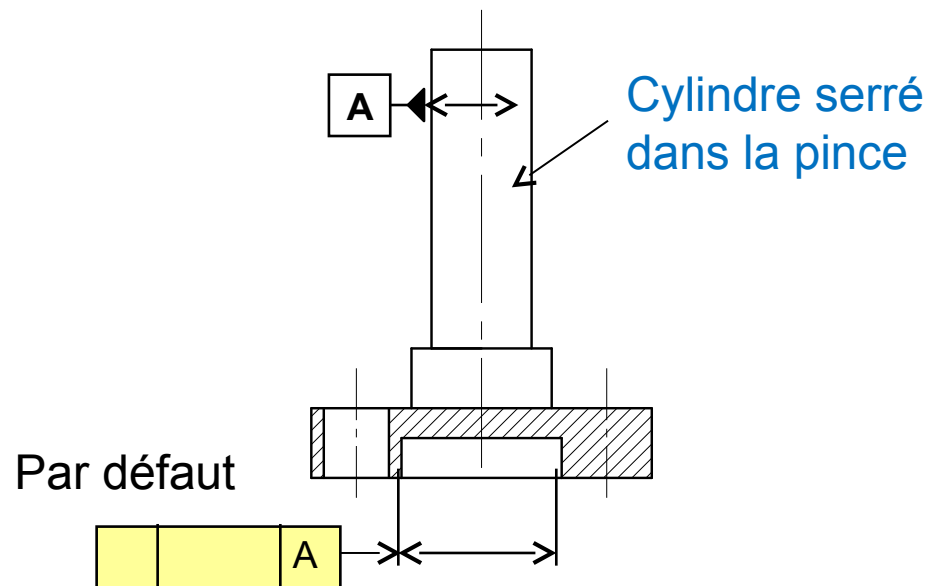
REFERENCE SUR UN CYLINDRE AVEC SERRAGE

Le support est serré dans un porte pince

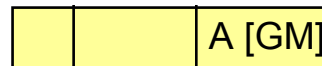
Cône porte-pince



Pince



Critère explicite des moindres carrés



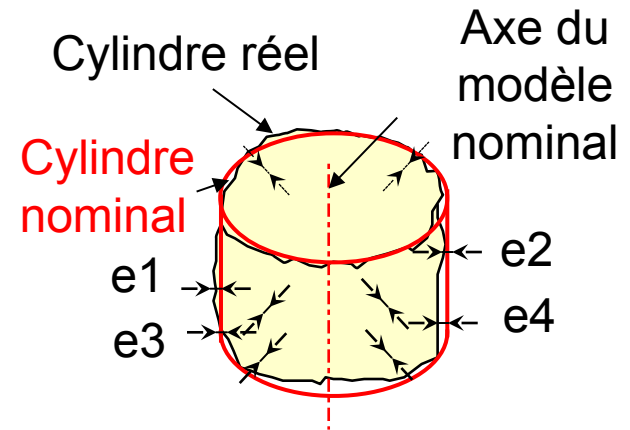
REFERENCE POUR UN CYLINDRE AVEC SERRAGE

Référence sur
un cylindre
[GM]

**Le cylindre nominal est associé par
les moindres carrés au cylindre réel**

$$S = \sum e_i^2 \text{ minimale}$$

(avec répartition uniforme des points)



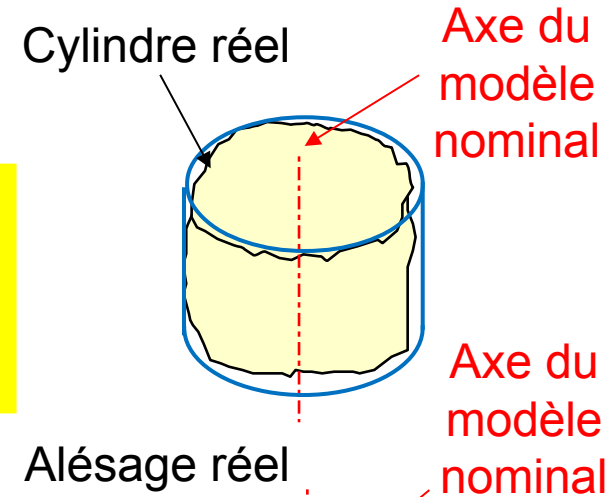
Le critère des moindres carrés [GM] correspond à l'équilibre statique des pièces dans une liaison avec serrage.

REFERENCE POUR UN CYLINDRE AVEC SERRAGE

Critères par défaut avant 2017

Référence sur
un arbre :
Circonsrit [N]

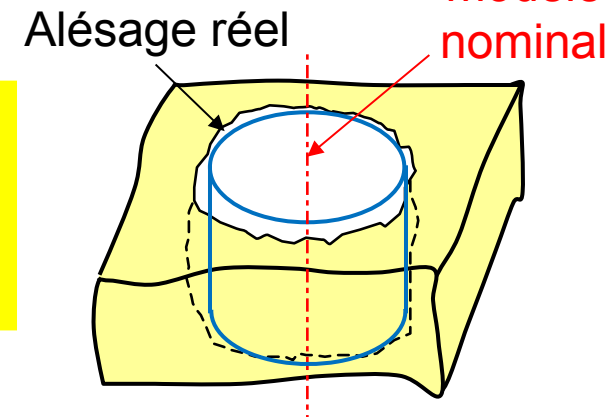
**L'axe du cylindre nominal A est
centré sur l'axe du plus petit
cylindre parfait contenant le
cylindre réel**



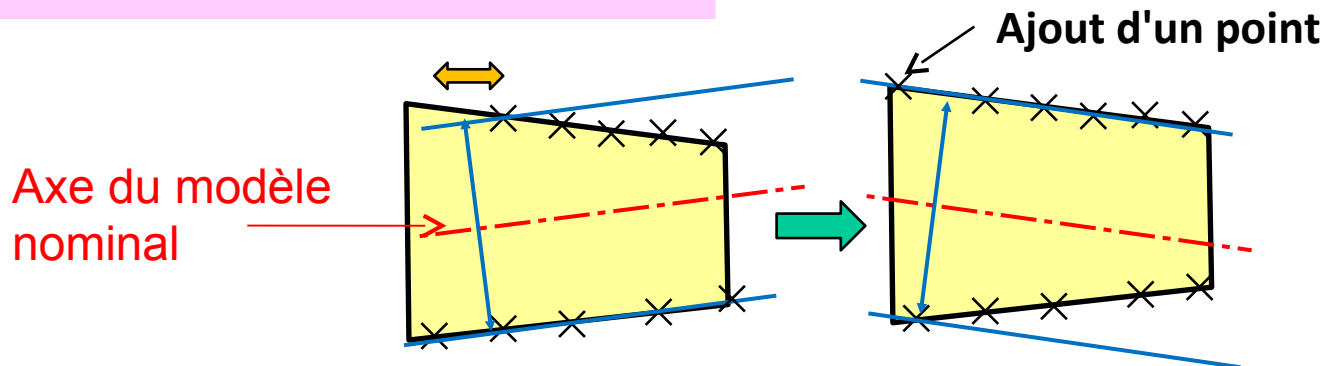
Axe du
modèle
nominal

Référence dans
un alésage :
Inscrit [X]

**L'axe du cylindre nominal A est
centré sur l'axe du plus gros
cylindre parfait contenu dans
l'alésage réel**

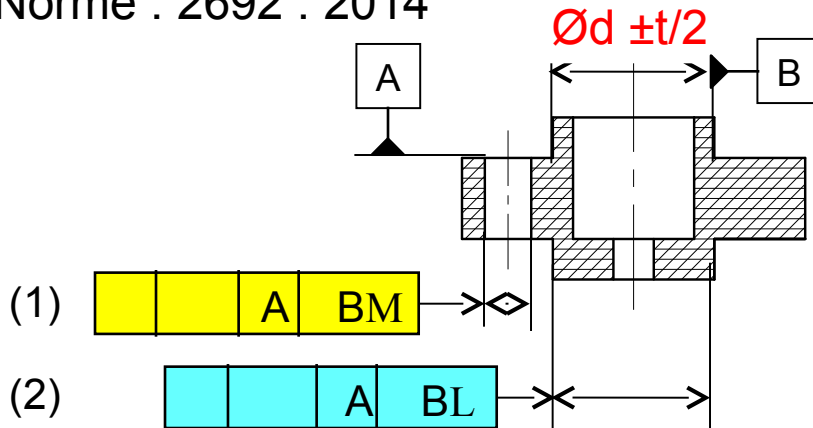


Problème : le résultat est instable

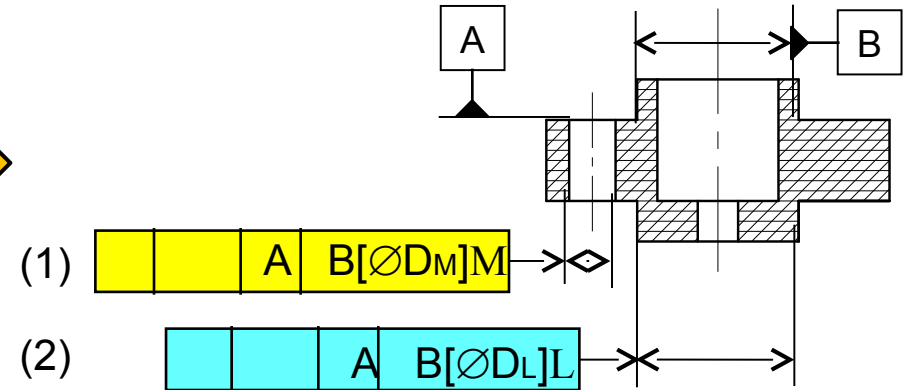


REFERENCE POUR UN ARBRE AVEC JEU

Norme : 2692 : 2014



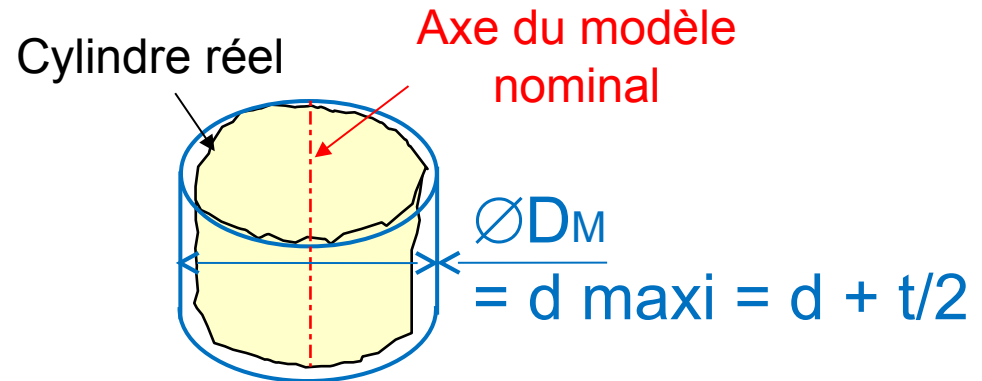
Projet de norme (2018)



(1) Le jeu sur B est **favorable** pour la montabilité des vis.

=> M Maximum de matière :

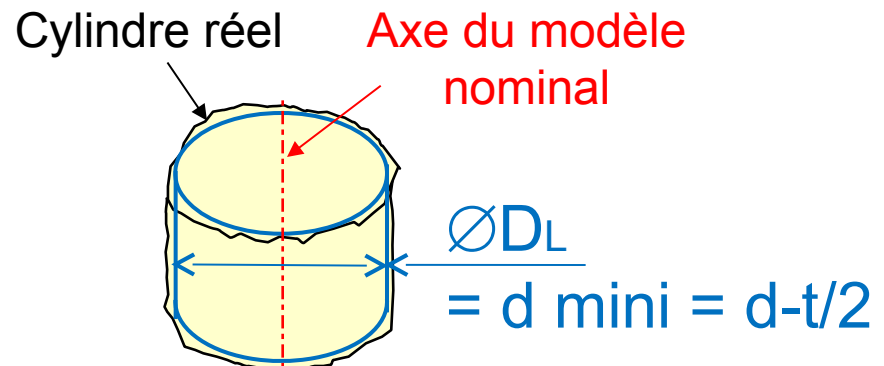
Le cylindre nominal est centré sur un cylindre de diamètre D_M qui doit être **hors** matière



(2) Le jeu sur B est **défavorable** pour la précision de l'assemblage.

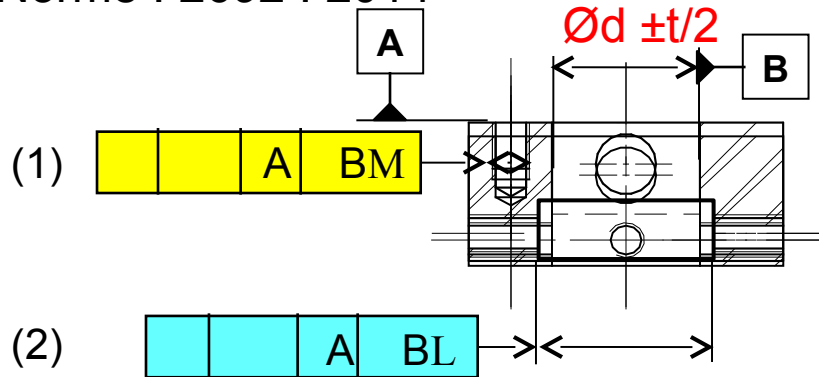
=> L Minimum de matière :

Le cylindre nominal est centré sur un cylindre de diamètre D_L qui doit être **dans** la matière

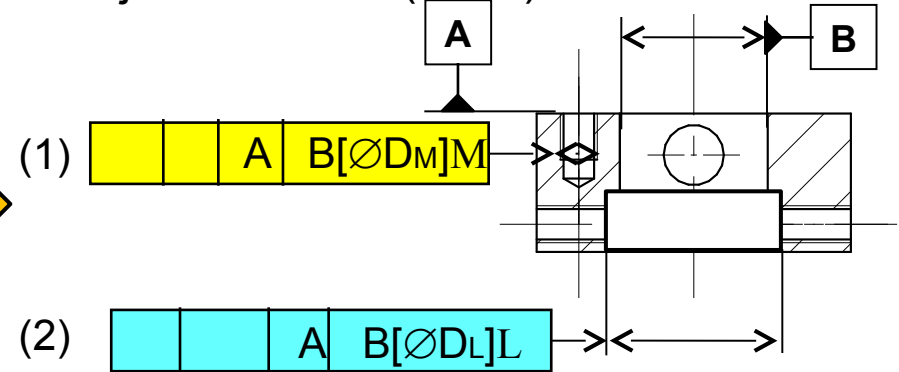


REFERENCE POUR UN ALESAGE AVEC JEU

Norme : 2692 : 2014



Projet de norme (2018)



(1) Le jeu sur B est **favorable** pour la montabilité des vis.

=> M Maximum de matière :

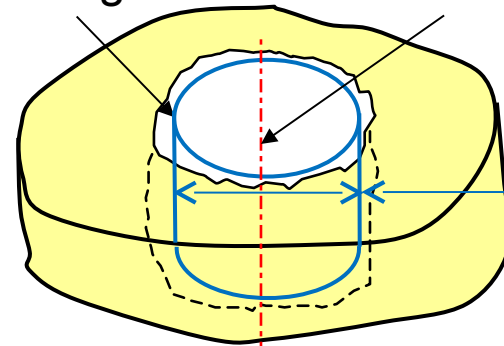
Le **cylindre nominal** est **centré** sur un cylindre de diamètre D_M qui doit être **hors** matière

(2) Le jeu sur B est **défavorable** pour la précision de l'assemblage.

=> L Minimum de matière :

Le **cylindre nominal** est **centré** sur un cylindre de diamètre D_L qui doit être **dans** la matière

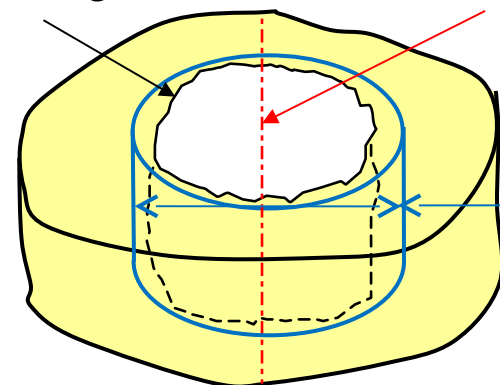
Alésage réel



Axe du modèle nominal

$$= d_{\text{mini}} = d - t/2$$

Alésage réel



Axe du modèle nominal

$$= d_{\text{maxi}} = d + t/2$$

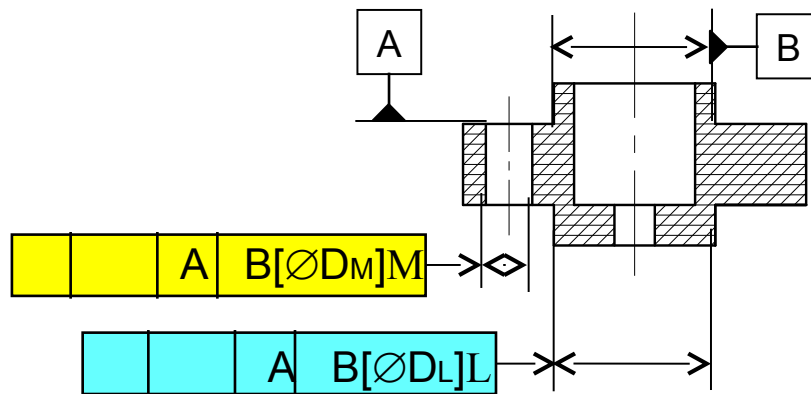
DIMENSION DE LA FRONTIERE POUR UNE REFERENCE

Règles de base

	Maximum de matière M	Minimum de matière L
Pièce pleine (arbre)	$D_M = d \text{ maxi}$	$D_L = d \text{ mini}$
Pièce creuse (alésage)	$D_M = d \text{ mini}$	$D_L = d \text{ maxi}$

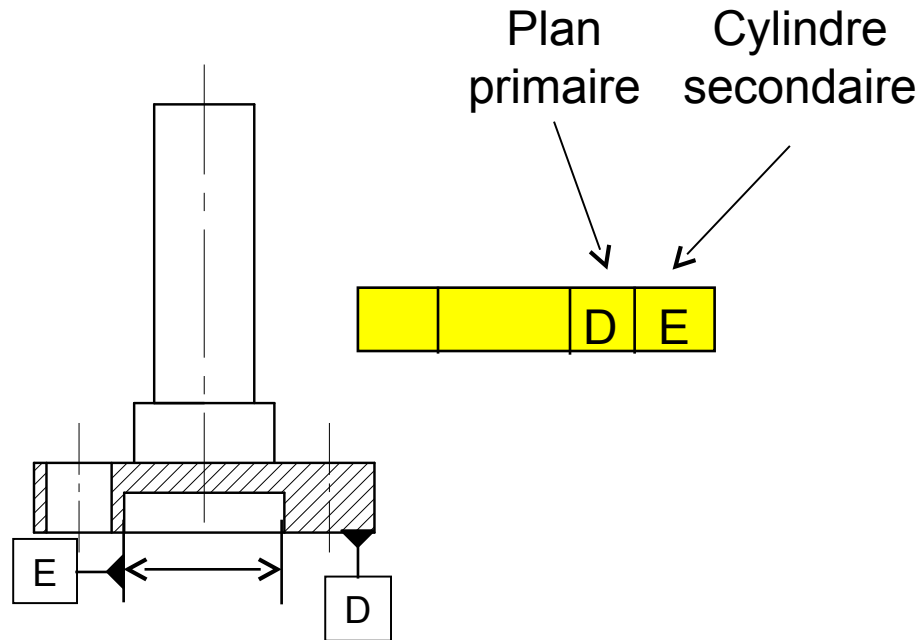
SUPPRESSION DES DIMENSIONS LOCALES

Sauf besoin particulier, avec le projet de norme, il ne sera pas nécessaire de mettre des dimensions locales sur les liaisons avec jeu.

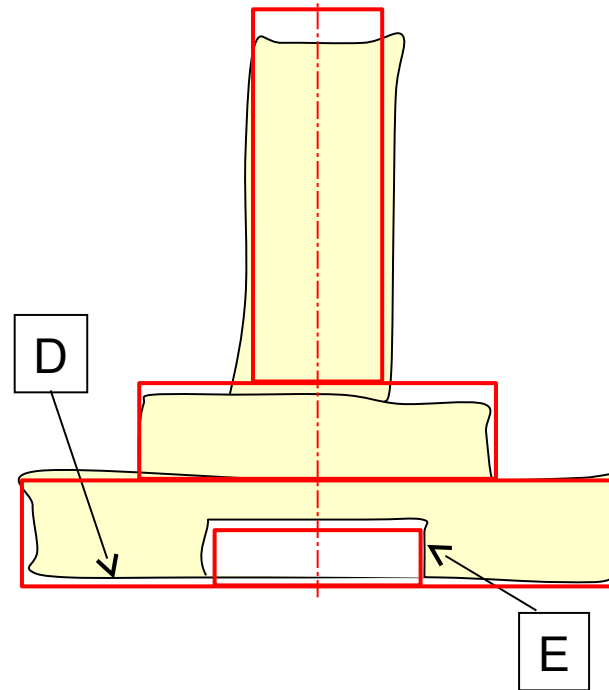


EXEMPLE : SYSTÈME DE REFERENCES PLAN | CYLINDRE

Le système de références est donné par la spécification étudiée



Le modèle nominal est associé à la pièce réelle avec D | E



Description des références

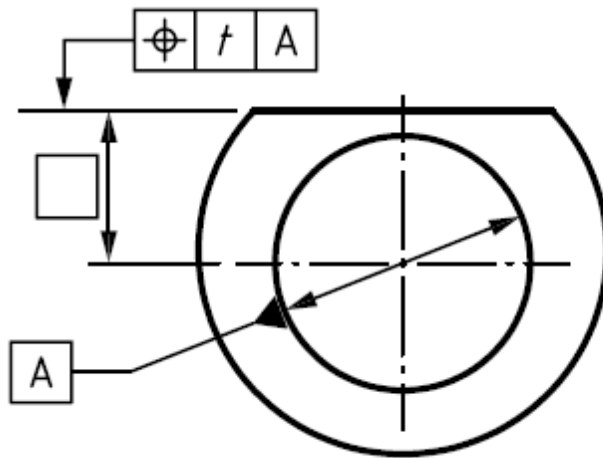
Le plan nominal primaire est associé à la surface réelle D avec le critère [GE]

Le cylindre nominal secondaire est associé à l'alésage réel E avec le critère [GM]

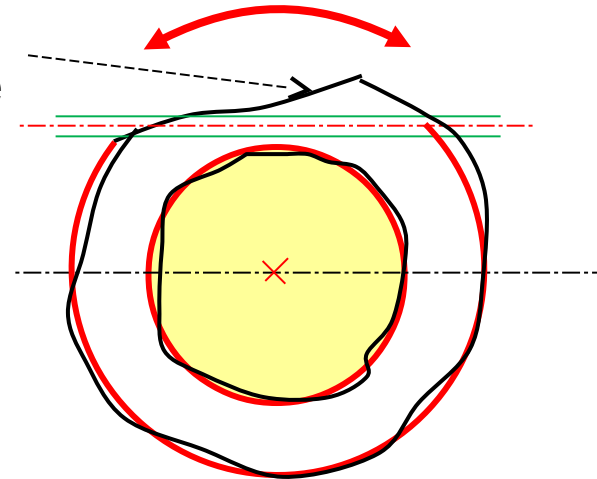
SYSTÈME DE REFERENCES INCOMPLET

Si le système de références est incomplet, les mobilités résiduelles permettent de déplacer le modèle nominal pour placer, si possible, la surface réelle spécifiée dans la zone de tolérance.

Le modèle nominal peut être orienté autour de A pour placer, si possible, la surface tolérancée dans la zone de tolérance.



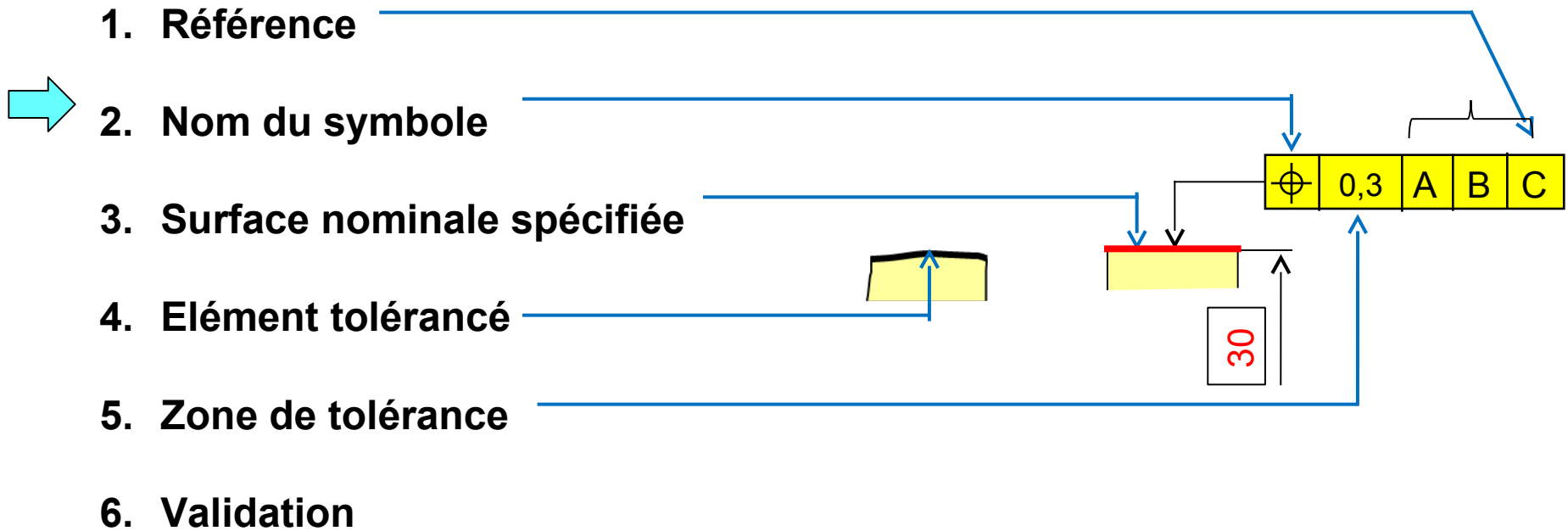
Surface
tolérancée



Remarque : pour une spécification de forme (sans référence), la position du modèle nominale est libre.

REGLE DE LECTURE DES SPECIFICATIONS

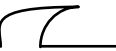
La lecture se fait selon un ordre précis :



La fiche "LECTURE DES SPECIFICATIONS ISO DE COTATION" permet de rédiger chacune des rubriques.

NOM DU SYMBOLE

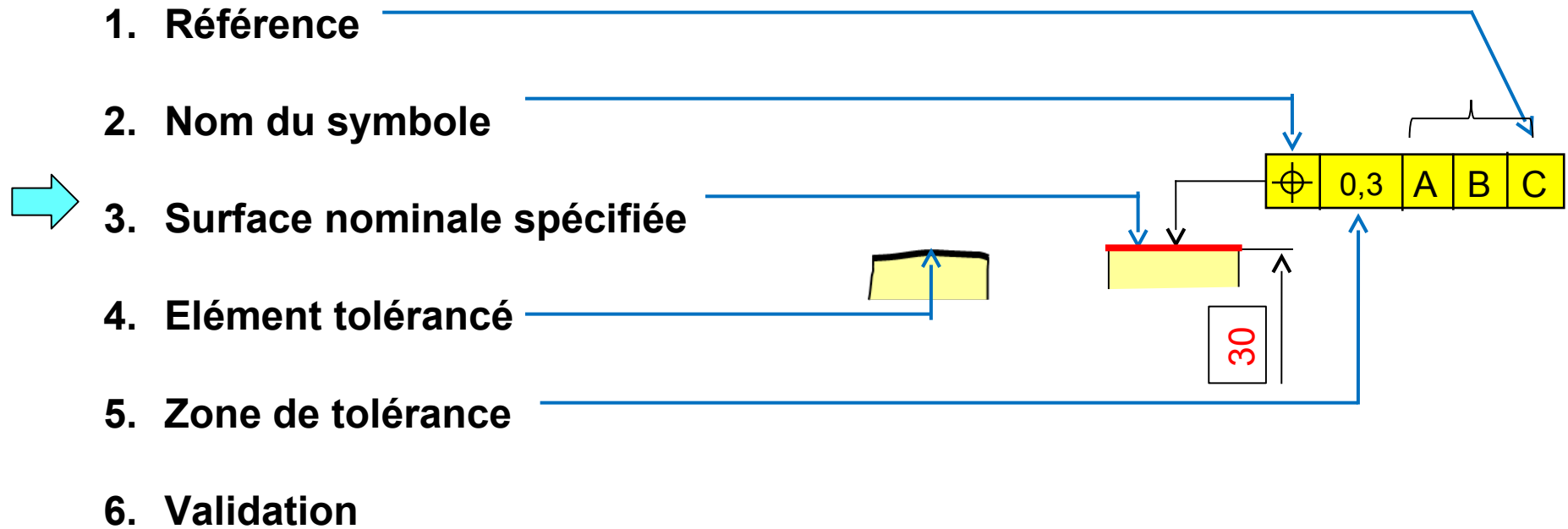
Voir la fiche de synthèse

Forme		Orientation		Position	
Désignation	Symbole	Désignation	Symbole	Désignation	Symbole
Rectitude		Parallélisme		Localisation	
Circularité		Perpendicularité		Concentricité	
Planéité		Inclinaison		Coaxialité	
Cylindricité				Symétrie	
Forme d'une ligne quelconque		Orientation d'une ligne quelconque		Position d'une ligne quelconque	
Forme d'une surface quelconque		Orientation d'une surface quelconque		Position d'une surface quelconque	
Battement		Battement circulaire		Battement total	

Les définitions vont être détaillées sur des exemples en cours et en TD.

REGLE DE LECTURE DES SPECIFICATIONS

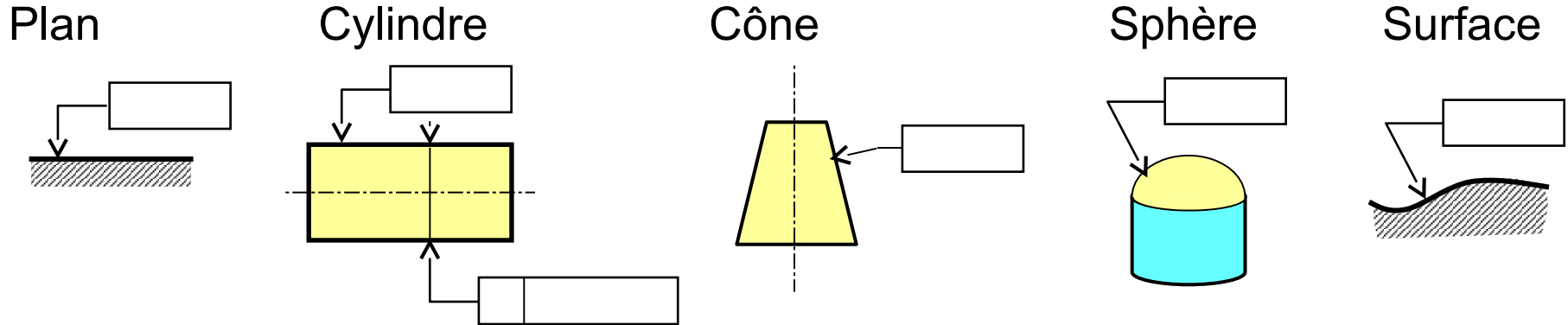
La lecture se fait selon un ordre précis :



La fiche "LECTURE DES SPECIFICATIONS ISO DE COTATION" permet de rédiger chacune des rubriques.

DESCRIPTION DE LA SURFACE NOMINALE

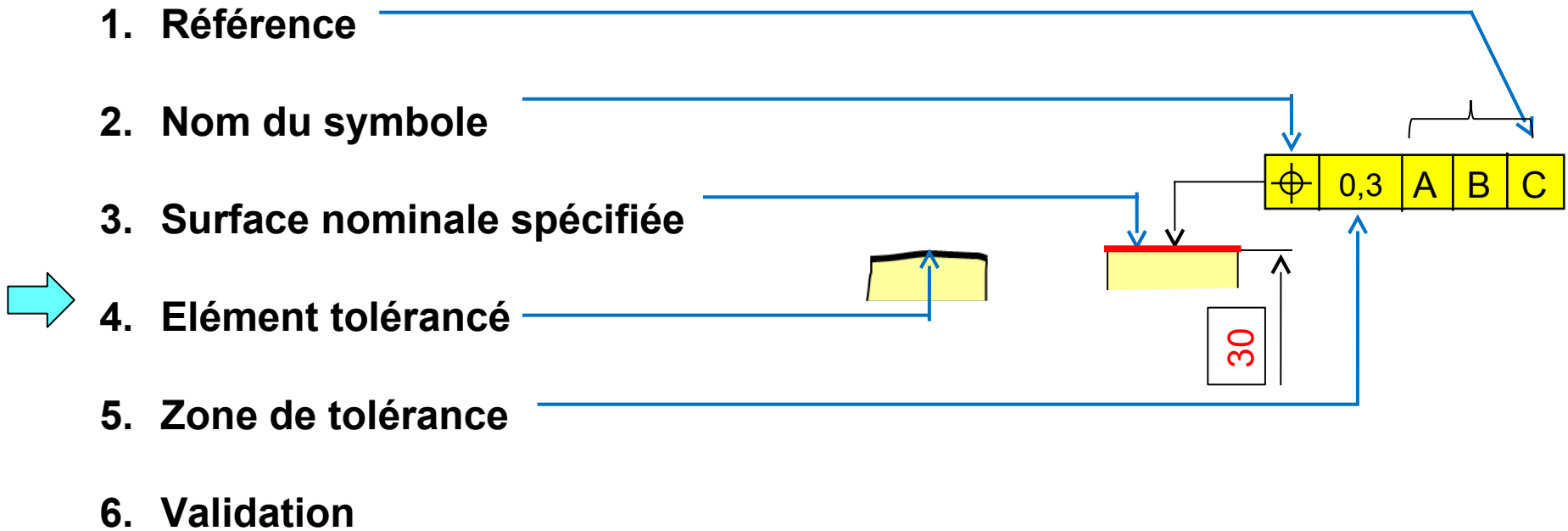
Donner la nature de la surface (plan, cylindre, cône, sphère, surface.....), son nom (A, B, ..) ou un petit texte pour l'identifier (plan supérieur, face d'appui du carter...)



Les cônes, les portions de cylindres et de sphères sont considérées comme des surfaces quelconques.

REGLE DE LECTURE DES SPECIFICATIONS

La lecture se fait selon un ordre précis :



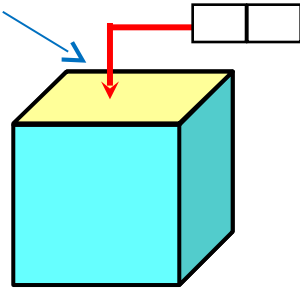
La fiche "LECTURE DES SPECIFICATIONS ISO DE COTATION" permet de rédiger chacune des rubriques.

ELEMENT TOLERANCÉ

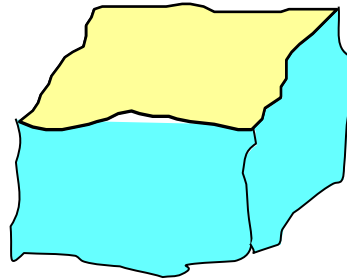
La surface spécifiée est la surface mesurée (surface réelle)
L'élément tolérancé doit être dans la zone de tolérance

Plan

La flèche porte
sur le plan
supérieur



L'élément tolérancé est la surface réelle

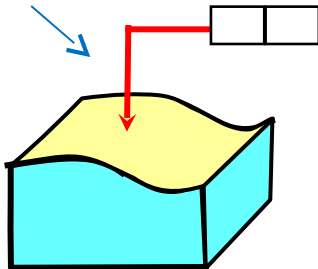


Exemple

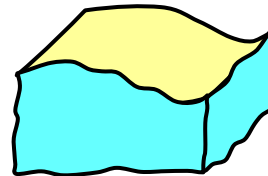
 **Planéité**

Cône, sphère, surface quelconque

La flèche porte sur la
surface



L'élément tolérancé est la surface réelle



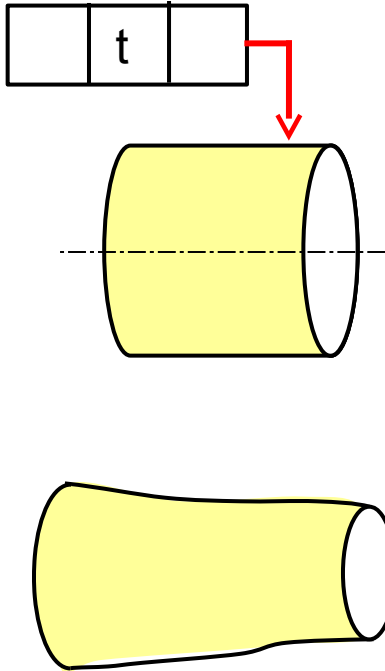
Exemple

 **Forme de la
surface quelconque**

ELEMENT TOLERANCÉ SUR UN CYLINDRE

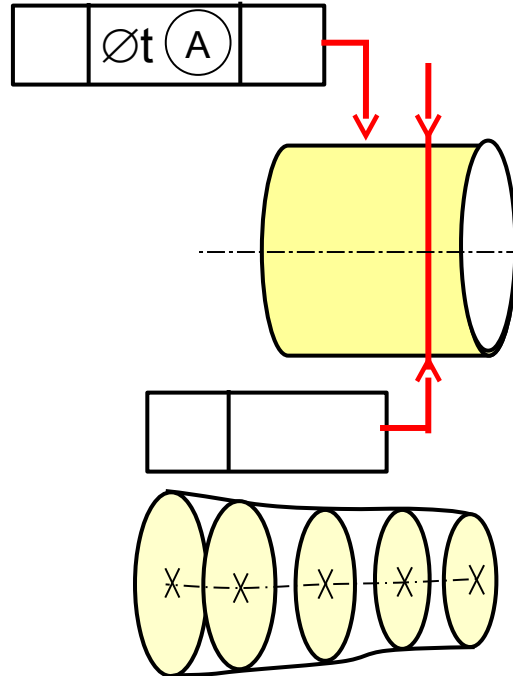
3 possibilités !

1) L'élément tolérancé est la surface du cylindre



L'élément tolérancé est l'ensemble des points de la surface

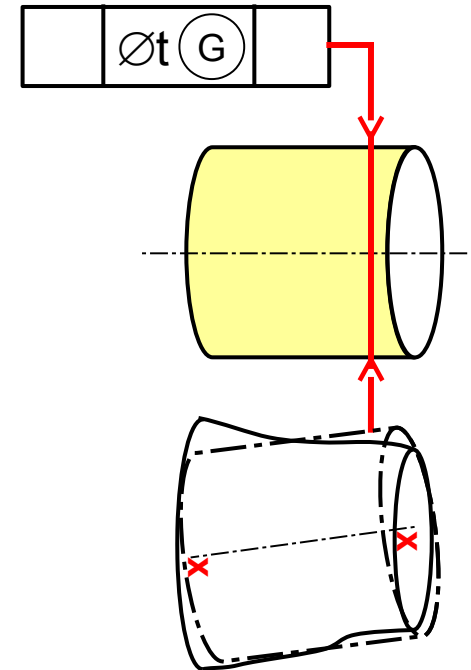
2) L'élément tolérancé est l'axe réel du cylindre



L'axe réel du cylindre est le lieu des centres des sections.

Le centre d'une section est le centre du cercle des moindres carrés.

3) L'élément tolérancé est l'axe de la surface nominale associée par les moindres carrés.



L'axe est limité à l'étendue de la surface nominale.

REGLE DE LECTURE DES SPECIFICATIONS

La lecture se fait selon un ordre précis :

1. Référence

2. Nom du symbole

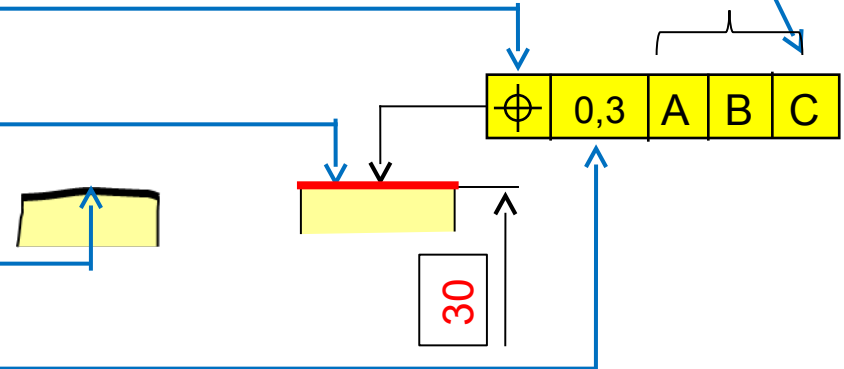
3. Surface nominale spécifiée

4. Élément tolérancé



5. Zone de tolérance

6. Validation



La fiche "LECTURE DES SPECIFICATIONS ISO DE COTATION" permet de rédiger chacune des rubriques.

ZONE DE TOLERANCE DE POSITION

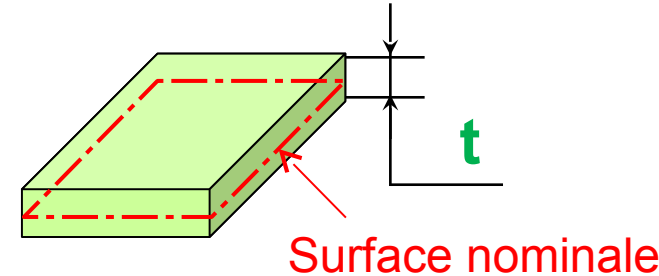
La zone de tolérance est définie par l'ensemble des points dont la distance à la surface nominale est inférieure à la moitié de la tolérance

Sans $\emptyset$



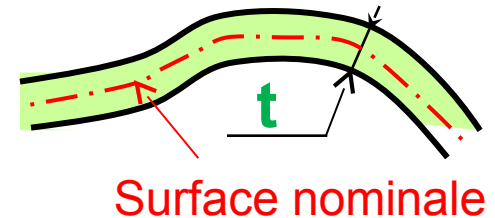
Élément tolérancé Plan

Zone de tolérance comprise en deux plans distants de t , centrée sur la surface nominale



Élément tolérancé Surface

Zone de tolérance comprise en deux surfaces offset de la surface nominale avec un offset de $+t/2$ et $-t/2$.

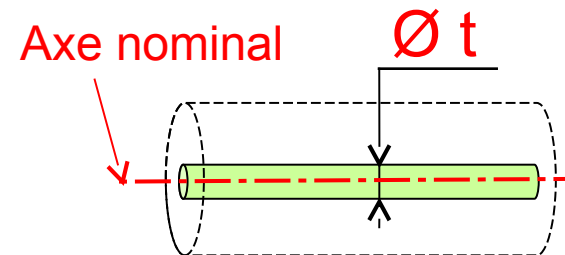


Avec $\emptyset$



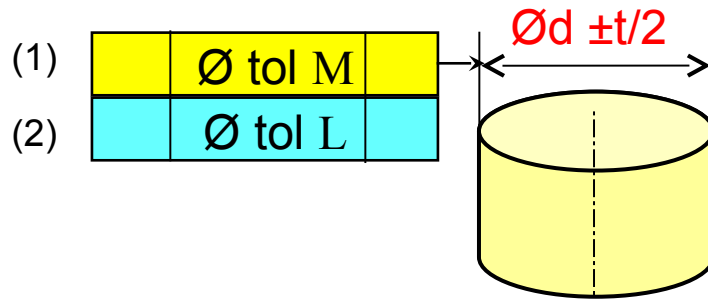
Élément tolérancé linéique

Zone de tolérance cylindrique $\emptyset t$ centrée sur l'axe nominal

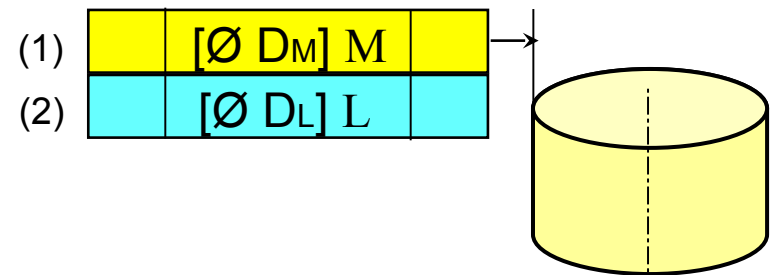


SPECIFICATION POUR UN ARBRE

Norme 2692:2014



Projet de norme



(1) Le jeu sur le cylindre est **favorable** pour la fonction.

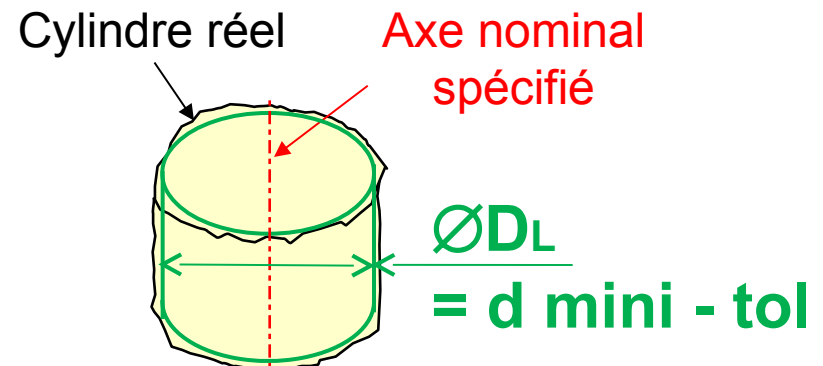
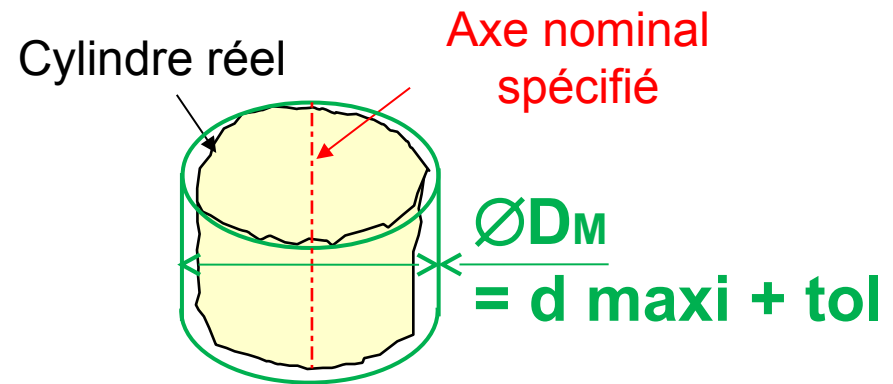
=> M Maximum de matière :

La zone de tolérance est à l'**intérieur** d'un cylindre $\varnothing D_M$, centré sur l'axe nominal spécifié

(2) Le jeu sur le cylindre est **défavorable** pour la fonction

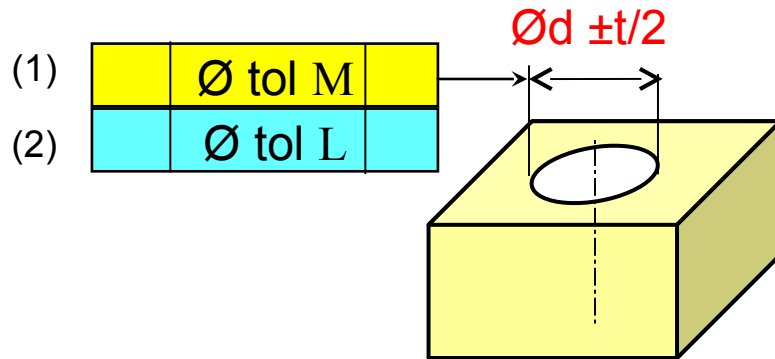
=> L Minimum de matière :

La zone de tolérance est à l'**extérieur** d'un cylindre $\varnothing D_L$, centré sur l'axe nominal spécifié

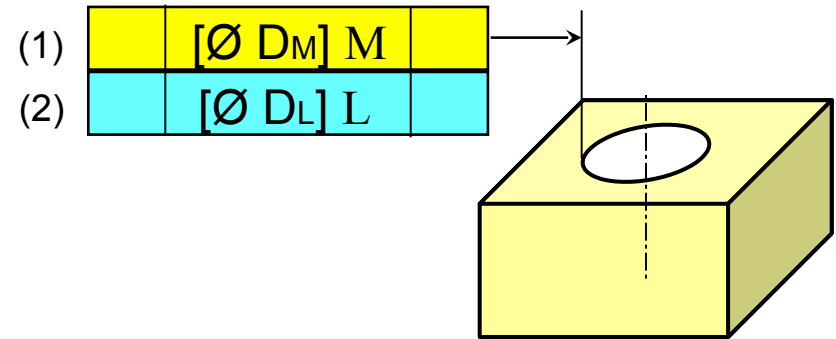


SPECIFICATION POUR UN ALESAGE

Norme 2692:2014



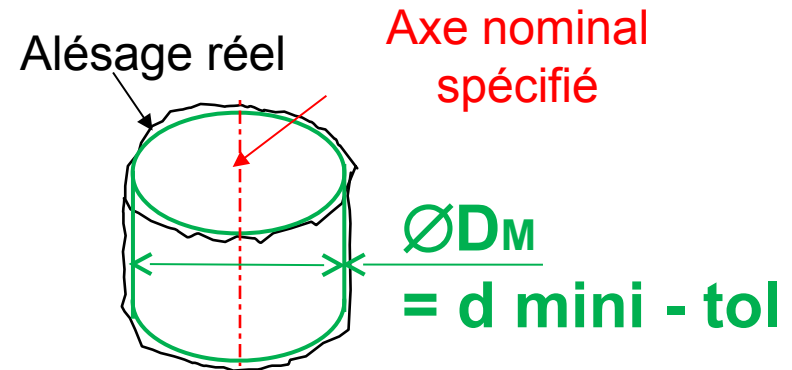
Projet de norme



(1) Le jeu sur le cylindre est **favorable** pour la fonction.

=> M Maximum de matière :

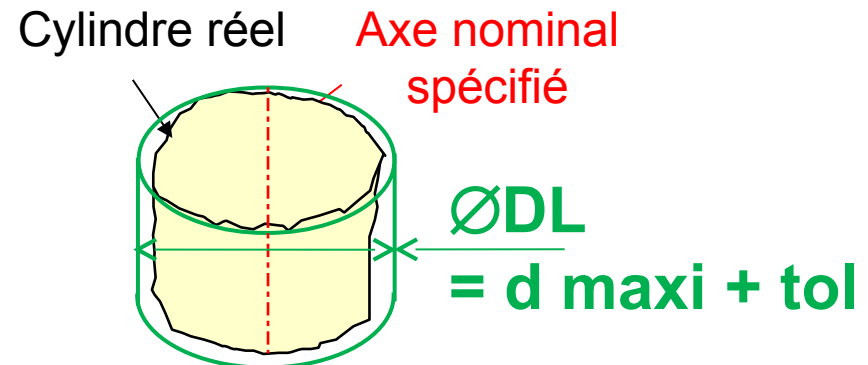
La zone de tolérance est à l'**extérieur** d'un cylindre $\varnothing D_M$, centré sur l'axe nominal spécifié



(2) Le jeu sur le cylindre est **défavorable** pour la fonction

=> L Minimum de matière :

La zone de tolérance est à l'**intérieur** d'un cylindre $\varnothing D_L$, centré sur l'axe nominal spécifié



DIMENSION DE LA FRONTIERE POUR UN SURFACE TOLERANCEE

Recommandation : tol = 0 pour augmenter la tolérance sur la dimension

Règles de base

	Maximum de matière M	Minimum de matière L
Pièce pleine (arbre)	$D_M = d_{\text{maxi}} + \text{tol}$	$D_L = d_{\text{mini}} - \text{tol}$
Pièce creuse (alésage)	$D_M = d_{\text{mini}} - \text{tol}$	$D_L = d_{\text{maxi}} + \text{tol}$

Sauf besoin particulier, avec le projet de norme, il ne sera pas nécessaire de mettre des dimensions locales sur les liaisons avec jeu.

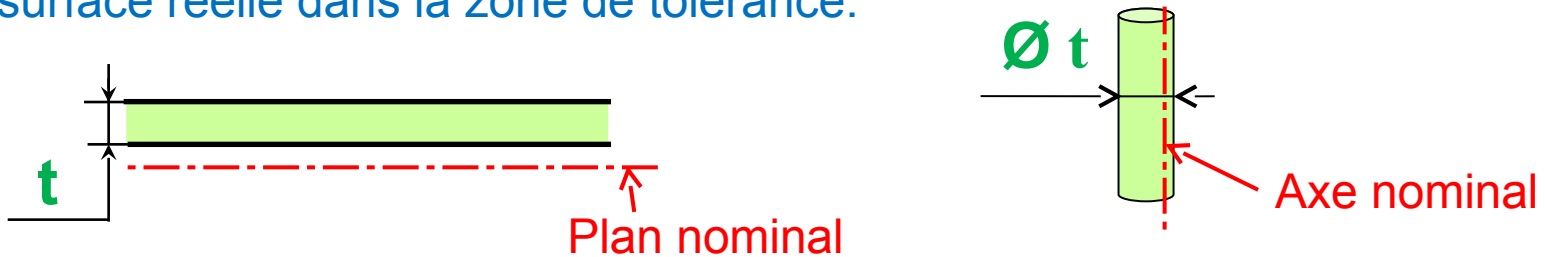
ZONE DE TOLERANCE DE POSITION, ORIENTATION, FORME

Spécification de position : la zone de tolérance est centrée sur le nominal



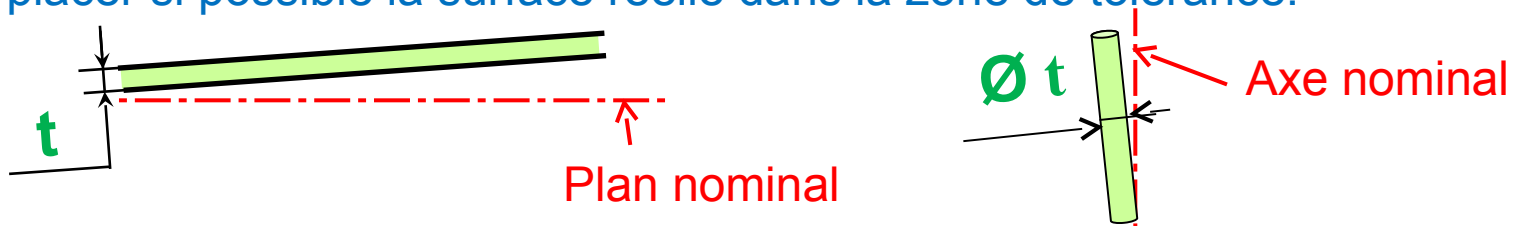
Spécification d'orientation : la zone de tolérance est parallèle au nominal

La zone est construite sur le nominal, puis translatée pour placer si possible la surface réelle dans la zone de tolérance.



Spécification de forme : la zone de tolérance est libre (pas de référence)

La zone est construite sur le nominal, puis déplacée avec les 6 ddl pour placer si possible la surface réelle dans la zone de tolérance.



REGLE DE LECTURE DES SPECIFICATIONS

La lecture se fait selon un ordre précis :

1. Référence

2. Nom du symbole

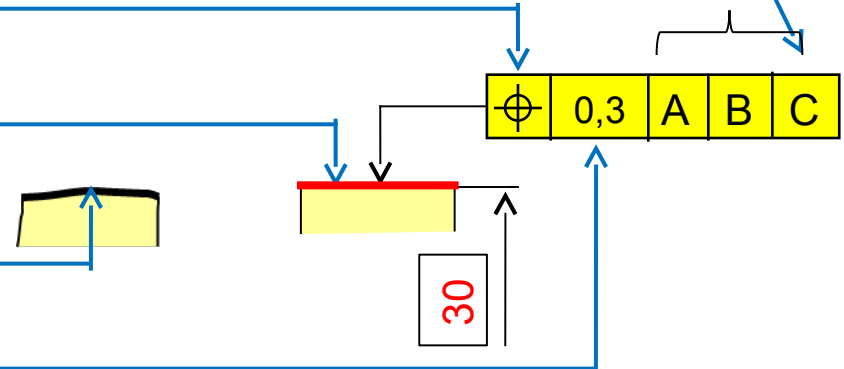
3. Surface nominale spécifiée

4. Élément tolérancé

5. Zone de tolérance



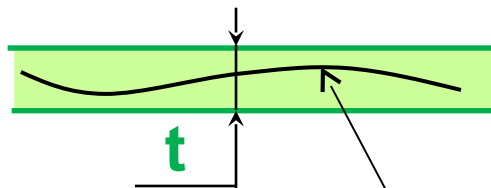
6. Validation



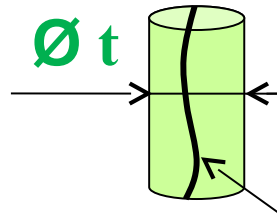
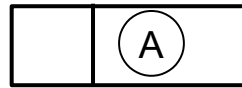
La fiche "LECTURE DES SPECIFICATIONS ISO DE COTATION" permet de rédiger chacune des rubriques.

VALIDATION DE LA SPECIFICATION

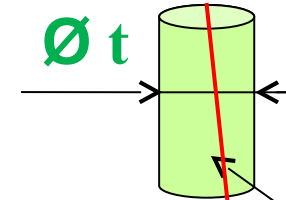
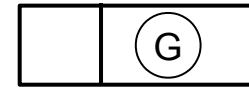
La spécification est vérifiée si l'élément tolérancié est contenu dans la zone de tolérance.



Surface réelle



Axe réel

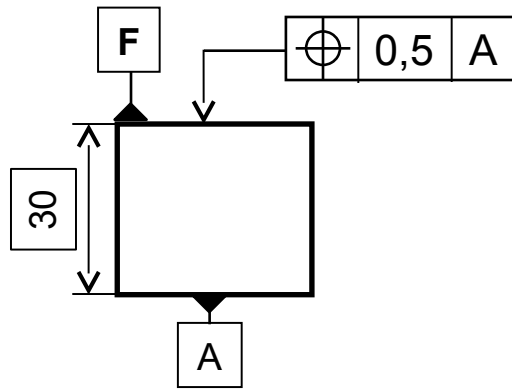


Axe associé

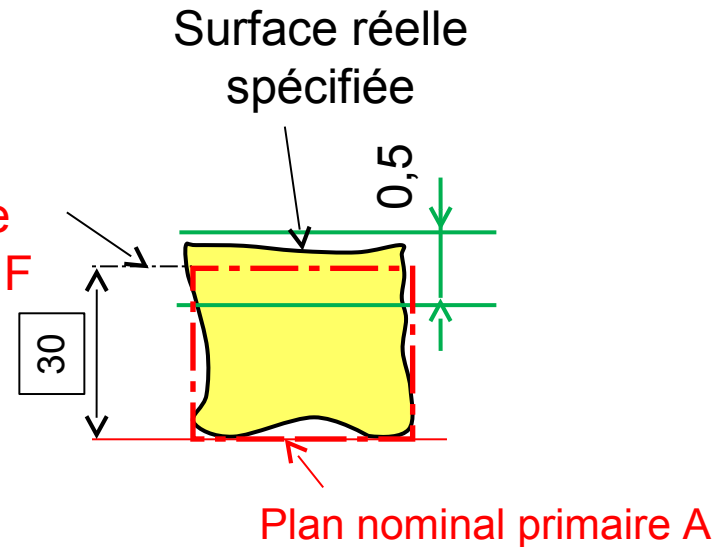
PLAN DU COURS

1. Objectifs et principe
2. Lecture du tolérancement dimensionnel
3. Tolérancement par zone de tolérance
4. Association d'une surface nominale à une surface réelle
5. Principe de lecture des spécifications géométriques
-  6. Définition détaillée des principales spécifications
7. Applications

LOCALISATION D'UN PLAN



Surface
nominale
Spécifiée F



Références :

Primaire : Plan A, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Nom du symbole : Localisation

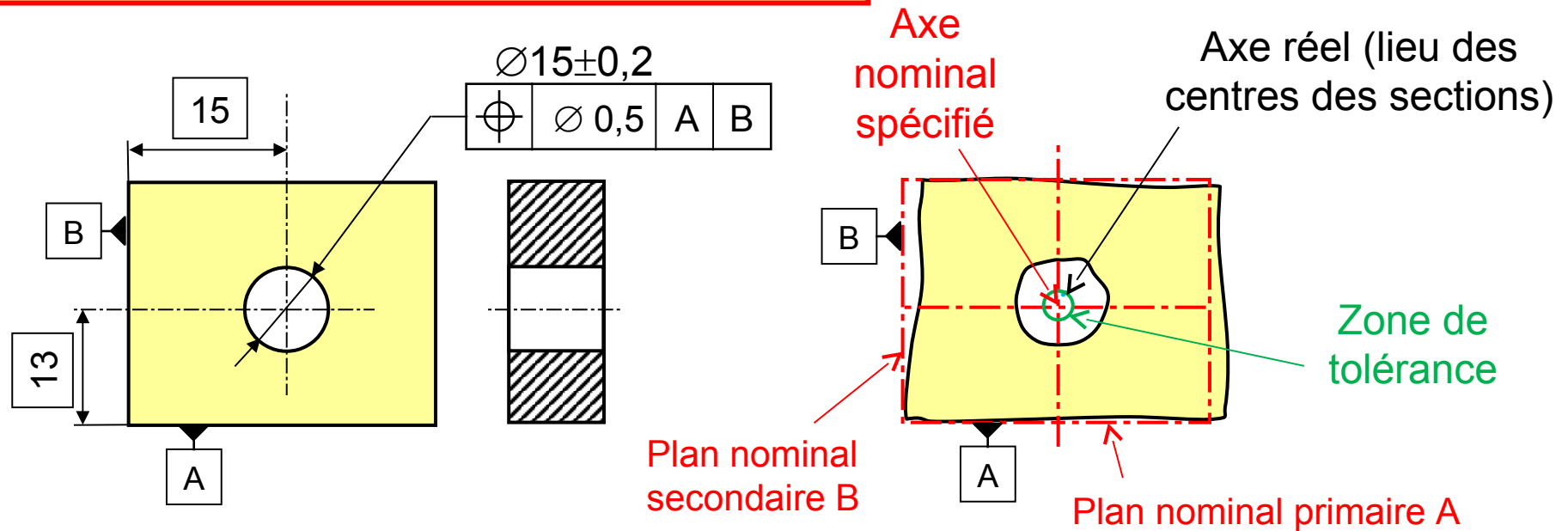
Surface nominale spécifiée : Plan F

Élément tolérancé : Tous les points de la surface

Zone de tolérance : Zone comprise entre 2 plans distants de 0,5, centrée sur la surface nominale

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

LOCALISATION D'UN CYLINDRE



Références :

Primaire : Plan A, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Secondaire : Plan B, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Nom du symbole : Localisation

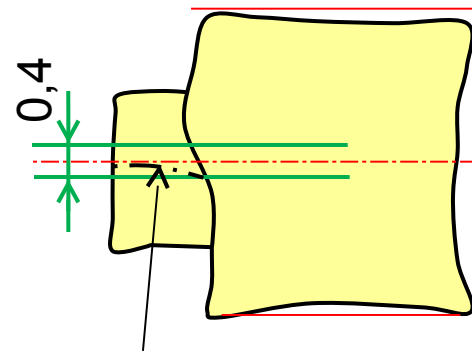
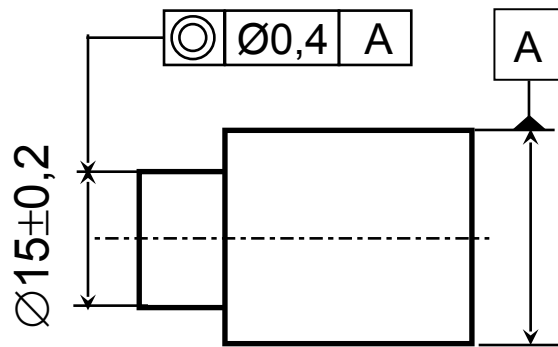
Surface nominale spécifiée : Cylindre $\varnothing 15$

Élément tolérancé : Axe réel (lieu des centres des sections)

Zone de tolérance : Zone cylindrique $\varnothing 0,5$, centrée sur l'axe nominal

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

COAXIALITE



Axe nominal spécifié =
Axe du cylindre primaire A

Axe réel (lieu des centres des sections)

Références :

Primaire : Cylindre A, critère [GM] moindres carrés moyen

Nom du symbole : Coaxialité

Surface nominale spécifiée : Cylindre $\varnothing 15$

Élément tolérancé : Axe réel (lieu des centres des sections)

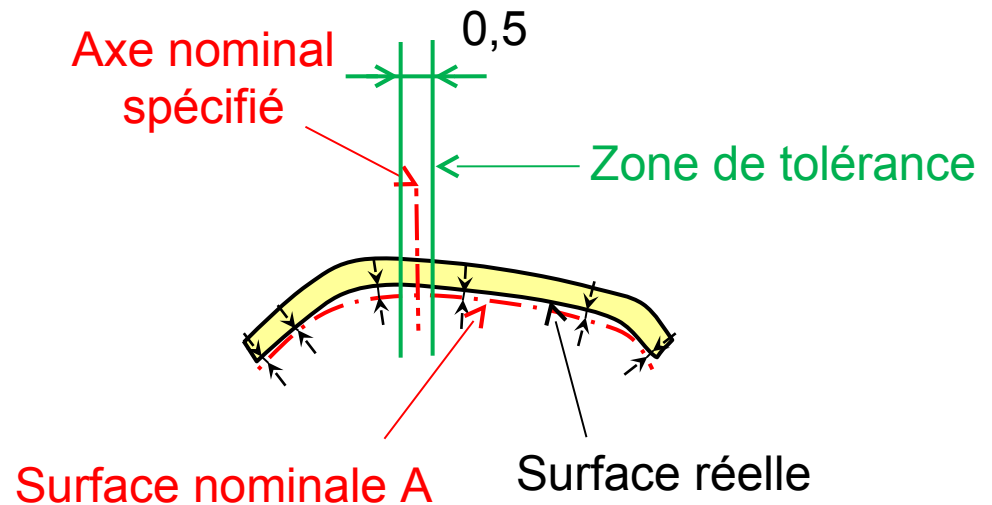
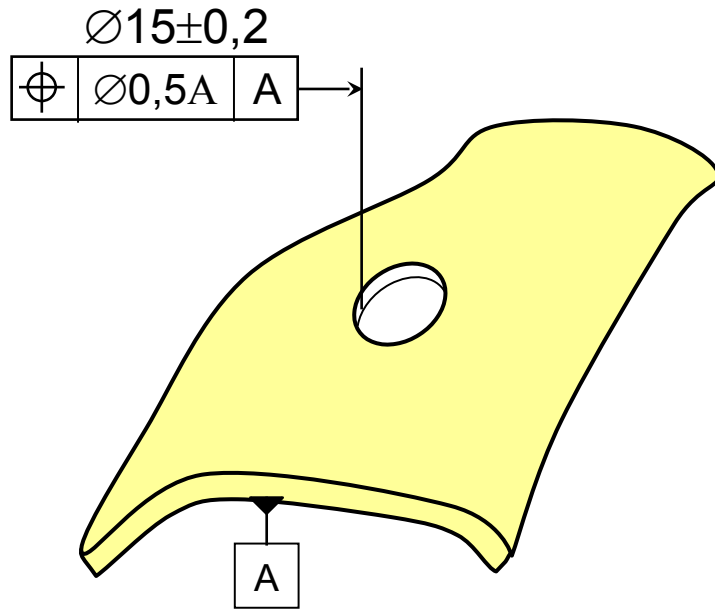
Zone de tolérance : Zone cylindrique $\varnothing 0,4$, centrée sur l'axe nominal

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

Remarque : Une coaxialité peut être employée lorsque le système de références est de révolution et que la surface spécifiée est coaxiale à cet axe de référence.

SURFACE EXTERIEURE DES MOINDRES CARRES [GE]

Moindres carrés extérieur matière [GE] (Gauss constraint extérieur matière)



Références :

Primaire : Surface nominale A, critère [GE] extérieur matière des moindres carrés

Nom du symbole : Localisation

Surface nominale spécifiée : Cylindre $\varnothing 15$

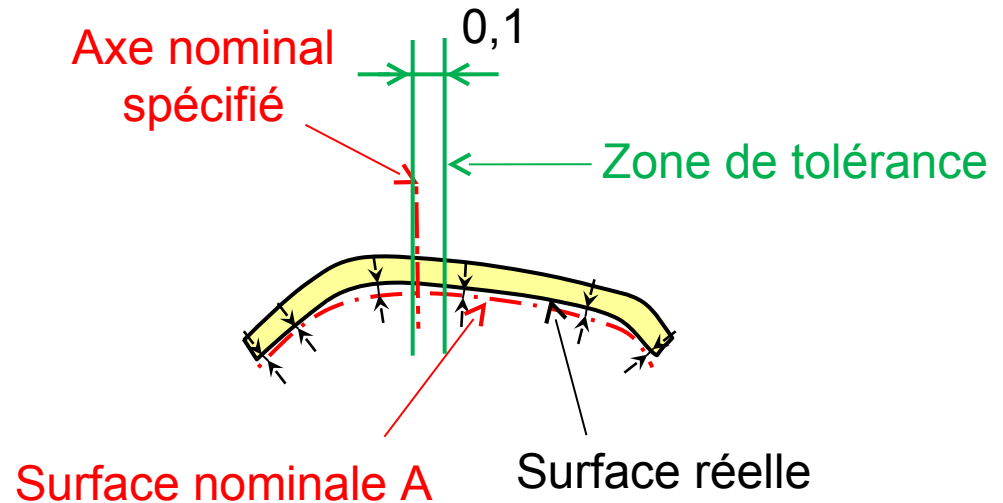
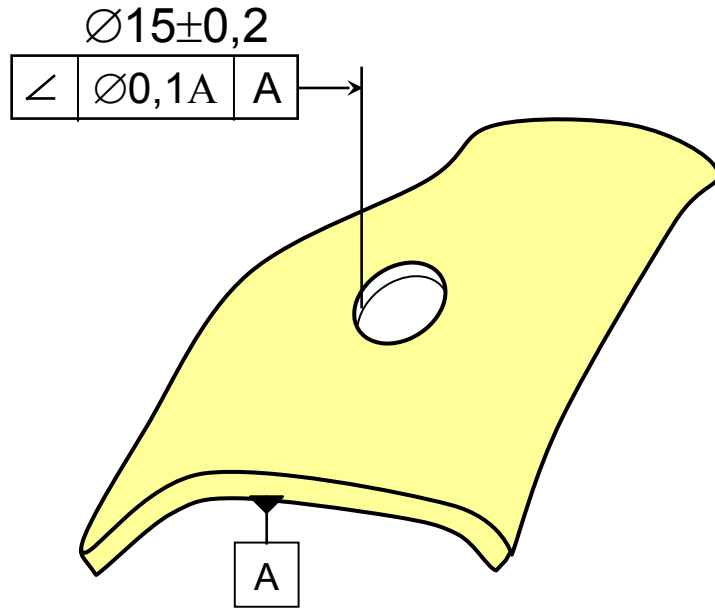
Élément tolérancé : Axe réel (lieu des centres des sections)

Zone de tolérance : Zone cylindrique $\varnothing 0,5$, centrée sur l'axe nominal

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

SURFACE EXTERIEURE DES MOINDRES CARRES [GE]

Moindres carrés extérieur matière [GE] (Gauss constraint extérieur matière)



Références :

Primaire : Surface nominale A, critère [GE] extérieur matière des moindres carrés

Nom du symbole : Inclinaison

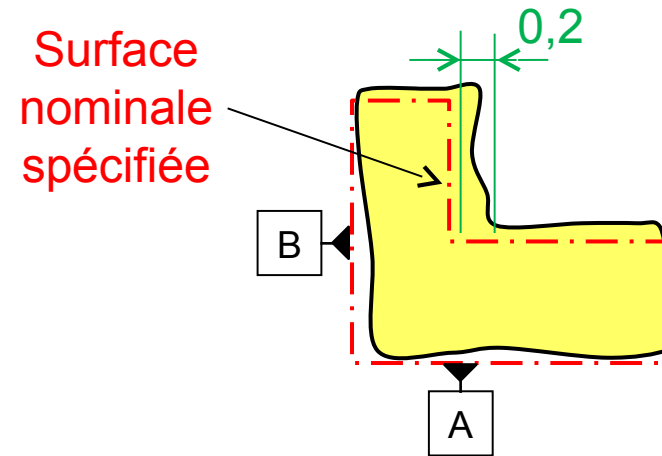
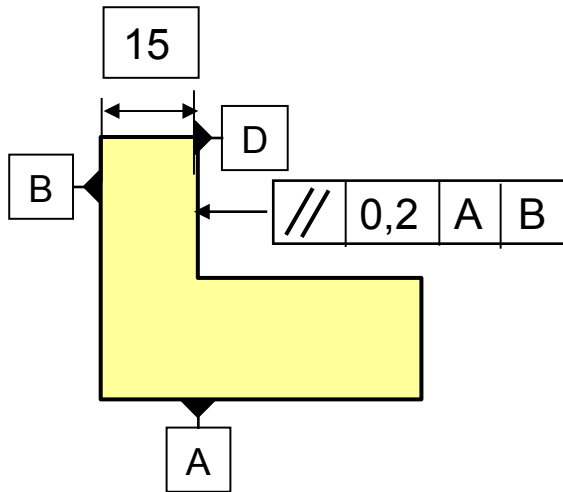
Surface nominale spécifiée : Cylindre $\varnothing 15$

Élément tolérancé : Axe réel (lieu des centres des sections)

Zone de tolérance : Zone cylindrique $\varnothing 0,1$, parallèle à l'axe nominal

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

PARALLELISME DANS UN SYSTÈME DE REFERENCES



Références :

Primaire : Plan A, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Secondaire : Plan B, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Nom du symbole : Parallélisme

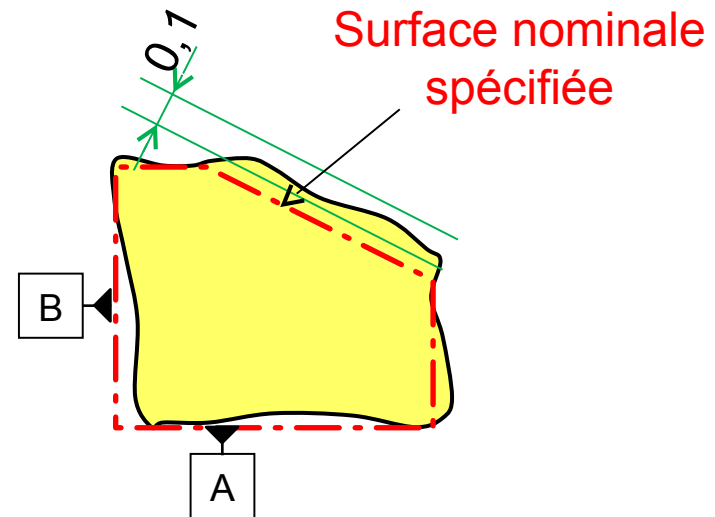
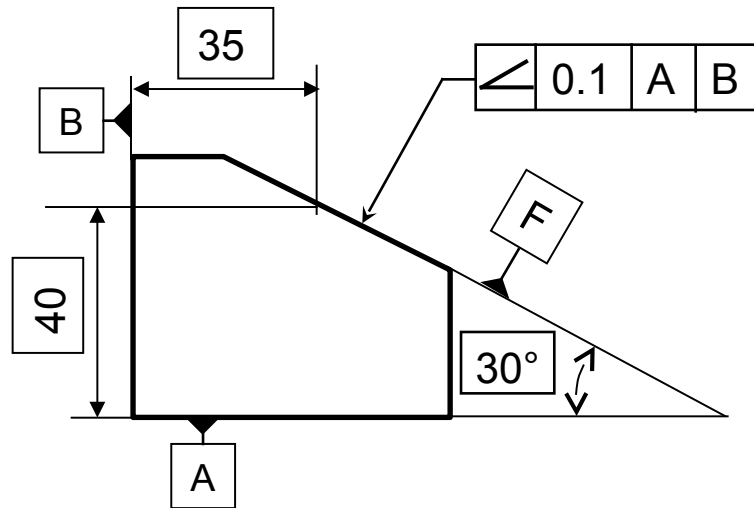
Surface nominale spécifiée : Plan D

Élément tolérancé : Tous les points de la surface

Zone de tolérance : Zone comprise entre 2 plans distants de 0,2, parallèle à la surface nominale

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

INCLINAISON D'UN PLAN



Références :

Primaire : Plan A, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Secondaire : Plan B, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Nom du symbole : Inclinaison

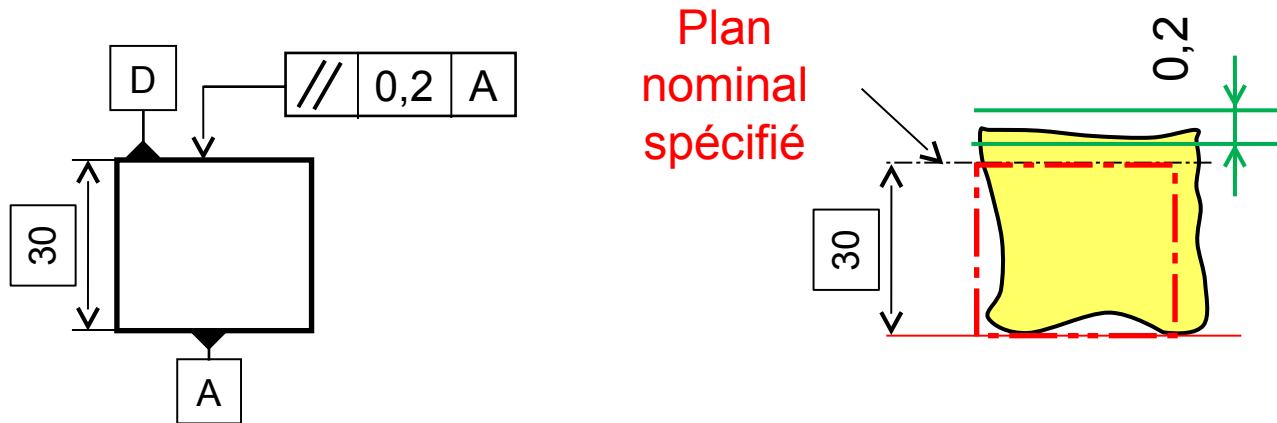
Surface nominale spécifiée : Plan F

Élément tolérancé : Tous les points de la surface

Zone de tolérance : Zone comprise entre 2 plans distants de 0,1, parallèle à la surface nominale spécifiée

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

PARALLÉLISME D'UN PLAN



Références :

Primaire : Plan A, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Nom du symbole : Parallélisme

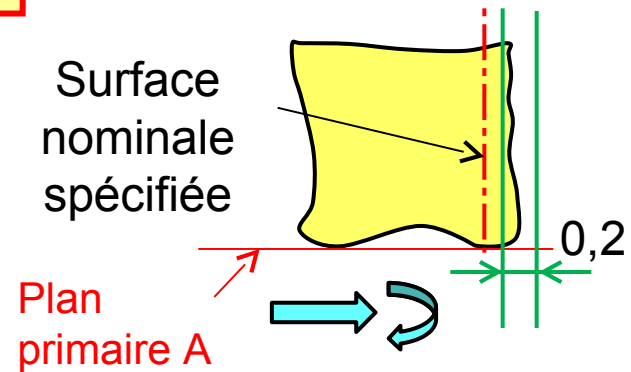
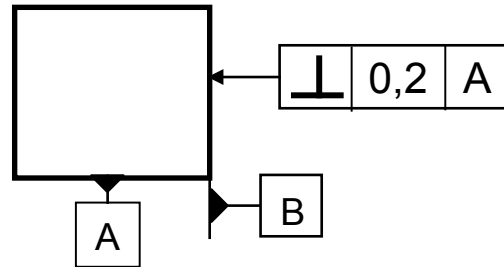
Surface nominale spécifiée : Plan D

Élément tolérancé : Tous les points de la surface

Zone de tolérance : Zone comprise entre 2 plans distants de 0,2, parallèle à la surface nominale spécifiée

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

PERPENDICULARITE D'UN PLAN



Références :

Primaire : Plan A, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Nom du symbole : Perpendicularité

Surface nominale spécifiée : Plan B

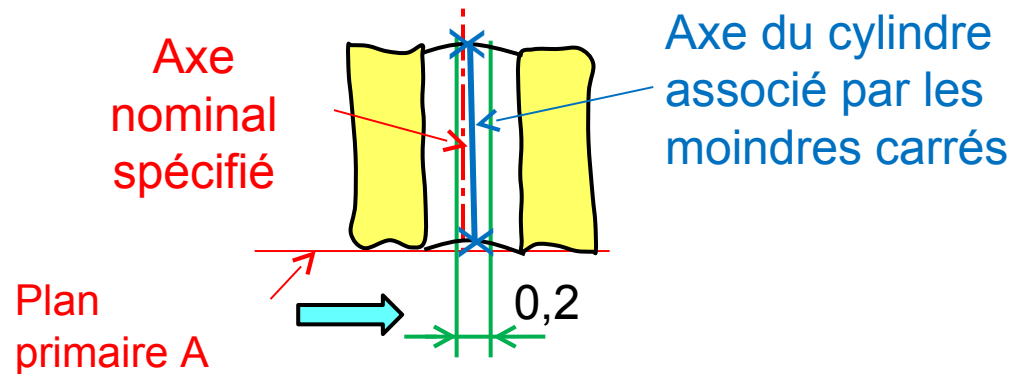
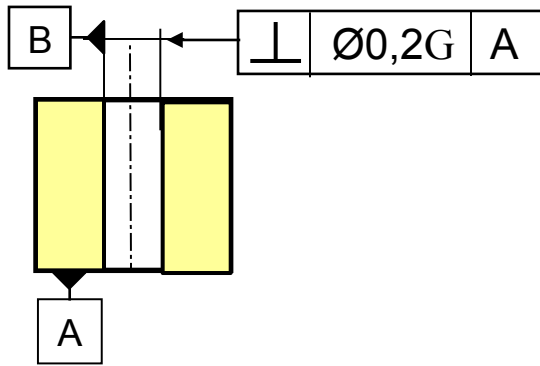
Élément tolérancé : Tous les points de la surface

Zone de tolérance : Zone comprise entre 2 plans distants de 0,2, parallèle à la surface nominale spécifiée

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

Remarque : le modèle nominal peut glisser librement sur le plan primaire A. Le plan nominal B est donc mobile. La perpendicularité ajoute une translation de la zone de tolérance dans la direction perpendiculaire à B pour placer si possible la surface réelle B dans la zone de tolérance. (Cette mobilité est redondante dans ce cas).

PERPENDICULARITE D'UN CYLINDRE



Références :

Primaire : Plan A, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Nom du symbole : Perpendicularité

Surface nominale spécifiée : Cylindre B

Élément tolérancé : Axe du cylindre nominal associé par les moindres carrés limité à l'étendue de l'alésage

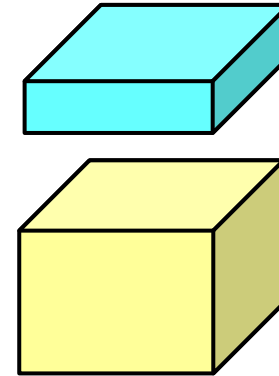
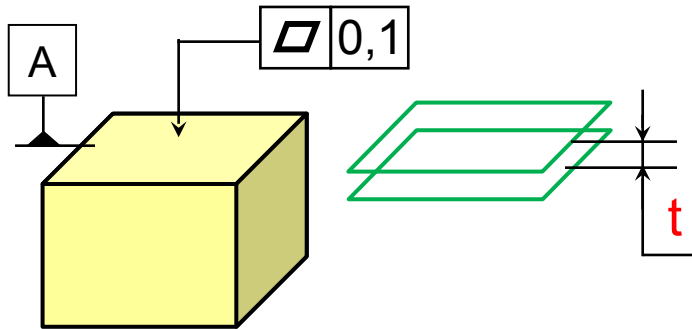
Zone de tolérance : Zone cylindrique $\varnothing 0,2$, parallèle à l'axe nominal spécifié

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

Remarque : le modèle nominal peut glisser librement sur le plan primaire A.

L'axe nominal B est donc mobile. La perpendicularité ajoute une translation de la zone de tolérance dans toute direction perpendiculaire à B pour placer si possible l'axe associé à la surface réelle B dans la zone de tolérance (Cette mobilité est redondante dans ce cas).

PLANEITE



Fonction : Garantir la qualité du contact entre 2 plans.

Références : Néant

Nom du symbole : Planéité

Surface nominale spécifiée : Plan A

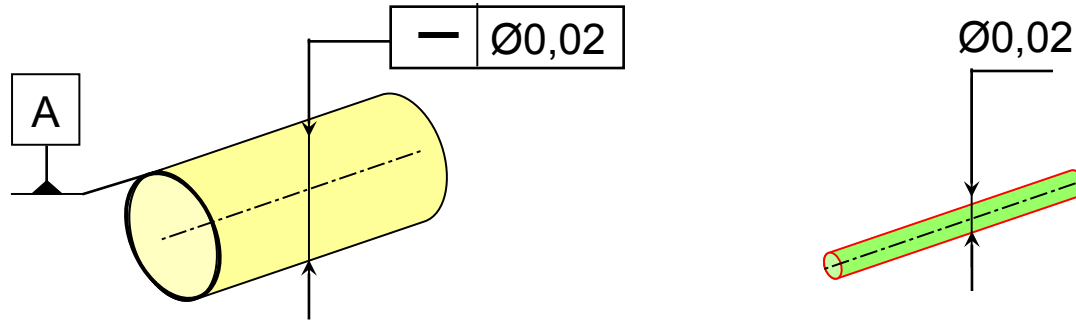
Élément tolérancé : Surface réelle plane A (tous les points de la surface)

Zone de tolérance : Zone comprise en deux plans distants de 0,1

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

Remarque : le modèle nominal a une position quelconque. La zone de tolérance est comprise entre deux plans distants de t , centrée sur la surface nominale spécifiée. La zone peut ensuite être déplacée librement (avec les 6ddl) pour placer si possible, la surface réelle spécifiée dans la zone de tolérance.

RECTITUDE DE L'AXE D'UN CYLINDRE



Références : Néant

Nom du symbole : Rectitude

Surface nominale spécifiée : Cylindre A

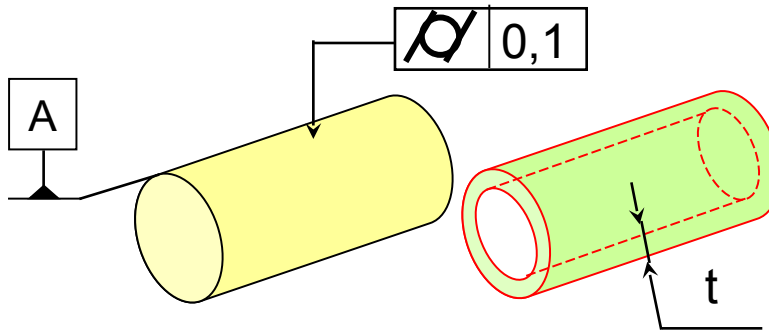
Élément tolérancé : Axe réel (lieu des centres des sections)

Zone de tolérance : Zone cylindrique $\varnothing 0,02$

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

Remarque : le modèle nominal a une position quelconque. La zone de tolérance est cylindrique $\varnothing t$, centrée sur l'axe nominal spécifié. La zone peut ensuite être déplacée librement (avec les 6ddl) pour placer si possible, l'axe réel spécifié dans la zone de tolérance.

CYLINDRICITE D'UN CYLINDRE



Références : Néant

Nom du symbole : Cylindricité

Surface nominale spécifiée : cylindre A

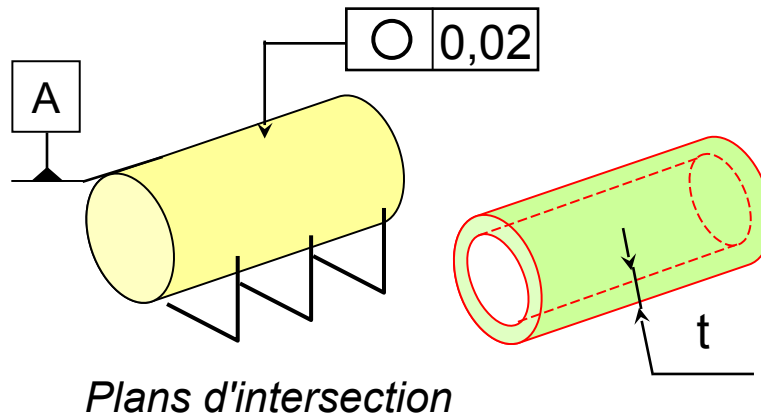
Élément tolérancé : Surface réelle cylindrique A (tous les points de la surface)

Zone de tolérance : Zone comprise en deux cylindres coaxiaux dont la différence de rayon est 0,1.

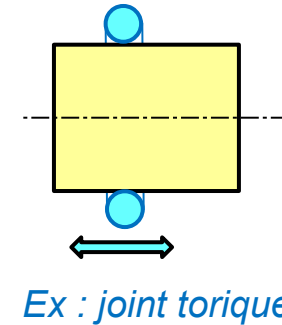
Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

Remarque : Pour cette spécification, il n'est pas nécessaire d'utiliser le modèle nominal car le diamètre de la zone de tolérance est indépendante du diamètre du cylindre nominal. La zone de tolérance peut-être déplacée librement pour placer si possible la surface réelle dans la zone de tolérance.

CIRCULARITE D'UN CYLINDRE



Fonction : Garantir le contact selon une ligne perpendiculaire à l'axe



Références : Néant

Nom du symbole : Circularité

Surface nominale spécifiée : cylindre A

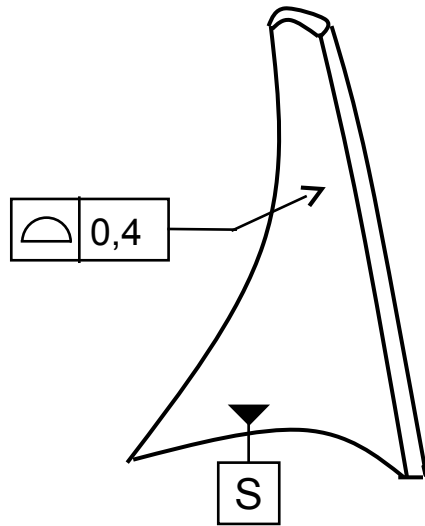
Élément tolérancé : Ligne intersection du cylindre réel avec chaque plan d'intersection perpendiculaire au cylindre(*).

Zone de tolérance : Zone comprise en deux cylindres coaxiaux dont la différence de rayon est 0,1.

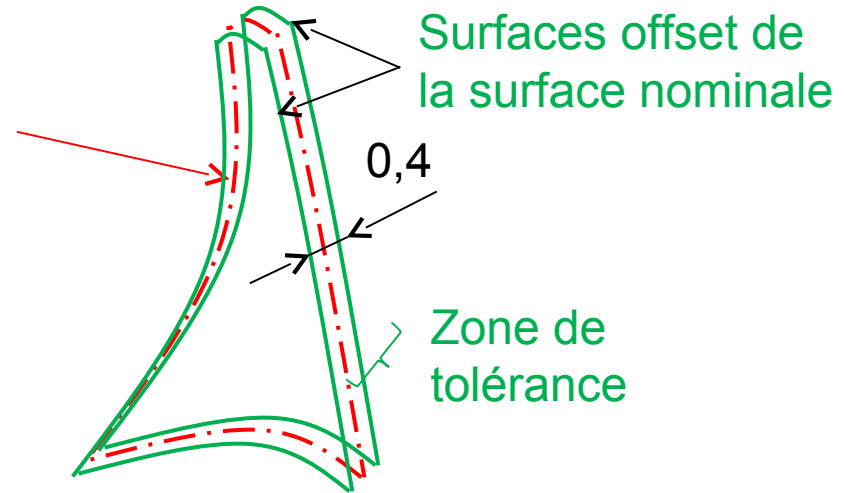
Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance pour chaque plan d'intersection

(*) les plans d'intersection sont perpendiculaires à l'axe du cylindre des moindres carrés associé à l'ensemble du cylindre réel A. Les points sont prélevés au voisinage de ce plan. Les diamètres de la zone de tolérance sont indépendants entre les sections.

FORME D'UNE SURFACE QUELCONQUE



Surface
nominale
spécifiée



Références : Néant

Nom du symbole : Forme d'une surface quelconque

Surface nominale spécifiée : Surface quelconque S

Élément tolérancé : Surface réelle quelconque S (tous les points de la surface)

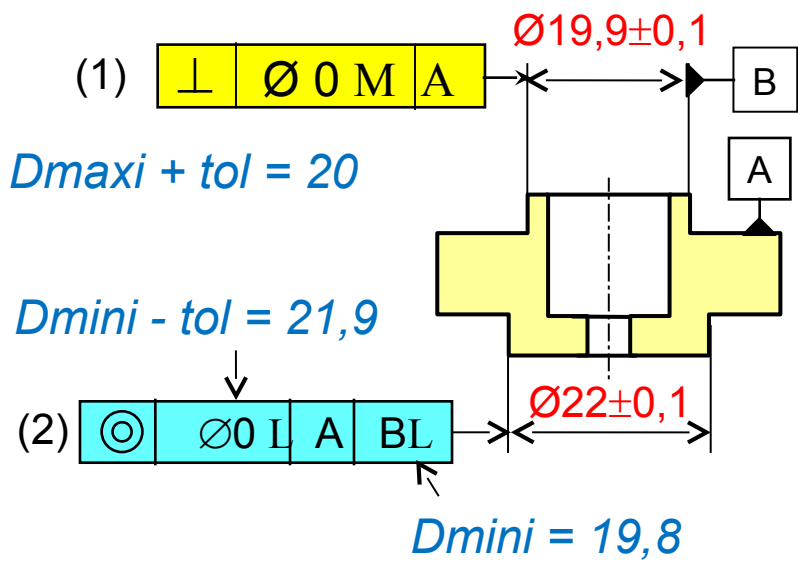
Zone de tolérance : Zone comprise en deux surfaces offsets de +0,2 et -0,2 par rapport à la surface nominale

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

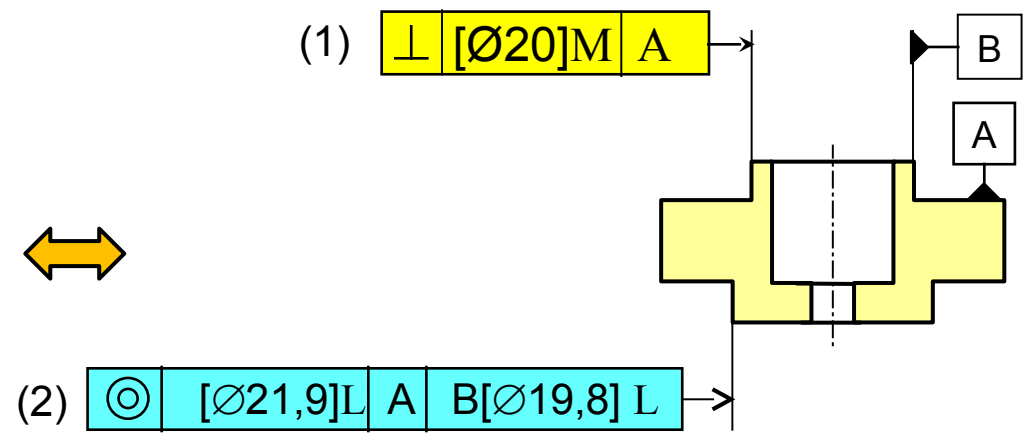
Remarque : le modèle nominal a une position quelconque. La zone de tolérance est construite centrée sur la surface nominale spécifiée. La zone peut ensuite être déplacée librement (avec les 6 ddl) pour placer si possible, la surface réelle spécifiée dans la zone de tolérance.

SPECIFICATIONS AU MAXI / MINI MATIERE

Norme 2692 : 2014

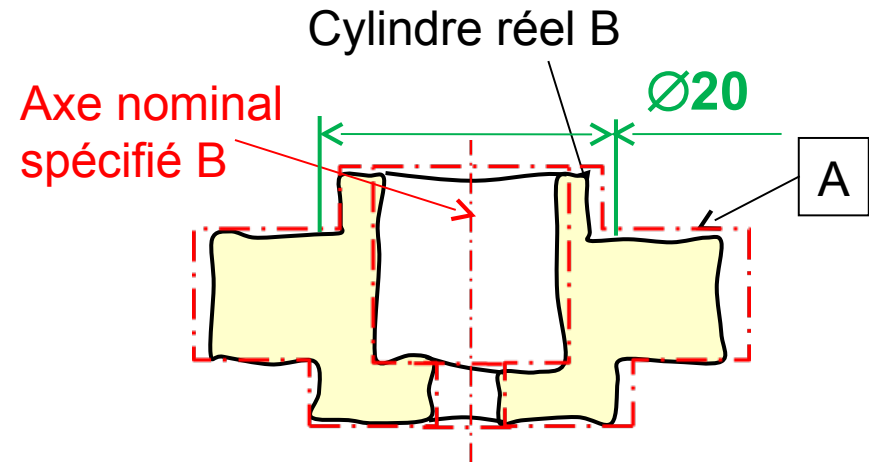
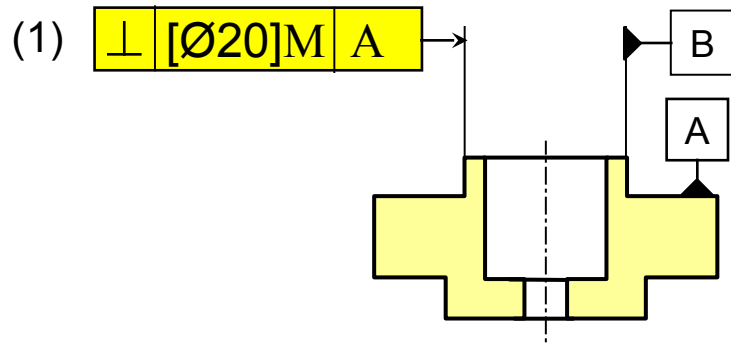


Projet de norme



Les spécifications (1) et (2) sont respectivement équivalentes

SPECIFICATIONS AU MAXI / MINI MATIERE



Références :

Primaire : Plan A, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Nom du symbole : Perpendicularité

Surface nominale spécifiée : Cylindre B

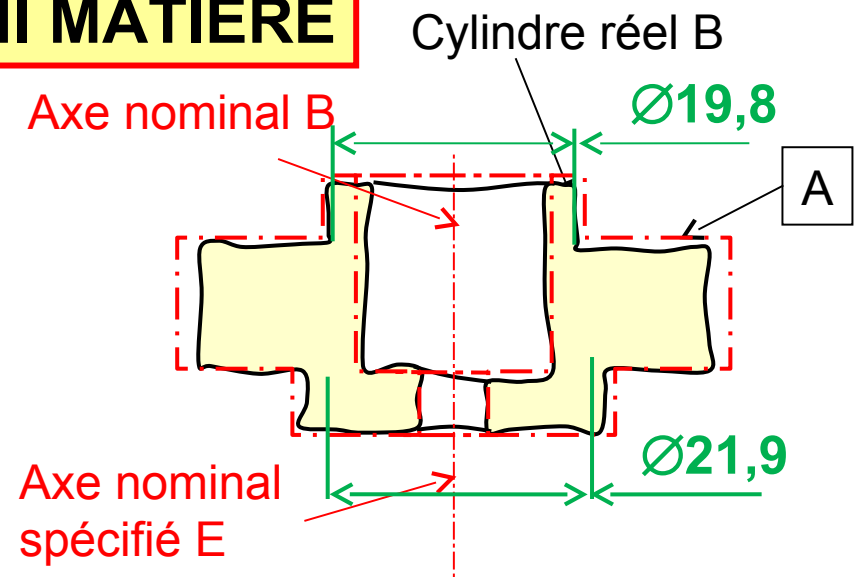
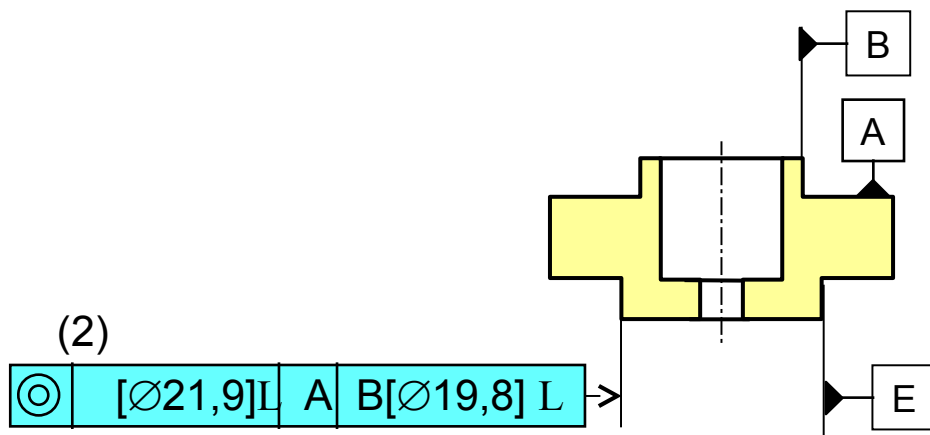
Élément tolérancé : Surface réelle cylindrique (tous les points de la surface)

Zone de tolérance : Zone comprise dans un cylindre de diamètre 20 centré sur l'axe nominal

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

Remarque : Le modèle nominal peut glisser sur le plan A, (ce qui déplace l'axe nominal de B et sa zone de tolérance) pour placer si possible la surface réelle spécifiée dans la zone de tolérance (intérieure au cylindre Ø20).

SPECIFICATIONS AU MAXI / MINI MATIERE



Références :

Primaire : Plan A, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Secondaire : Le cylindre nominal B est centré sur un cylindre $\text{Ø}19,8$ qui doit être dans la matière

Nom du symbole : Coaxialité

Surface nominale spécifiée : Cylindre E

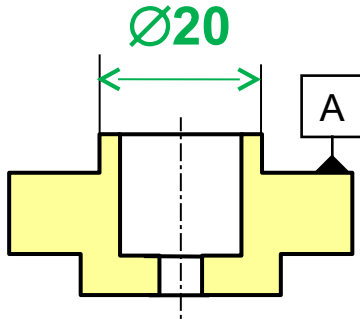
Élément tolérancé : Surface réelle cylindrique E (tous les points de la surface)

Zone de tolérance : Zone extérieure au cylindre $\text{Ø}21,9$ centré sur la surface nominale

Validation : Toutes les pièces qui ont le même comportement qu'une pièce virtuelle avec la référence B au minimum de matière sont conformes

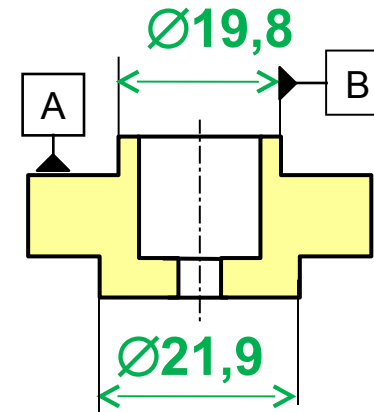
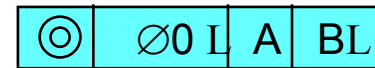
Remarque : Le modèle nominal peut flotter en glissant sur le plan A pour placer si possible la surface réelle spécifiée dans la zone de tolérance (extérieure au cylindre $\text{Ø}21,9$).

PIECE VIRTUELLE LIMITE AU MAXI / MINI MATIERE



Si cette pièce virtuelle s'assemble, alors toutes les pièces qui respectent la perpendicularité s'assemblent également.

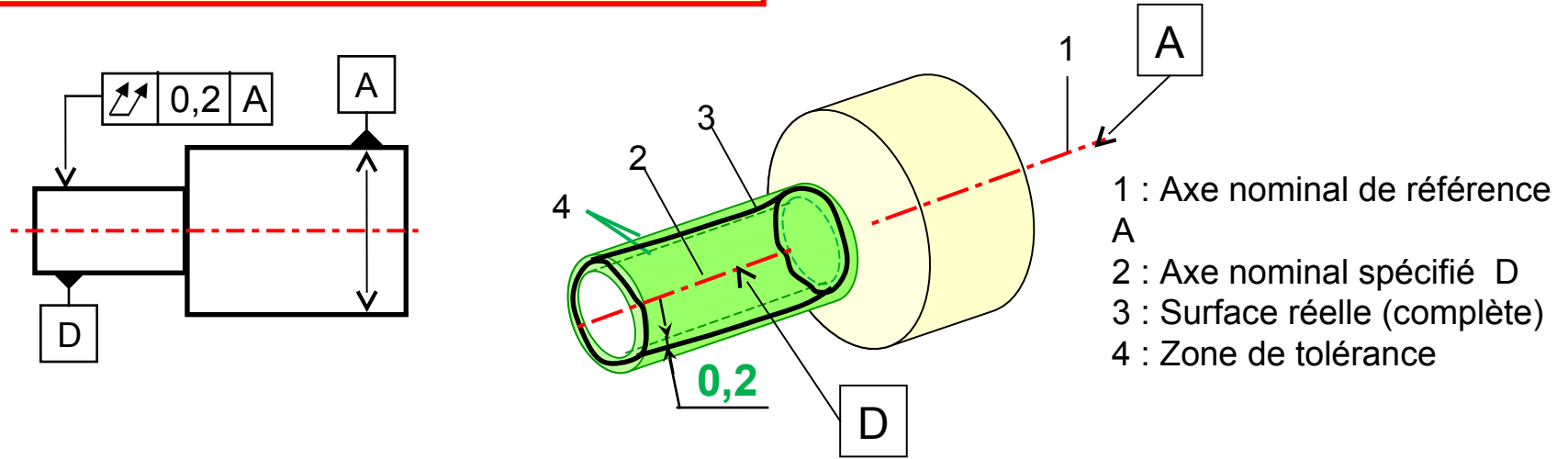
Toutes les pièces qui respectent cette frontière sont conformes



Si cette pièce virtuelle assure la précision nécessaire de l'assemblage, alors toutes les pièces qui respectent la coaxialité assurent également la précision nécessaire

Toutes les pièces qui ont le même comportement qu'une pièce virtuelle avec la référence B au minimum de matière sont conformes

BATTEMENT TOTAL RADIAL



Références :

Primaire : Cylindre A, critère [GM] moindres carrés moyen

Nom du symbole : Battement total (radial)

Surface nominale spécifiée : Axe nominal du cylindre D

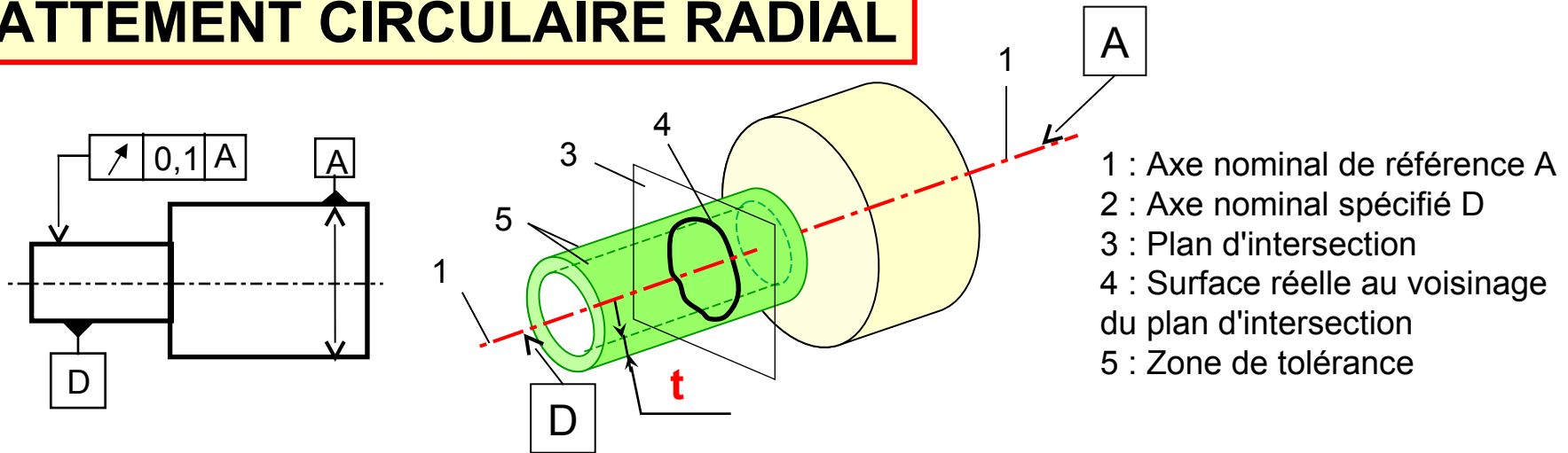
Élément tolérancé : Surface réelle cylindrique E (tous les points de la surface)

Zone de tolérance : Zone comprise entre deux cylindres coaxiaux à l'axe nominal dont la différence de rayon est 0,2

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

Remarque : Le modèle nominal est positionné par A. L'axe nominal de D est alors défini (D=A dans ce cas simple). La zone de tolérance est centrée sur D

BATTEMENT CIRCULAIRE RADIAL



Références :

Primaire : *Cylindre A, critère [GM] moindres carrés moyen*

Nom du symbole : *Battement total (radial)*

Surface nominale spécifiée : *Axe nominal du cylindre D*

Élément tolérancé : *Points de la surface réelle au voisinage de chaque plan d'intersection perpendiculaire à l'axe nominal D*

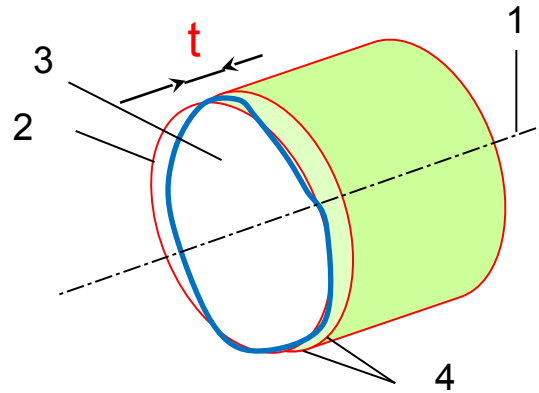
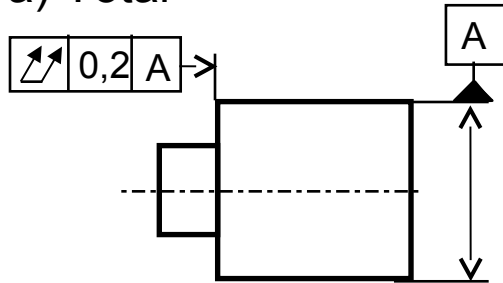
Zone de tolérance : *Zone comprise entre deux cylindres coaxiaux à l'axe nominal dont la différence de rayon est 0,1*

Validation : *La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance pour chaque plan d'intersection*

Remarque : Les diamètres de la zone de tolérance sont indépendants entre les sections.

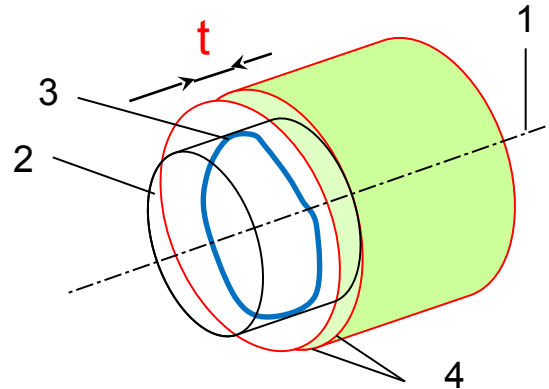
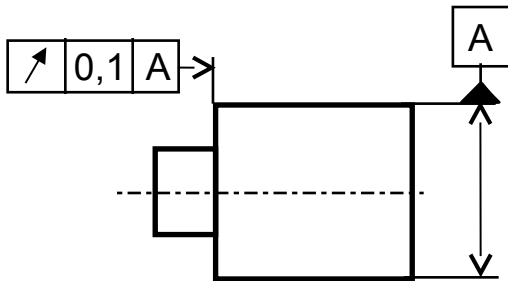
BATTEMENT AXIAL

a) Total



- 1 : Axe de référence
- 2 : Surface réelle (complète)
- 3 : Zone de tolérance

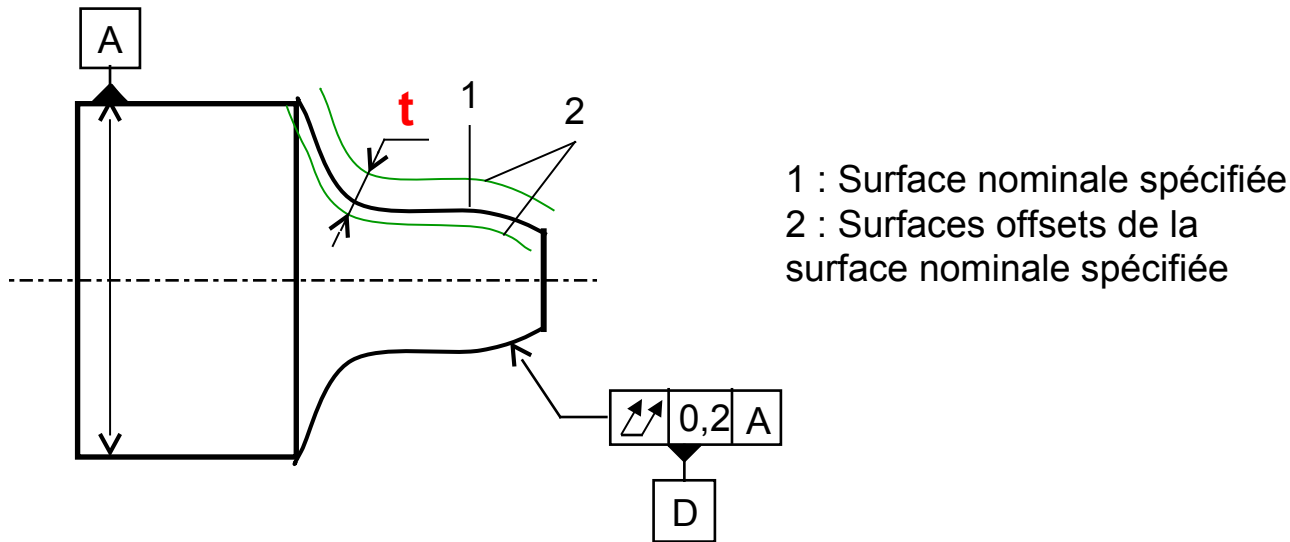
b) Circulaire



- 1 : Axe de référence
- 2 : Cylindre intersection
- 3 : Surface réelle au voisinage du cylindre intersection
- 4 : Zone de tolérance

Remarque : le battement total axial est rigoureusement équivalent à une perpendicularité.

BATTEMENT SUR UNE SURFACE DE REVOLUTION



Références :

Primaire : Cylindre A, critère [GM] moindres carrés moyen

Nom du symbole : Battement total

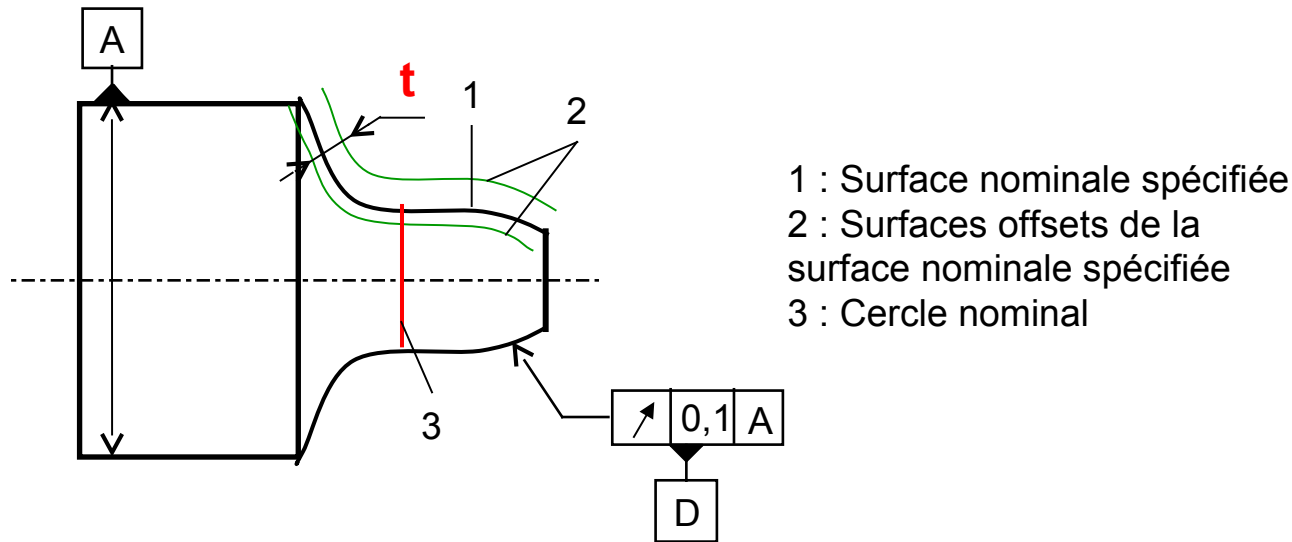
Surface nominale spécifiée : Surface de révolution D

Élément tolérancé : Tous les points de la surface D

Zone de tolérance : Zone comprise entre deux surfaces offset de la surface nominale dont la différence d'offset est 0,2

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

BATTEMENT SUR UNE SURFACE DE REVOLUTION



Références :

Primaire : *Cylindre A*, critère [GM] moindres carrés moyen

Nom du symbole : *Battement circulaire*

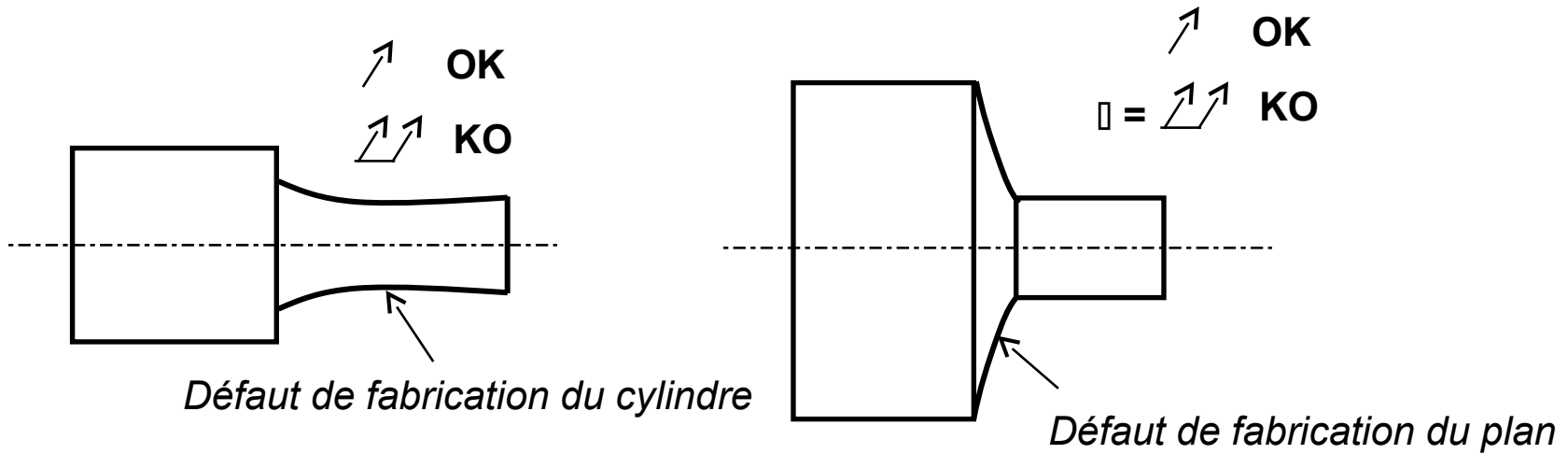
Surface nominale spécifiée : *Surface de révolution D*

Élément tolérancé : *Points de la surface réelle D au voisinage de chaque cercle nominal de la surface nominale D*

Zone de tolérance : *Zone comprise entre deux surfaces offset de la surface nominale dont la différence d'offset est 0,1*

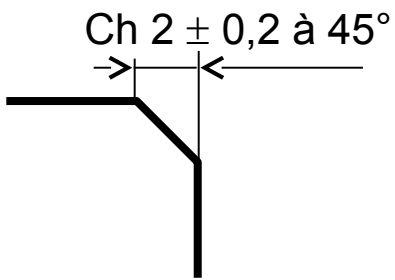
Validation : *La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance pour chaque cercle nominal*

DIFFERENCES BATTEMENT TOTAL OU CIRCULAIRE

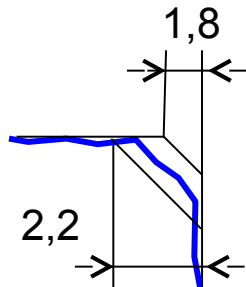


CONGE ET CHANFREIN

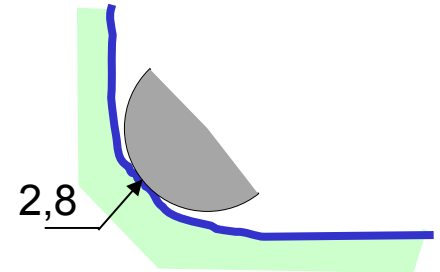
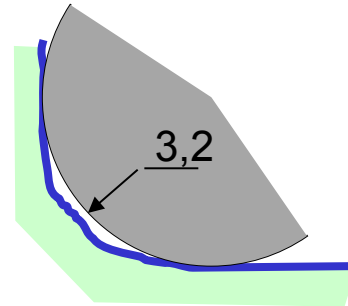
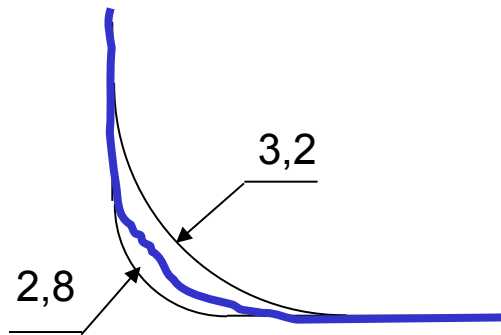
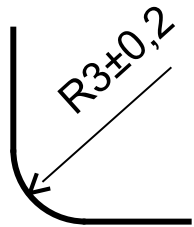
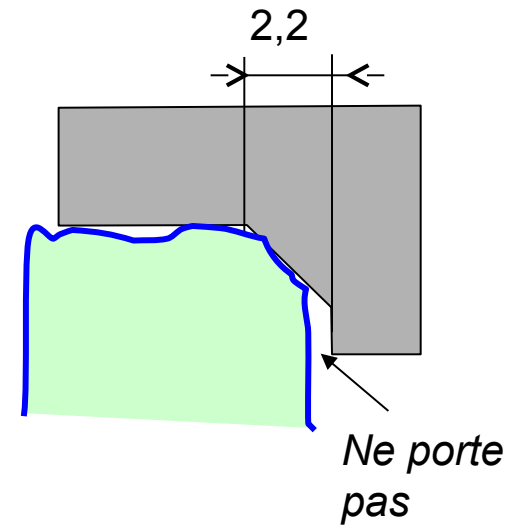
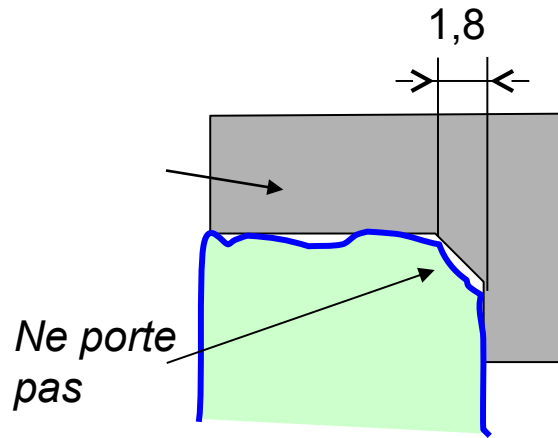
Spécification



Signification



Contrôle au calibre

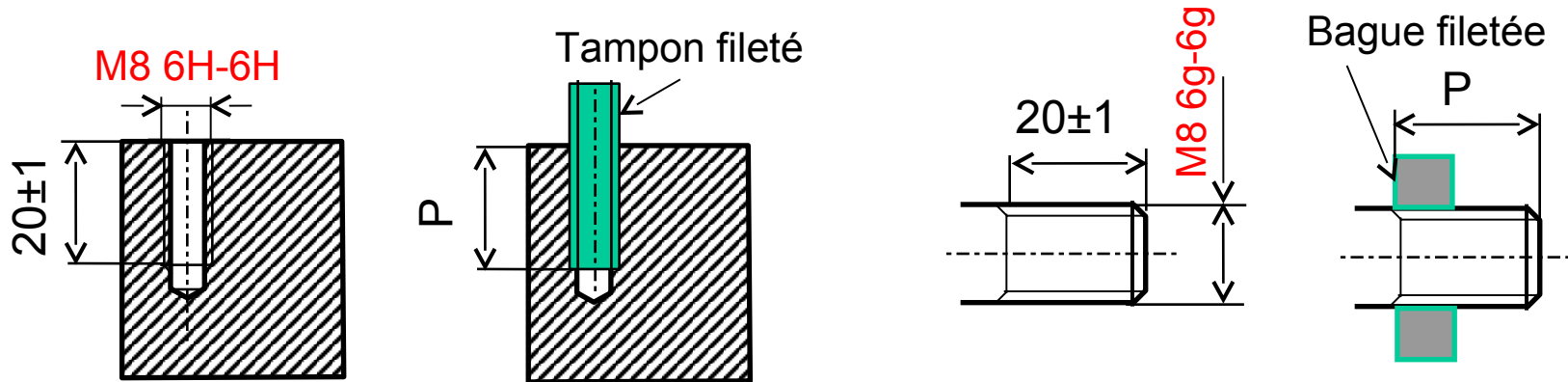


PROFONDEUR D'UN TARAUDAGE

Définition : Le plan de fond de filet est le plan limite perpendiculaire à l'axe du filetage tel que le flanc de filet respecte le profil du filetage au maximum de matière.

-Le plan limite du taraudage peut être identifié avec un tampon fileté correspondant au taraudage au maximum de matière.

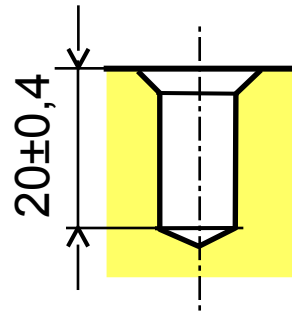
-Le plan limite du filetage peut être identifié avec une bague filetée correspondant au filetage au maximum de matière.



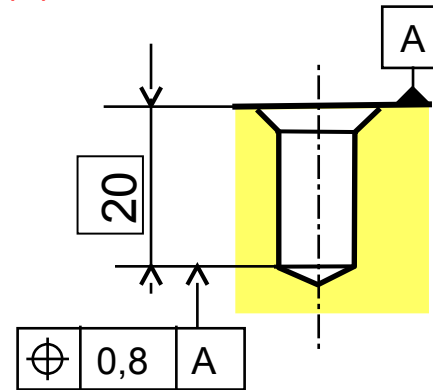
PROFONDEUR D'UN TROU BORGNE

L'écriture conventionnelle de cote permet de définir l'étendue d'une surface.

(a)



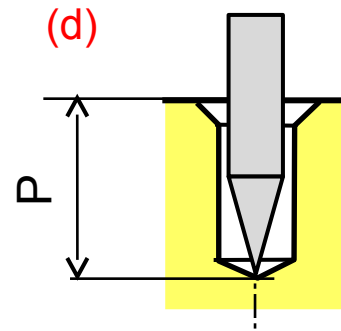
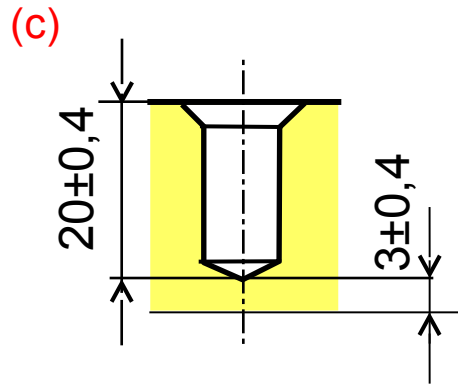
(b)



(la tolérance doit être compatible avec l'incertitude de mesure)

PROFONDEUR D'UN TROU BORGNE

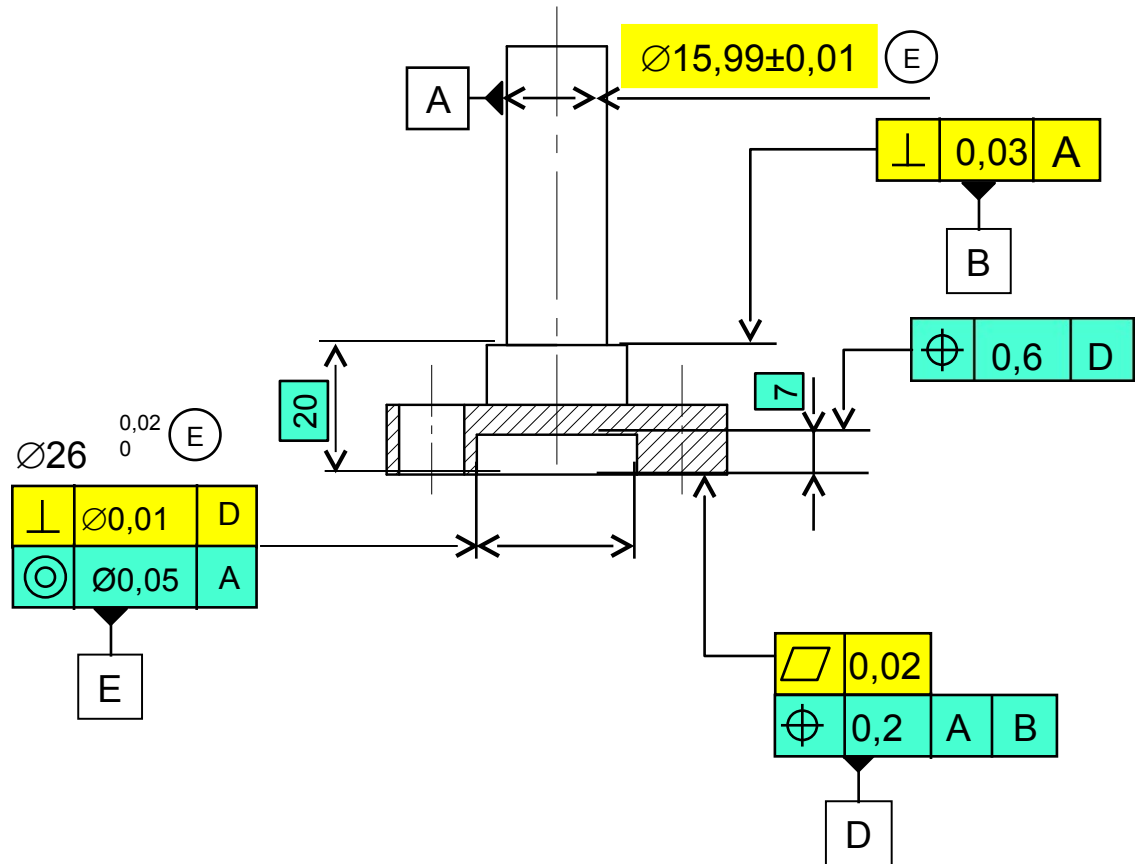
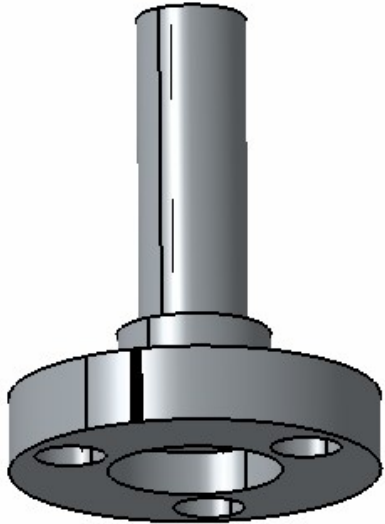
Profondeur au fond du trou



PLAN DU COURS

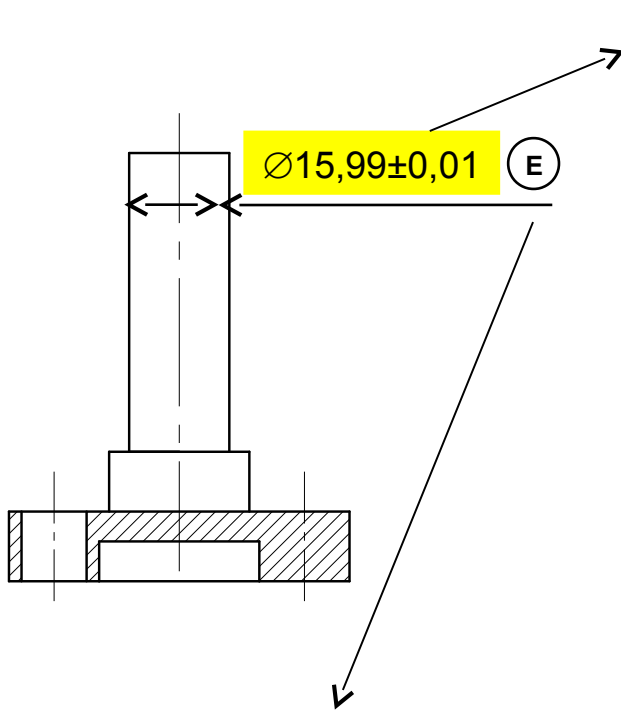
1. Objectifs et principe
2. Lecture du tolérancement dimensionnel
3. Tolérancement par zone de tolérance
4. Association d'une surface nominale à une surface réelle
5. Principe de lecture des spécifications géométriques
6. Définition détaillée des principales spécifications
-  7. Applications

EXAMPLES



DIAMETRE

Reprendre le texte type et indiquer les valeurs numériques



Texte de la fiche :

Toutes les dimensions locales (distance entre des points face à face) doivent être comprises dans l'intervalle de tolérance



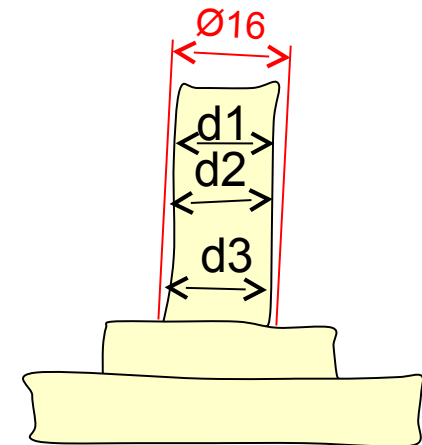
Toutes les dimensions locales (distance entre des points face à face) doivent être comprises **entre 15,98 et 16.**

Texte de la fiche :

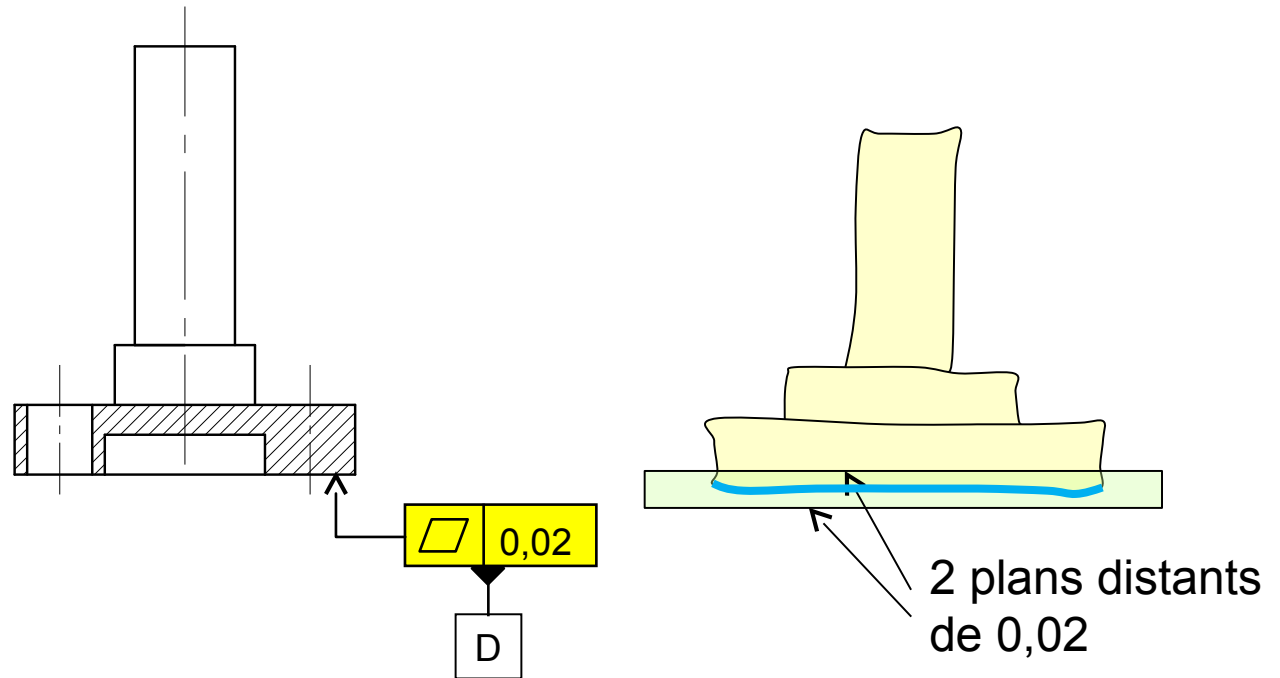
Arbre : la surface réelle doit pouvoir être contenue dans un cylindre de diamètre égal au diamètre maxi



La surface réelle doit pouvoir être contenue dans un cylindre de diamètre **16**



PLANEITE



Références : Néant

Nom du symbole : Planéité

Surface nominale spécifiée : Plan D

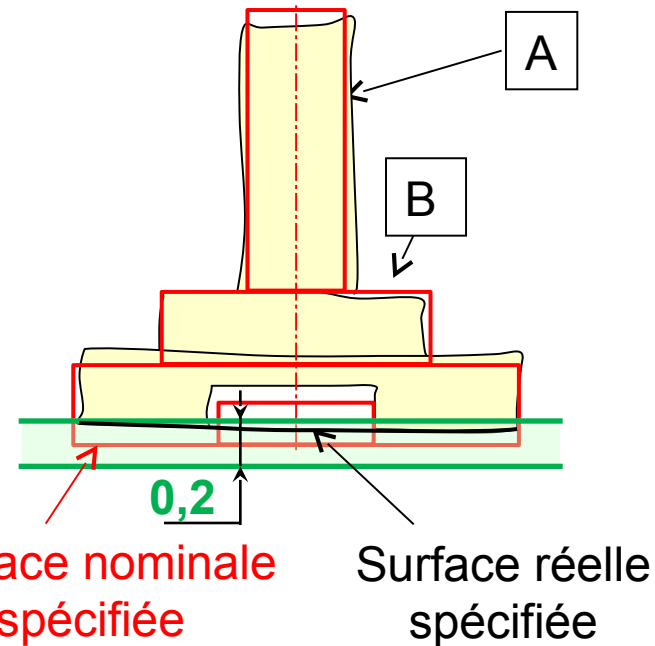
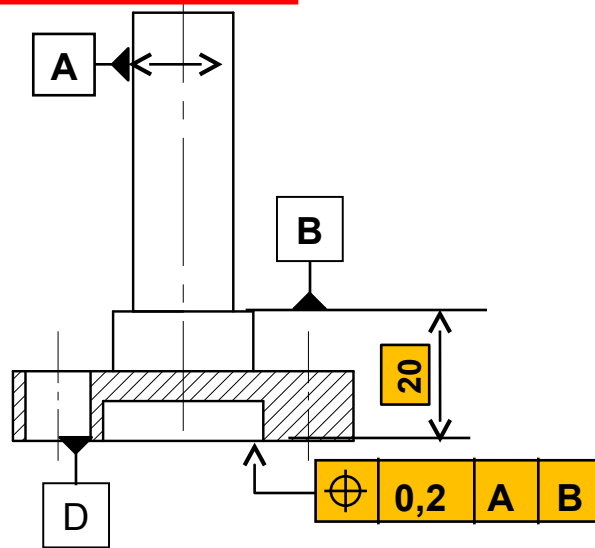
Élément tolérancé : Surface réelle plane D (tous les points de la surface)

Zone de tolérance : Zone comprise en deux plans distants de 0,02

Validation : La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

APPLICATION

Selon norme après 2017



Références

Primaire : cylindre A, critère [GM] moindres carrés moyen

Secondaire : plan B, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Nom du symbole

Localisation

Surface nominale spécifiée

Plan D

Élément tolérancé

Tous les points de la surface réelle D

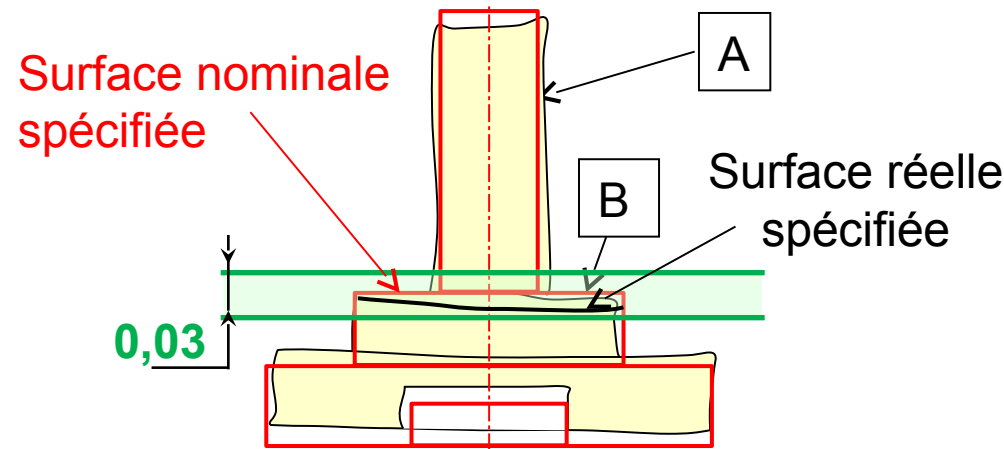
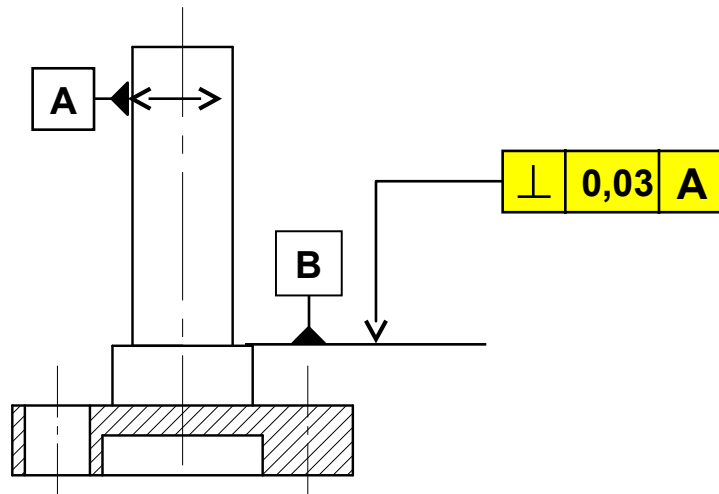
Zone de tolérance

Zone comprise entre deux plans distants de 0,2, centrée sur la surface nominale

Validation

La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

APPLICATION



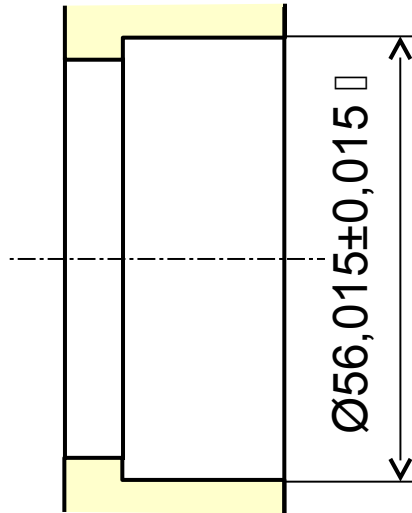
Référence	Primaire : cylindre A, critère [GM] moindres carrés moyen
Nom du symbole	Perpendicularité
Surface nominale spécifiée	Plan B
Élément tolérancé	Tous les points de la surface réelle B
Zone de tolérance	Zone comprise entre deux plans distants de 0,03, parallèle à la surface nominale
Validation	La spécification est respectée si l'élément tolérancé est dans la zone de tolérance

Remarque : le modèle nominal est libre en rotation et en translation par rapport à A. Le plan nominal B est donc encore mobile. La perpendicularité ajoute la même mobilité pour placer si possible la surface réelle B dans la zone de tolérance.

CORRECTION EXERCICE

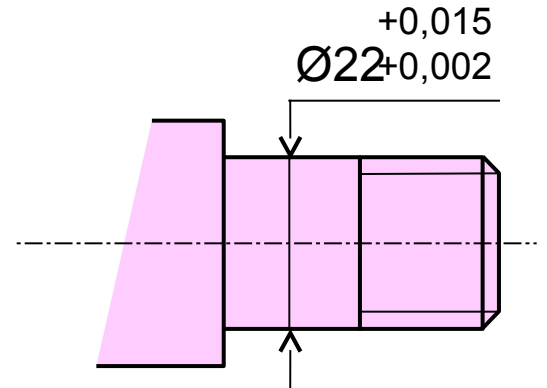
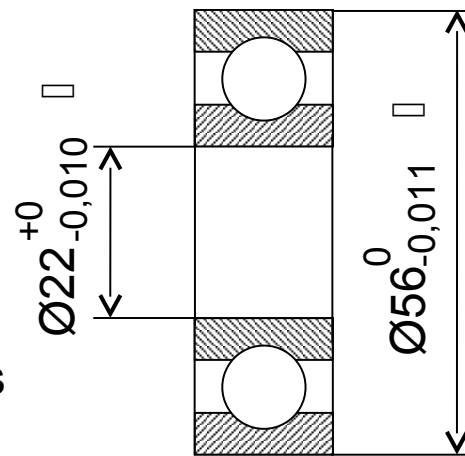
Le fournisseur du roulement indique les cotes suivantes :

L'alésage du carter et l'arbre ont été prévus avec les spécifications suivantes :



Calculer le jeu carter / roulement

$$\begin{aligned}\text{Jeu maxi} &= D_{\text{maxi}} - d_{\text{mini}} \\ &= 56,03 - (56 - 0,011) = 0,041 \\ \text{Jeu mini} &= D_{\text{mini}} - d_{\text{maxi}} = 56 - 56 = 0\end{aligned}$$

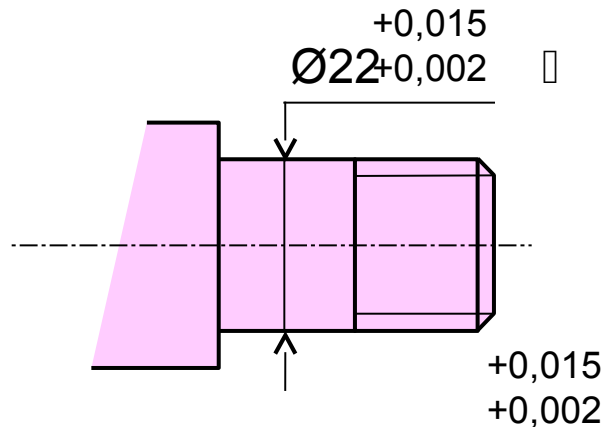


Calculer le serrage arbre / roulement

$$\begin{aligned}\text{Serrage maxi} &= D_{\text{maxi}} - d_{\text{mini}} \\ &= 22,015 - (22 - 0,01) = 0,025 \\ \text{Serrage mini} &= D_{\text{mini}} - d_{\text{maxi}} \\ &= 22,002 - 22 = 0,002\end{aligned}$$

CORRECTION EXERCICE

Convertir la cote de diamètre de l'arbre pour avoir un diamètre nominal centré



$$\text{Tolérance : } 0,015 - 0,002 = 0,013$$

$$\begin{aligned}\text{Diamètre moyen} &= (D_{\text{maxi}} + d_{\text{mini}})/2 \\ &= (22,015 + 22,002)/2 \\ &= 22,0085\end{aligned}$$

$$\text{Résultat brut : } \text{Ø}22,0085 \pm 0,0065$$

Remarque : les résultats sont généralement modulés par le concepteur pour ne pas afficher de décimales inférieures au micromètre.

$$\text{Résultat retenu : } \text{Ø}22,008 \pm 0,007$$