

PARTIE 2 : COMPLEMENTS USUELS

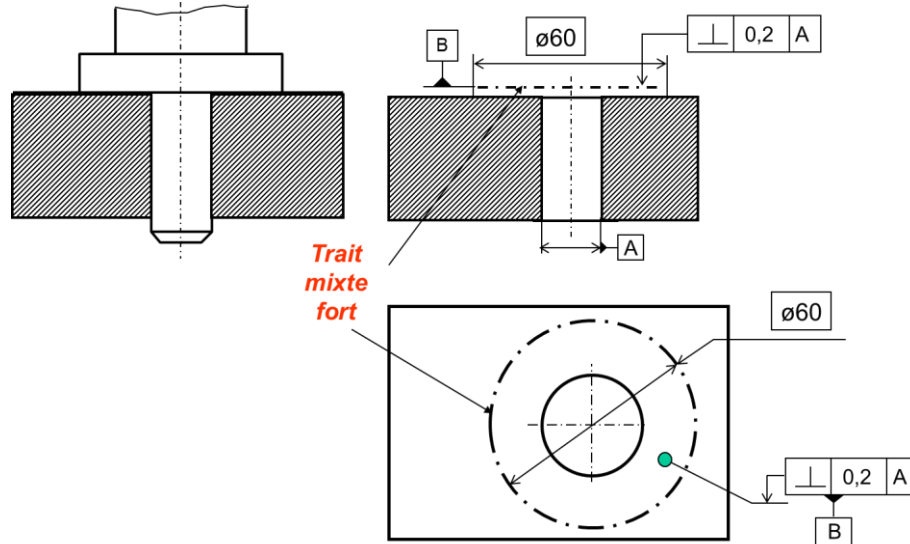
1 -	ETENDUE DE LA SURFACE SPECIFIEE	43
1 - 1	Restriction de surface	43
1 - 2	Zone partielle.....	43
1 - 3	Applications	47
1 - 4	Zone partielle glissante	50
2 -	SPECIFICATIONS ET REFERENCES SUR SURFACES QUELCONQUES	51
2 - 1	Surface quelconque	51
2 - 2	Cône.....	52
3 -	ENTITE BILATERALE.....	53
1.1	Identification	53
1.2	Spécification d'une rainure ou d'un tenon.....	54
1.3	Référence dans une rainure ou sur un tenon	54
1.4	Symétrie au maximum de matière	55
4 -	UNITED FEATURE (UF), ZONE COMBINEE (CZ), ZONES SEPARÉES (SZ)	55
4 - 1	Définitions.....	55
4 - 2	Applications	57
4 - 3	Surfaces quelconques.....	58
4 - 4	Construction d'une entité	59
4 - 5	Application au tolérancement général.....	59
4 - 6	Zones séparées SZ.....	61
5 -	GROUPE.....	61
5 - 1	Localisation, orientation et forme dans un groupe	61
5 - 2	Lecture des localisations dans un groupe.....	62
5 - 3	Référence dans un groupe.....	65
5 - 4	Orientation dans un groupe.....	65
5 - 5	Différences entre UF, CZ et Nx.....	67
5 - 6	Répétition	68
6 -	TOLERANCES ET REFERENCES PROJETÉES	69
6 - 1	Principe	69
6 - 2	Projection de taraudages	71
6 - 3	Référence sur une zone projetée.....	73
6 - 4	Projection d'un plan.....	73

1 - ETENDUE DE LA SURFACE SPECIFIEE

1 - 1 Restriction de surface

Lorsque seulement une partie de la surface est fonctionnelle, la notion de restriction de surface permet de limiter la surface spécifiée ou l'élément de référence à la seule partie utile.

La zone utile est identifiée par un trait mixte fort et est limitée par des cotes encadrées. En vue de côté, le trait mixte est décalé de 2mm environ de la surface. La flèche de spécification ou le pied de l'indicateur de référence aboutit sur le trait mixte fort ou sur un trait de rappel.



Remarque : le trait mixte décalé est difficile à réaliser en CAO 3D et à relier à la géométrie. Il est préférable de définir une zone partielle.

1 - 2 Zone partielle

1 - 2 - 1 Définition d'une zone partielle

Une zone partielle est une portion continue d'une surface nominale ou de plusieurs surfaces nominales contiguës.

La surface spécifiée est constituée des points de la surface réelle qui peuvent être projetés sur la zone partielle nominale selon la direction de projection normale à la surface nominale.

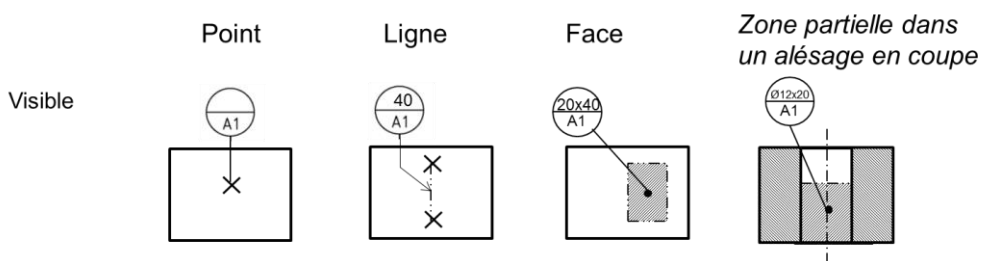
Une zone partielle est décrite par un cadre circulaire divisé en deux cases par une ligne horizontale, une ligne repère et la représentation de la zone partielle sur le modèle nominal.

La case inférieure est réservée pour l'identifiant de la surface (A, B, C) suivi d'un chiffre (de 1 à n) correspondant au numéro de la zone partielle.

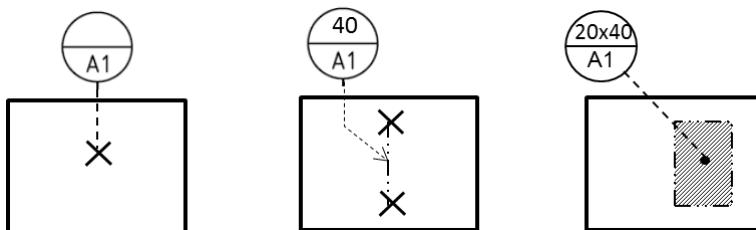
La case supérieure contient les dimensions de la zone surfacique.

- Zone partielle ponctuelle : il n'y a pas de dimension. Le point de zone partielle est décrit par une croix
- Zone partielle linéique : la dimension est la longueur du segment ou de la courbe. La ligne de zone partielle est décrite par un trait mixte fin à deux points et tirets longs terminé par deux croix. La ligne repère est terminée par une flèche.
- Zone partielle surfacique : La zone est hachurée et entourée par un trait mixte fin à deux points et tirets longs. L'étendue sera définie par exemple sous la forme 20x40, $\varnothing 5$, $\square 5$, $\varnothing 15 \times 4$, $4 \times 15^\circ$... Si la place à l'intérieur de la case est limitée, le texte peut être placé à l'extérieur et relié à la case appropriée par une ligne repère. La ligne repère est terminée par un point. Dans un modèle numérique, le contour est dessiné sur la face. La zone est obtenue par extraction de la surface nominale ou par un remplissage.

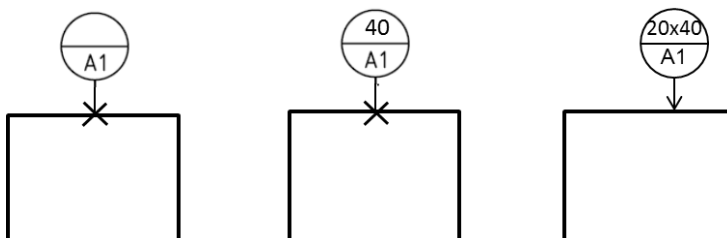
Si la zone est visible, la ligne repère est continue :



Si la zone est cachée, la ligne repère est en pointillés :



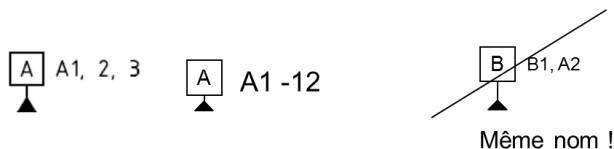
En vue de côté, la ligne repère est terminée par une flèche pour une zone surfacique,.



La position et les dimensions des zones partielles peuvent être considérées comme implicitement définies par la définition numérique.

1 - 2 - 2 Désignation des zones partielles et des éléments de référence

Une zone partielle doit avoir la même lettre que la surface à laquelle elle appartient. L'indicateur de référence doit être suivi de la liste des numéros (séparés par des virgules) identifiant les zones partielles. L'indication A1-12 désigne les 12 zones partielles numérotées de A1 à A12.



Une référence ne peut pas être constituée de zones partielles avec des lettres différentes. Une zone partielle utilisée dans deux références différentes doit comporter deux indicateurs de zone partielle avec des lettres différentes.

Les différentes zones partielles de même lettre sont considérées comme une seule surface. La norme de 2017 impose de placer l'indication UF (united feature) au-dessus de l'indicateur de tolérance pour spécifier des zones partielles.

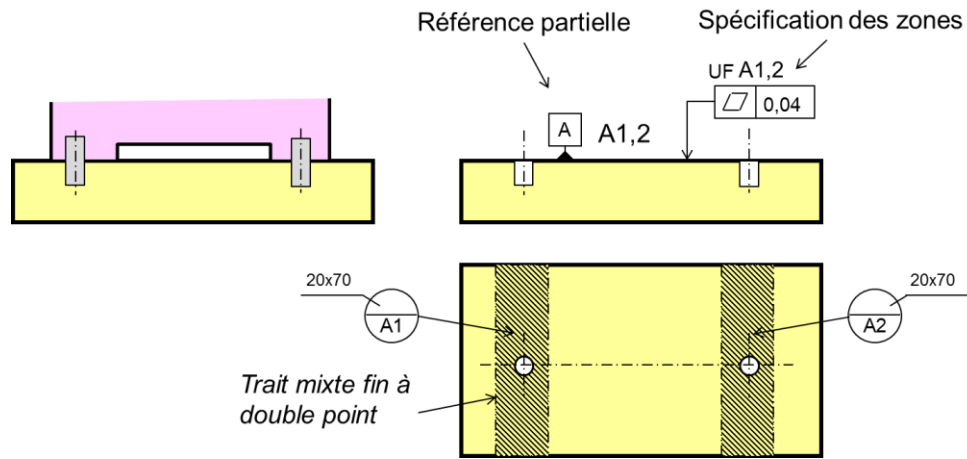
Remarque : si la zone partielle A1 désigne une droite d'un plan A, A est la portion du plan restreinte aux points au voisinage de la droite (A1 n'est pas une droite susceptible de bloquer 4 ddl).

1 - 2 - 3 Exemple de zones partielles

Dans cet exemple, les zones partielles décrivent les parties communes entre les deux plans en appui.

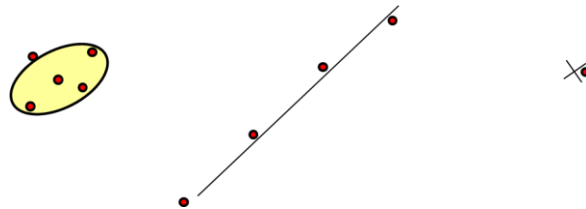
La surface A du modèle nominal sera associée à la pièce réelle uniquement avec les points des zones partielles A1 et A2. La planéité porte uniquement sur les zones A1 et A2.

Avec les normes avant 2017, les références partielles avec la même lettre formaient implicitement une seule surface. Depuis 2017, les normes imposent de placer le modificateur UF (United Feature) pour indiquer clairement que les zones partielles ne forment qu'une seule surface. La lettre A désigne la portion du plan limitée aux deux zones A1 et A2.



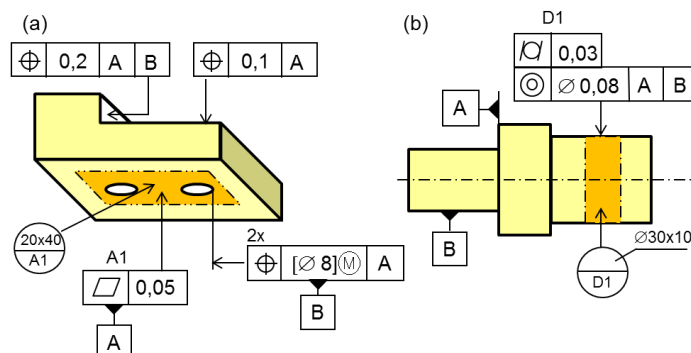
1 - 2 - 4 Repère dans lequel est définie une zone partielle

Les points de mesure doivent être identifiés à l'intérieur des zones partielles surfaciques ou au voisinage des lignes ou des points définis dans le modèle nominal. A titre d'exemple, un point peut être identifié à ±0,3 mm près au voisinage du point ou de la ligne de zone partielle ou jusqu'à ±0,3 mm près du contour d'une zone partielle surfacique. En effet, la surface nominale associée étant parallèle à la surface réelle au voisinage de ce point, un écart n'a aucune influence notable sur la position du modèle nominal. Cela signifie que la position de la zone partielle n'a pas besoin d'être définie avec très grande précision. (Un simple tracé au crayon sur la pièce est suffisant). Cependant, pour éviter toute difficulté, il n'est pas recommandé de définir des zones partielles dans des zones de faible rayon.



Les zones partielles sont principalement utilisées dans deux cas :

- Pour définir la partie commune entre deux pièces en contact dans une jonction : la zone partielle est utilisée comme référence partielle au sein d'un système de références. Le modèle nominal est associé à la pièce avec le plus long système de références qui contient cette référence. Dans la figure (a), la référence A est utilisée dans le système de référence A|B. Le modèle nominal est associé à A|B pour identifier le contour de la zone partielle A1.
- Pour définir la partie commune entre deux surfaces fonctionnelles en vis-à-vis appartenant à deux pièces différentes : la zone partielle n'est donc pas utilisée comme référence partielle. Le modèle nominal est associé à la pièce avec le système de références le plus long parmi les spécifications portant sur cette zone partielle (Figure b). Dans la figure (b), la surface D n'est jamais utilisée comme référence. La surface D est spécifiée par la coaxialité par rapport à A|B. Le modèle nominal est associé à A|B pour identifier le contour de la zone partielle D1.



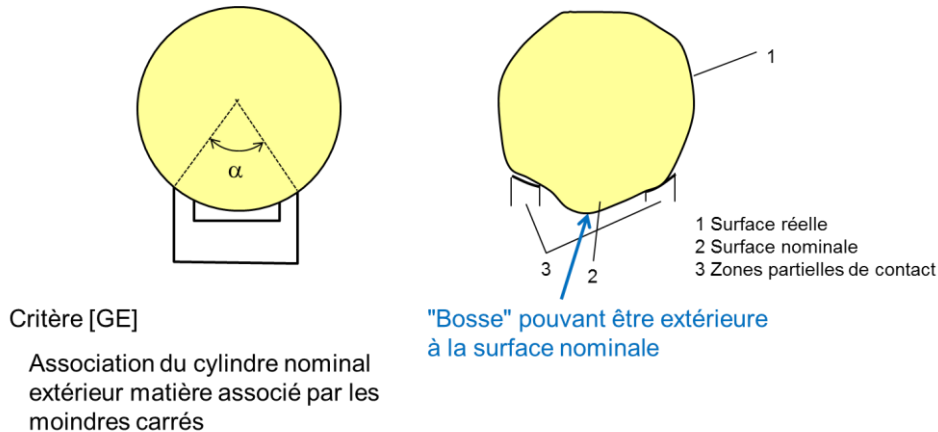
Normalement, le système de références doit être suffisant pour définir de manière unique la position du contour limitant la zone partielle. Si besoin, les ddl résiduels peuvent être bloqués à l'aide d'autres surfaces de la pièce. Dans le cas contraire, il y a une indétermination qui introduit une incertitude de mesure (Par exemple, dans le cas du serrage d'un cylindre dans un mandrin 3 mors, la position des 3 zones de contacts des mors sont indéterminées. (Il suffit d'une marque réalisée avec un feutre avant démontage de la pièce pour lever cette indétermination).

1 - 2 - 5 Critère d'association

Le critère d'association d'une référence pour une zone partielle est identique à celui de la surface support en considérant l'étendue qui engloberait toutes les zones partielles.

Cette figure montre une référence sur une portion de cylindre. Si le cylindre était complètement serré dans une autre pièce, le critère d'association serait [GM]. Il serait possible de faire varier le rayon pour compenser les défauts d'uniformité du nuage de points.

Dans cet exemple, le cylindre est posé sur deux secteurs cylindriques. Si l'angle α est petit ($\alpha \leq 30^\circ$), la surface réellement utile est qualifiée de « plate ». Le critère d'association est [GE] (surface nominale extérieure matière des moindres carrés). Si l'angle α est compris entre 30° et 180° , le critère est [GM], mais il faut impérativement associer un cylindre de rayon nominal.



1 - 2 - 6 Emploi des zones partielles

La figure (a) comporte deux zones partielles A1 et A2 qui correspondent à la portion de la surface A en contact avec la pièce d'appui. Les deux pièces sont positionnées également par les alésages B. L'étendue de la zone commune entre les deux pièces est incertaine au sens que le contour « exact » de la pièce en vis-à-vis est inconnu et qu'il y a un flottement dû au jeu.

Le système de références de la localisation (3) est formé du plan A primaire et des alésages B secondaires. Le modèle nominal est donc associé à A|B (sans modificateur). Seuls les points de la surface A projetés dans les contours nominaux A1 et A2 sont retenus pour associer la surface nominale A aux deux zones partielles A1 et A2..

Dans la planéité (1), le commentaire au-dessus limite les surfaces spécifiées aux deux zones partielles A1 et A2. Le cadre de référence A placé sous le cadre de tolérance indique que A est défini sur les surfaces spécifiées, c'est-à-dire sur les deux zones partielles. (Cette forme d'écriture est nécessaire si les différentes zones partielles ne sont pas visibles dans la même vue, ou s'il y a un grand nombre de zones partielles).

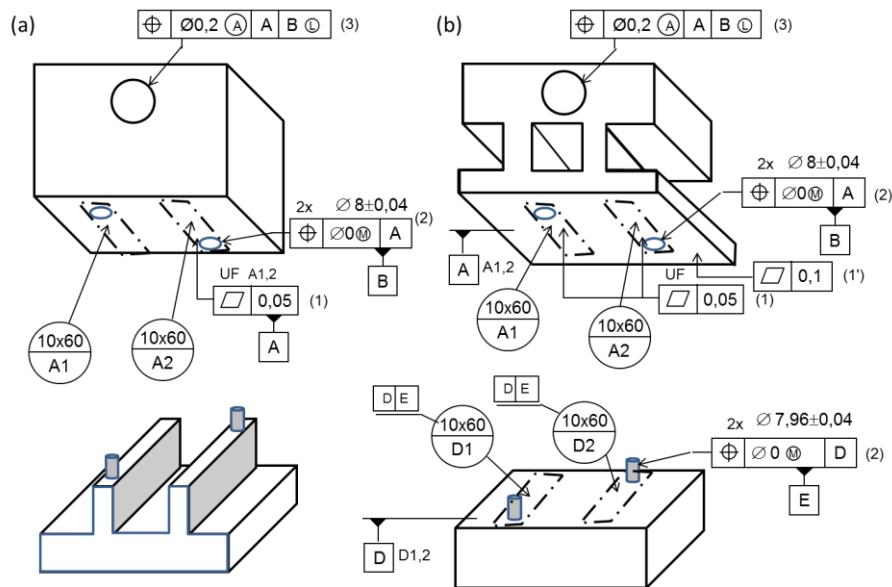
La figure (b) comporte deux zones partielles A1 et A2 qui correspondent à la portion de la surface A en face de parties rigides de la pièce supérieure. Les autres parties du plan A vont se déformer lors de l'assemblage. Les deux pièces sont positionnées également par les alésages B. Les zones partielles A1 et A2 seront en face des zones partielles D1 et D2 à définir de la même façon sur la pièce d'appui.

La caractérisation de l'étendue de la zone partielle est arbitraire au sens que le contour de la partie considérée comme rigide est floue. La position relative des zones A1 et A2 est assurée par le système de références A|B de la localisation (3). Le modèle nominal est donc associé à A|B (sans modificateur). Seuls les points de la surface A projetés dans les contours nominaux A1 et A2 sont retenus pour définir la référence A.

Dans la figure (b), il n'y a pas forcément de spécification avec le système de références D|E. Dans ce cas, pour éviter tout doute, il est conseillé d'indiquer le système de références en nota à côté de l'indicateur de zone partielle¹

La planéité (1) ne porte que sur les deux zones partielles. Elle est complétée par la planéité (1') de tout le plan avec une tolérance plus large.

¹ L'indication du système de références en nota de l'indicateur de zone partielle n'a pas été décrit dans les normes.

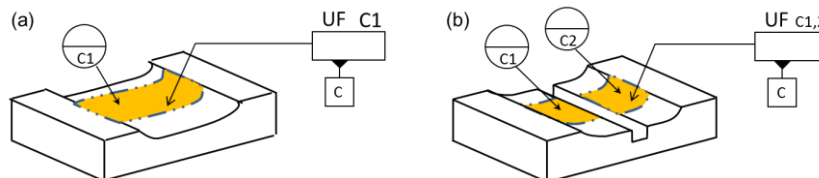


1 - 2 - 7 Union de plusieurs surfaces dans une seule zone partielle

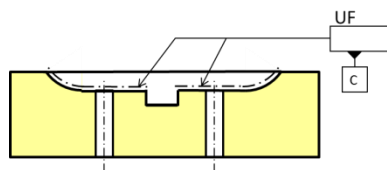
Selon les normes actuelles, l'indication de zone restreinte ou de zone partielle ne permet que réduire l'étendue d'une seule surface. L'écriture ci-dessous propose de décrire des zones avec la même lettre sur des surfaces différentes contiguës, afin d'éviter des références communes du type A-B-C-D-E-F.. beaucoup trop lourdes. En pratique, il n'y a pas d'ambiguïté avec cette entorse à la norme.

Dans la figure (a), la zone partielle C1 désigne une partie du plan central et une partie des deux secteurs cylindriques latéraux. Il y a à la fois restriction de surfaces et union de surfaces. Le commentaire au-dessus de l'indicateur de tolérance indique que la surface spécifiée est limitée à C1. Ce commentaire est facultatif, car la ligne repère pointe directement cette zone partielle hachurée. La référence C désigne la surface C1.

Dans la figure (b), la partie utile est fractionnée en deux zones partielles non contiguës. Les deux zones partielles sont notées C1 et C2. Le commentaire au-dessus du cadre de tolérance indique que la surface spécifiée est composée de C1 et C2. Ce commentaire est indispensable, car la ligne repère n'indique que la zone C2. C désigne ainsi les deux zones C1 et C2.



La spécification avec deux zones restreintes doit être indiquée par deux lignes repères, avec l'indication UF.

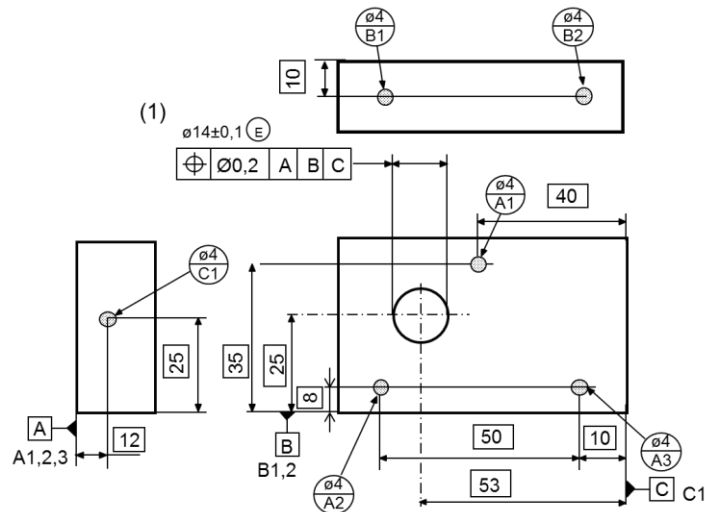


1 - 3 Applications

1 - 3 - 1 Système de références plan/plan/plan

Dans la figure suivante, le modèle nominal comporte 3 plans perpendiculaires A, B et C. L'association du modèle nominal à ces 3 éléments de références est réalisée séquentiellement en 3 étapes :

- Le plan de référence primaire A est associé avec le critère [GE] aux 3 zones partielles A1,2,3.
- Le plan de référence secondaire B (perpendiculaire à A) est associé avec le critère [GE] aux deux zones partielles B1,2.
- Le plan de référence tertiaire C (perpendiculaire à A et perpendiculaire à B) est associé avec le critère [GE] à la zone partielle C1.



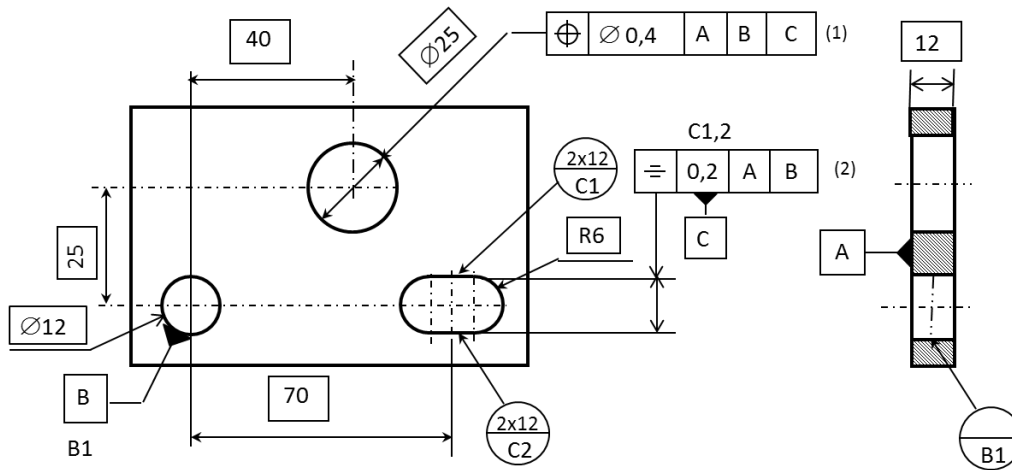
L'axe nominal de l'alésage spécifié par la localisation est parfaitement identifié par ce modèle nominal. La zone de tolérance est centrée sur cet axe nominal.

Remarque : La lettre C désigne le plan nominal C (pas le point C1).

1 - 3 - 2 Contact localisé entre un pion et une rainure

Pour la localisation (1) avec le système de références A|B|C, l'association du modèle nominal à ces éléments de références est réalisée séquentiellement

- Le plan de référence primaire A est associé avec le critère [GE].
- Le cylindre de référence secondaire B (perpendiculaire à A) est associé avec le critère des moindres carrés [GM] aux points identifiés au voisinage de la ligne B1.
- La référence tertiaire est définie par les deux plans parallèles nominaux associés aux points des deux zones partielles C1 et C2 par le critère [GM] les moindres carrés (voir partie 3 pour la contrainte de position de C par rapport à B).

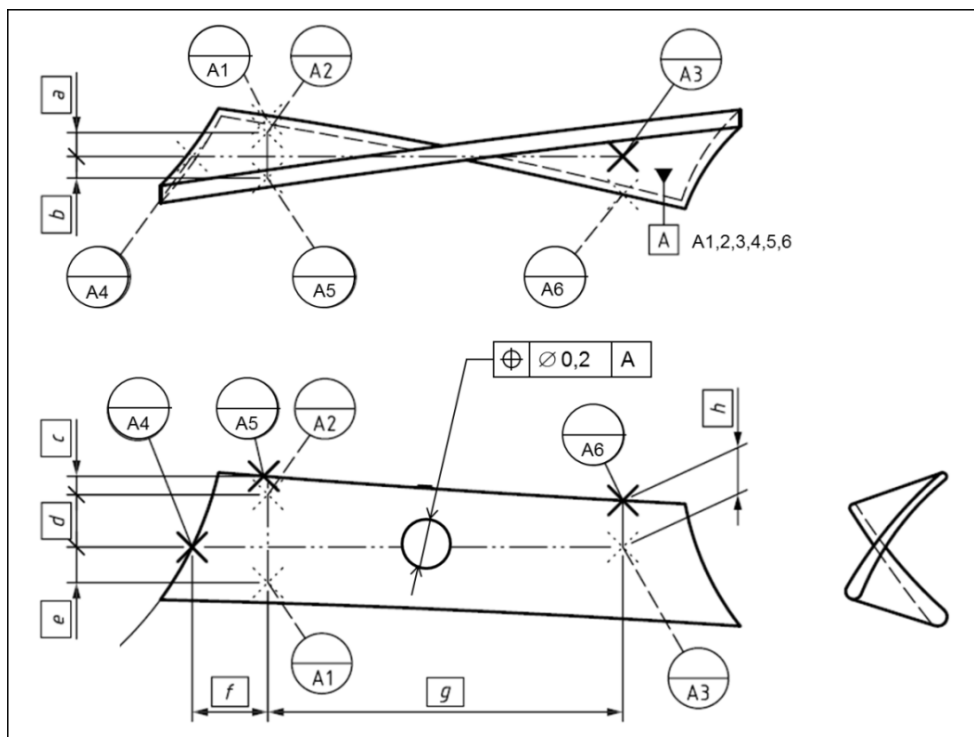


Pour la symétrie (2), le modèle nominal est associé au plan A et centré sur B. La mobilité résiduelle est la rotation autour de B. La zone de tolérance est formée par deux plans parallèles distants de 0,2. Cette zone est centrée sur le plan nominal de la rainure.

Les éléments spécifiés sont les points des deux zones partielles C1 et C2. L'élément tolérancé est le lieu des milieux des bipoints. Le modèle nominal doit être orienté pour placer si possible la surface médiane tolérancée dans la zone de tolérance.

1 - 3 - 3 Mise en position isostatique d'une surface complexe sur 6 points

La figure suivante illustre une surface nominale complexe établie à partir de 6 zones partielles appartenant à des surfaces différentes. La référence A est suffisante pour définir une liaison complexe qui bloque tous les degrés de liberté.



Chaque zone partielle A1, 2, 3, 4, 5, 6 sera identifiée sur la pièce réelle par un ou plusieurs points. L'association du modèle nominal est assurée par le critère [GM]. Pour une identification avec 6 points, les distances des 6 points aux surfaces nominales seront nulles.

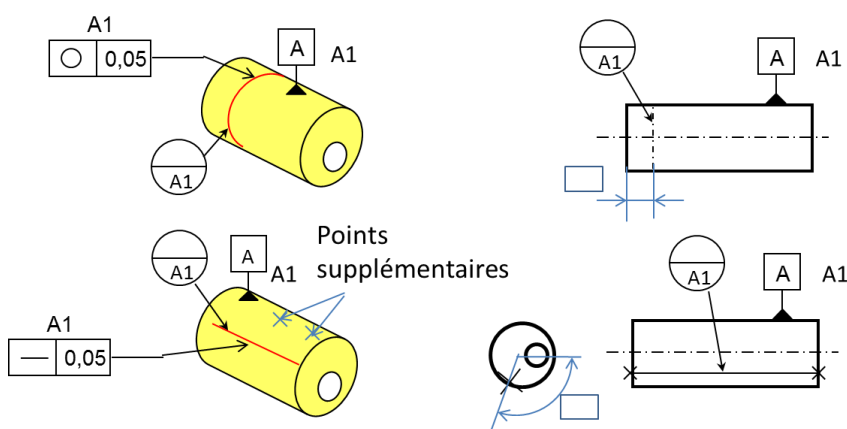
1 - 3 - 4 Référence sur une section ou sur une génératrice

La référence partielle est simplement définie comme une ligne dans le modèle nominal. La ligne n'étant pas suffisante pour définir à elle seule une référence, elle est rarement utilisée en référence primaire.

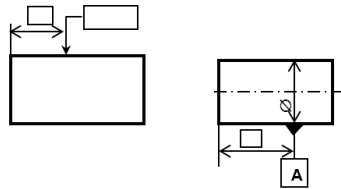
Pour une référence primaire sur une ligne circulaire seule, dans un premier temps, un cylindre « approché » est associé à l'ensemble de la surface. Dans un second temps, on associe un cylindre parallèle au cylindre « approché », en ne prenant que des points au voisinage de la ligne circulaire. La référence est l'axe de ce cylindre.

Pour une référence primaire sur une génératrice, il est suffisant d'associer un cylindre de rayon nominal à l'ensemble des points au voisinage de la génératrice réelle en ajoutant au moins deux points supplémentaires sur le côté du cylindre. La référence est l'axe du cylindre, mais celui-ci n'a de sens que dans la direction formée par la génératrice et l'axe du cylindre.

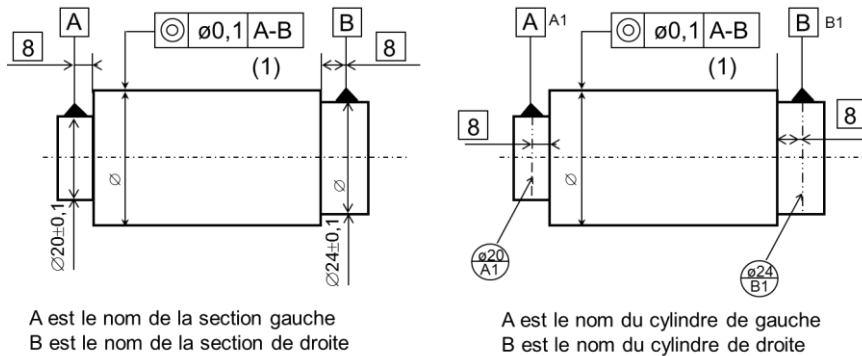
Dans la figure suivante, la circularité ou la rectitude sont évaluées uniquement dans la zone partielle A1 par le commentaire situé au-dessus de l'indicateur de tolérance.



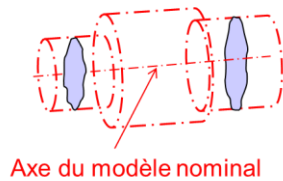
Remarque : cette écriture remplace avantageusement l'ancienne pratique avec une cote encadrée qui positionnait une section par rapport à une face de la pièce.



La figure suivante permet de définir l'axe passant par les centres de rotulage de deux roulements à billes placés en A et B avec l'ancienne pratique et avec deux zones partielles.



Pour la coaxialité (1), le modèle nominal est associé aux deux sections, avec le critère [GM] (cylindres moyens des moindres carrés).



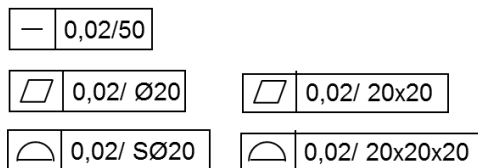
Seuls les points des deux sections sont à prendre en compte pour l'association par les moindres carrés

1 - 4 Zone partielle glissante

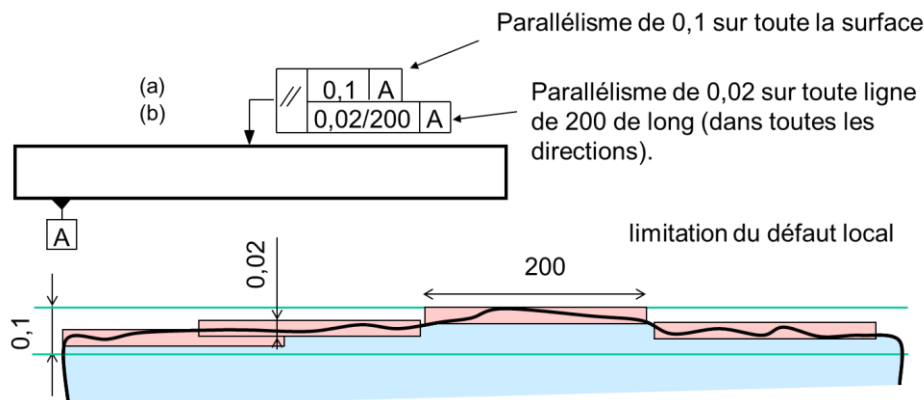
1 - 4 - 1 Zone glissante

Sur des grandes surfaces, la spécification peut être imposée sur une zone glissante extraite de la surface. Selon l'indication après le /, la zone peut être :

- Un segment
- Une portion de surface (circulaire ou rectangulaire,)
- Un volume (sphère, cube...) (Attention, pas encore accepté dans la 1101 :2017, mais a priori sans ambiguïté)



Toutes les spécifications peuvent être définies sur une zone partielle glissante, (position, forme, orientation, avec ou sans modificateur).

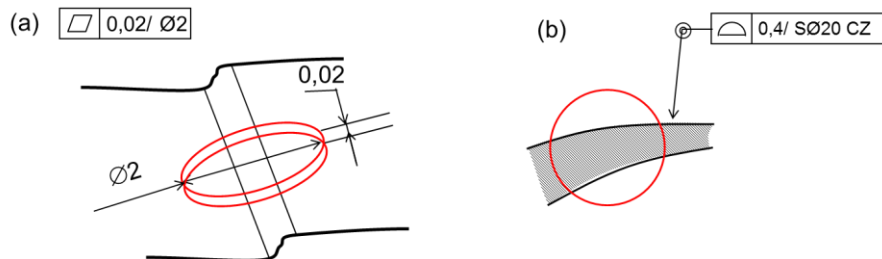


Remarque : Dans le cas (b), quelle que soit **la ligne** prélevée sur la pièce faisant une longueur de 200 mm, le défaut de parallélisme (selon la définition classique), ne peut pas dépasser la valeur prescrite (ici 0,02 mm). Il ne s'agit donc pas d'une pente maximale et cette spécification ne peut pas être employée pour des pièces de dimensions inférieures à la longueur demandée. Très souvent, ce type de spécification est accompagné par une spécification sur toute l'étendue de la surface (a).

1 - 4 - 2 Zone locale glissante

La spécification surfacique (a) sur une zone locale de faible étendue limite les ondulations ou les sauts d'outil à 0,02 en tous les points de la surface.

La spécification volumique(b) sur une zone locale de faible volume permet de maîtriser les épaisseurs de matières sur toutes les parois de la pièce. (En métrologie, l'évaluation de ces spécifications doit être réalisée en bloquant les translations dans le plan tangent à l'une des surfaces nominales)



Remarque: ces spécifications permettent de refuser toute pièce qui aurait un défaut local, dès lors qu'il est détecté. Il est par exemple possible de limiter la mesure sur une ligne critique par exemple sur la trace laissée par le passage d'un outil. Les logiciels de métrologie modernes font un scan de l'ensemble de la pièce pour détecter les anomalies.

2 -SPECIFICATIONS ET REFERENCES SUR SURFACES QUELCONQUES

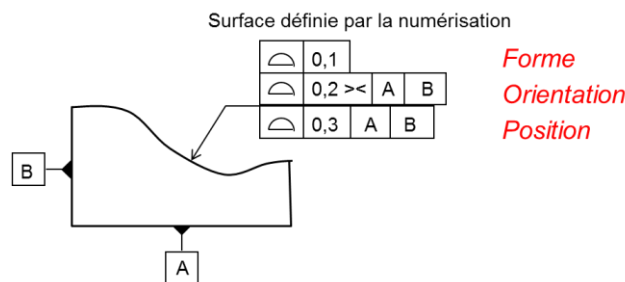
2 - 1 Surface quelconque

2 - 1 - 1 Spécification d'une surface quelconque

Le symbole \frown est le même pour la forme, l'orientation et la position.

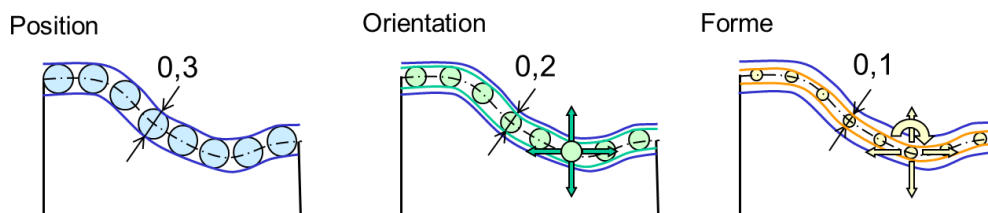
- S'il n'y a pas de référence, c'est de la forme.
- S'il y a un système de références, c'est de la position.

Comme il n'y a pas de symbole pour l'orientation, il faut utiliser le modificateur >> qui signifie « orientation seulement ».



La surface nominale est définie par le modèle nominal de la CAO ou par une multitude de cotes, d'angle et de rayon encadrés ou éventuellement par des équations dans un repère.

Les différentes zones de tolérance obtenues sont les suivantes :

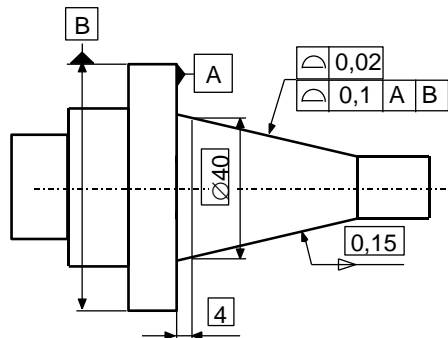


- La zone de tolérance de position est définie par 2 surfaces offset de la surface nominale, telles que tous les points de chaque surface offset soit à la distance $t/2$ de la surface nominale.
- En orientation, la zone est construite de la même façon (centrée sur le nominal) puis cette zone peut être translaturée dans toutes les directions pour placer si possible la surface réelle spécifiée dans la zone de tolérance.
- En forme, la zone est construite de la même façon, puis cette zone peut être déplacée de façon quelconque (par translation et rotation) pour placer si possible la surface réelle spécifiée dans la zone de tolérance.

2 - 2 Cône

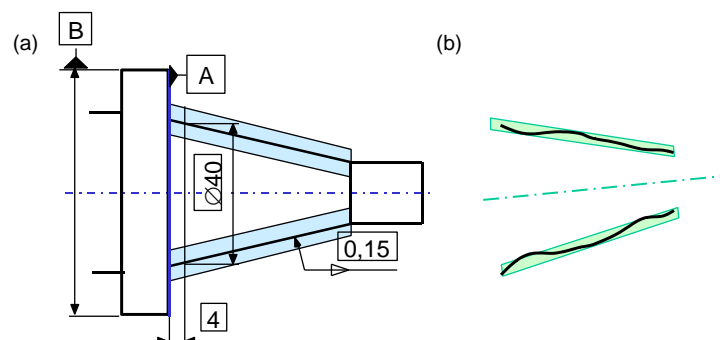
2 - 2 - 1 Spécification de la surface d'un cône

Les cônes sont considérés comme les surfaces quelconques. Le cône est défini par un modèle nominal ou décrit par un plan de jauge et un angle ou une conicité.



La spécification de position à 0,1 par rapport au système de références $\boxed{A \ B}$, permet d'assurer la position du cône par rapport aux autres parties de la pièce et sa taille.

La tolérance de forme quelconque à 0,02 sans référence impose une très bonne qualité au cône.

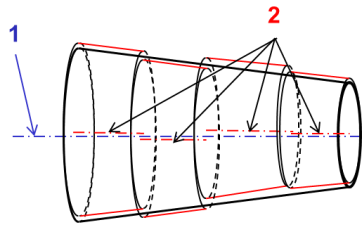
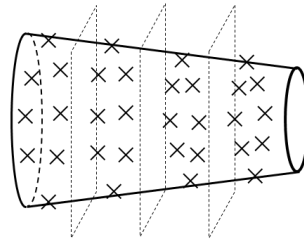
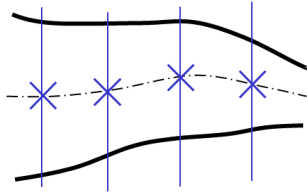


2 - 2 - 2 Spécification de l'axe réel d'un cône

L'axe réel d'un cône est le lieu des centres des sections mesurées dans des plans perpendiculaires au cône nominal associé à l'ensemble du cône réel.

En pratique, il est très difficile de mesurer des points exactement dans un plan perpendiculaire à la direction générale, notamment sur machine à mesurer tridimensionnelle. La moindre déviation engendre des écarts d'autant plus grands que l'angle du cône est important. Pour éviter cela, l'axe réel est caractérisé par les axes des différents tronçons du cône :

Axe = lieu des centres des sections



1 : axe approché du cône
2 : axes des tronçons

Etape 1 : détermination du cône associé à la surface réelle complète => axe approché.

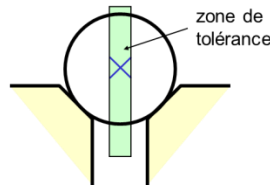
Etape 2 : les points sont séparés en tronçons par des plans perpendiculaires à l'axe approché

Etape 3 : dans chaque tronçon, un cône d'angle nominal parallèle à l'axe approché est associé par les moindres carrés

Etape 4 : l'axe réel est formé par les axes des différents tronçons

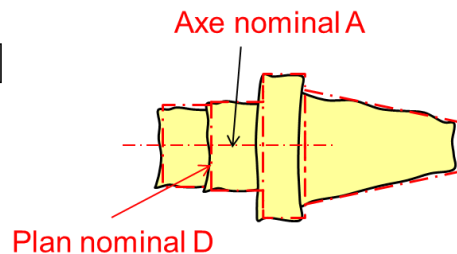
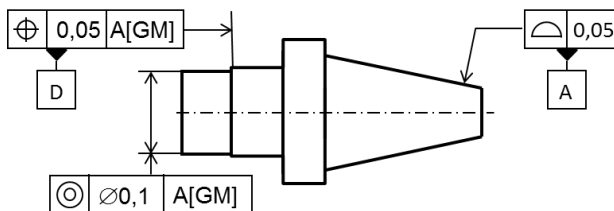
Pour un cône court, la position du cône peut être donnée de manière rapide et approximative par le centre d'une bille placée dans le cône.

Identification par le centre d'une bille



2 - 2 - 3 Référence primaire sur un cône

Le cône étant serré dans son alésage, la référence sur un cône est définie le critère [GM] (surface nominale des moindres carrés). Il faut impérativement préciser le critère d'association [GM], car par défaut, ce serait toujours le critère [GE], qui n'est pas bien adapté.



Le cône du modèle nominal est ainsi associé à l'élément de référence réel, ce qui positionne toutes les surfaces nominales du modèle et les zones de tolérance.

Remarque : pour une définition numérique, il n'est donc pas nécessaire de définir un plan de jauge particulier.

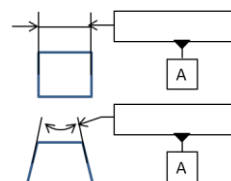
3 - ENTITE BILATERALE

1.1 Identification

Une entité bilatérale correspond à un tenon ou à une rainure formée de plans parallèles ou faiblement inclinés.

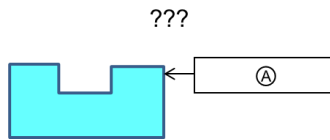
Lorsque la flèche issue du cadre est en face de la cote reliant deux surfaces symétriques, la spécification porte sur ces deux faces.

La lettre placée sous le cadre désigne l'ensemble des deux surfaces à associer en une seule opération.



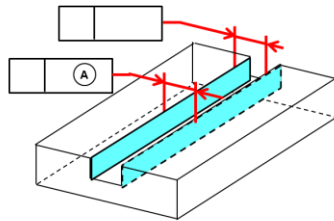
Remarque : Même avec un $\text{\textcircled{A}}$, une seule flèche n'est pas suffisante pour identifier l'autre face.

Une seule flèche ne suffit pas !

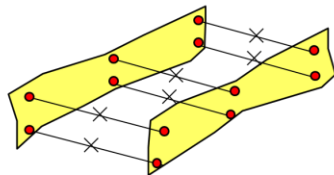


1.2 Spécification d'une rainure ou d'un tenon

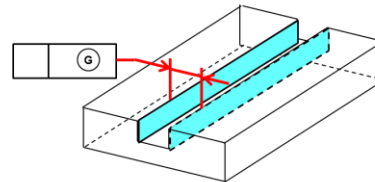
1) L'élément tolérancé est la surface médiane réelle de la rainure



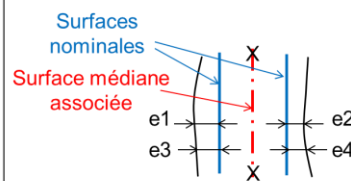
La surface médiane est l'ensemble des milieux des bi-points identifiés "face à face".



2) L'élément tolérancé est la surface médiane des surfaces nominales associées par les moindres carrés



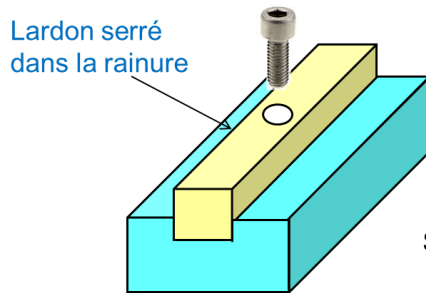
Le modèle nominal est associé en minimisant $S = \sum e_i^2$



Cette définition de l'élément tolérancé peut être étendue à tous les types d'entités symétriques par rapport à un plan.

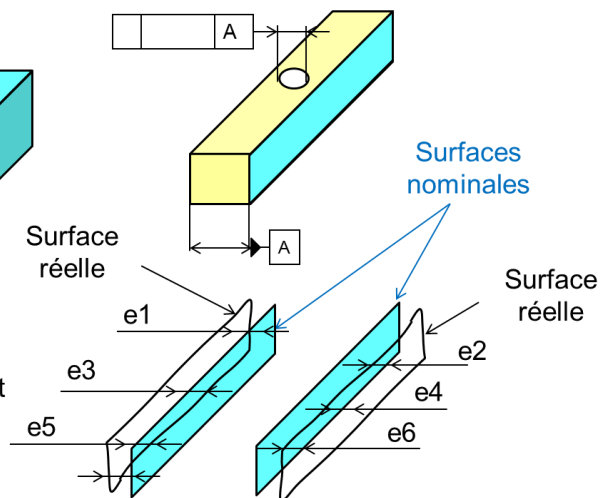
1.3 Référence dans une rainure ou sur un tenon

Depuis 2017, la référence est associée par [GM] (moindres carrés moyens)



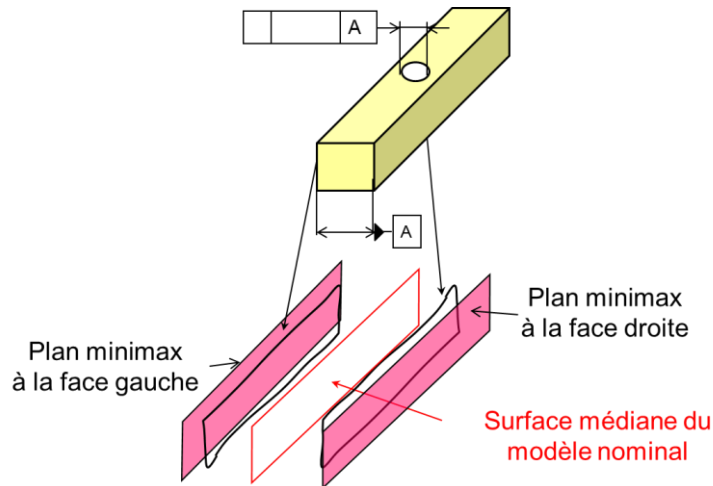
Lardon serré dans la rainure

Le modèle nominal est associé aux deux faces latérales A en minimisant $S = \sum e_i^2$

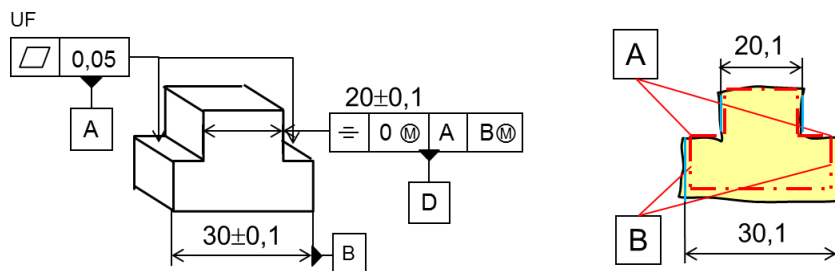


Cette méthode d'association du modèle nominal peut être étendue à tous les types d'entités symétriques par rapport à un plan. Les degrés de liberté résiduels dépendent de la classe de l'entité (pas du plan médian).

Avant 2017, la norme imposait le critère inscrit ou circonscrit qui donne des résultats instables. Il était préconisée de centrer le modèle nominal sur le plan médian (ou bissecteur) des deux plans minimax aux deux surfaces latérales réelles



1.4 Symétrie au maximum de matière



Références :

- Primaire : Plan A, critère [GE] plan extérieur matière aux 2 parties de A, associé par les moindres carrés
- Secondaire B : Les 2 plans B du modèle nominal sont centrés entre 2 plans distants de 30,1 qui doivent être **hors de la matière**
- Nom du symbole : Symétrie
- Surface nominale spécifiée : 2 faces latérales D
- Élément tolérancé : Surface réelle (tous les points des 2 faces latérales D)
- Zone de tolérance : Zone comprise entre 2 plans distants de 20,1 centrée sur les surfaces nominales D
- 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 permet de faire flotter la zone de tolérance de B autour des surfaces réelles pour placer si possible la surface réelle spécifiée D dans la zone de tolérance (entre 2 plans distants de 20,1).

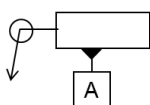
4 - UNITED FEATURE (UF), ZONE COMBINEE (CZ), ZONES SEPARÉES (SZ)

4 - 1 Définitions

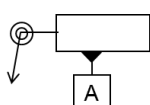
4 - 1 - 1 Evolution des normes

La norme a évolué en 2017 en changeant le sens de certains symboles. Jusqu'à présent, les surfaces associées par les symboles suivants étaient implicitement considérées comme une seule surface. En particulier, la spécification de profil se propageait à toutes les surfaces tangentes entre-elles, jusqu'aux arêtes vives ou aux congés.

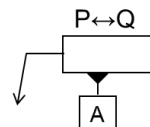
Tout autour



Sur toutes les surfaces



Entre P et Q

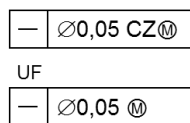


Tout le profil



Pour éviter les ambiguïtés, la norme de 2017 impose² de placer systématiquement un UF (United feature) au-dessus du cadre ou un CZ (zone combinée) à côté de la tolérance.

Inversement, avec le modificateur M ou L , le CZ est maintenant considéré comme implicite dans la 2692 :2014. Cette nouvelle règle étant critiquable, elle est susceptible d'être retirée dans une prochaine norme.



Il est recommandé de laisser le CZ ou un UF pour éviter tout doute.

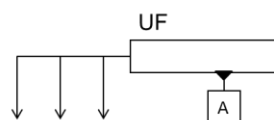
Ces changements peuvent être la cause de beaucoup de litiges.

Le modificateur UF associe les surfaces spécifiées en une seule surface, avec une seule zone de tolérance

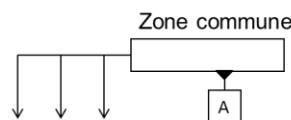
Le modificateur CZ (zone combinée) impose à plusieurs surfaces de se trouver dans une seule zone commune

Remarque : dans la plupart des cas, il n'y a pas de différence fonctionnelle entre UF et CZ. Il y a une différence uniquement avec les modificateurs C et P : l'association est globale avec UF et indépendante avec CZ (voir section 5 - 5).

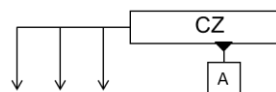
Les lignes repères désignent toutes les surfaces spécifiées. Avec UF (United feature) au dessus du cadre, ces différentes surfaces constituent une seule surface avec une seule zone de tolérance.



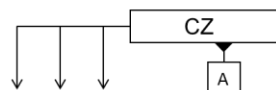
Avec l'ancienne pratique (avant 2005), l'indication "zone commune" placée au dessus du cadre impose à l'ensemble des surfaces réelles tolérancées de respecter une seule zone de tolérance commune.



L'indication "Zone commune" est ensuite passé à côté de la tolérance.



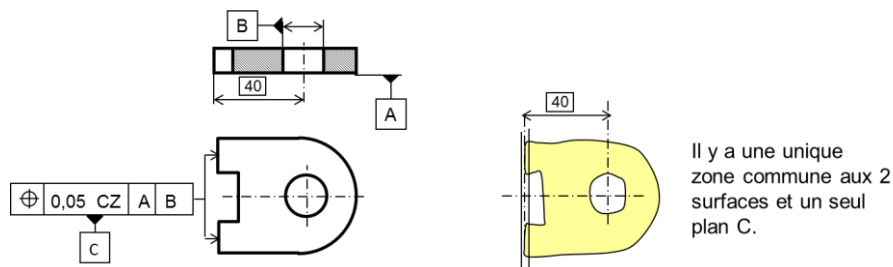
Dans la nouvelle ISO 1101:2017, CZ devient "Zone combinée" (au singulier).



La lettre placée sous le cadre désigne l'ensemble des surfaces à associer en une seule opération.

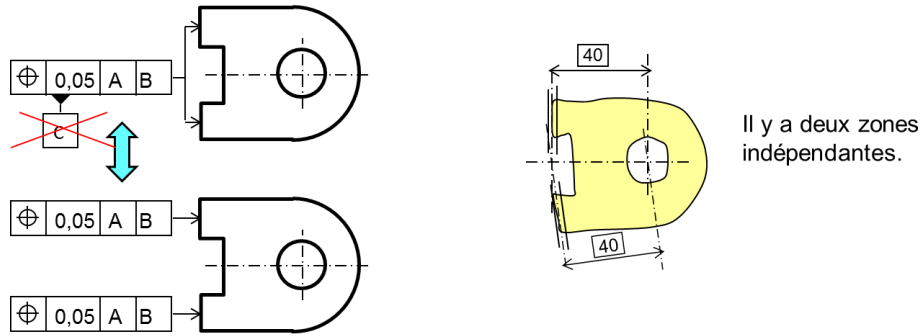
4 - 1 - 2 Comparaison avec et sans CZ

Ci-dessous, les deux surfaces réelles doivent appartenir simultanément à la zone de tolérance commune aux deux surfaces.



Sans CZ, la spécification est équivalente à la recopie de la spécification sur chaque plan. Chaque spécification doit être vérifiée indépendamment l'une de l'autre. Dans le cas de cette pièce, le système de référence A | B laisse libre la rotation autour de B, pour placer, si possible chaque surface dans sa zone de tolérance.

² La norme 1660 de 2017 dit qu'une spécification est ambiguë sauf si le système de références bloque tous les degrés de liberté nécessaires.



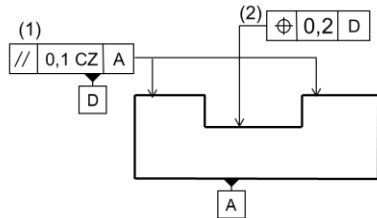
Remarque : sans CZ, il n'est pas possible de placer un indicateur de référence C sous ce cadre de tolérance. C pourrait être interprété comme étant le nom donné à chacune des deux surfaces, hors il ne faut pas que 2 surfaces différentes aient le même nom.

Sans CZ ni UF, la spécification est répétée, mais cela peut poser le problème de fractionnement des surfaces spécifiées en surfaces indépendantes. (voir 4 - 6).

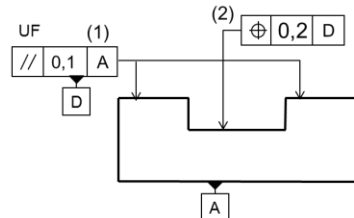
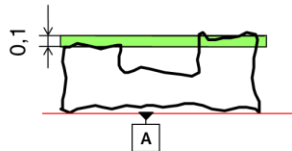
4 - 2 Applications

4 - 2 - 1 Plans coplanaires

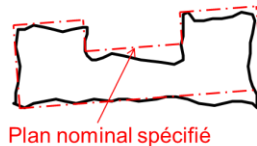
Les spécifications (1) et (2) ont respectivement la même signification. La lettre D est le nom unique donné aux deux plans.



Pour la spécification (1), les surfaces réelles tolérancées doivent appartenir à la zone de tolérance parallèle à la surface nominale D



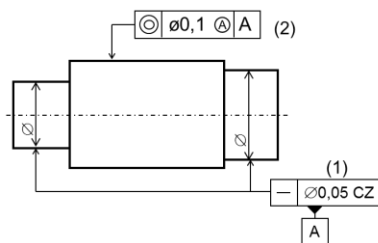
Pour la spécification (2), le modèle nominal est associé aux deux parties du plan D, avec le critère [GE] (plan extérieur matière des moindres carrés)



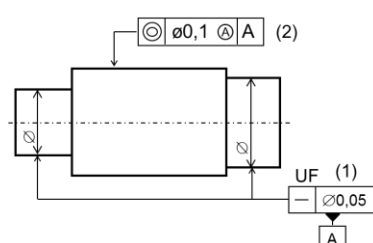
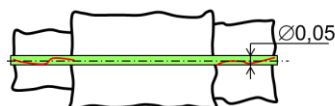
4 - 2 - 2 Cylindres coaxiaux

Les spécifications (1) et (2) ont respectivement la même signification.

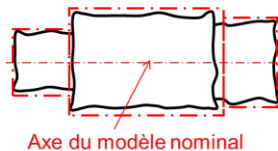
La lettre A est le nom unique donné aux deux cylindres.



Pour la spécification (1), les axes réels tolérancés (lieux des centres des sections) doivent appartenir à la zone de tolérance



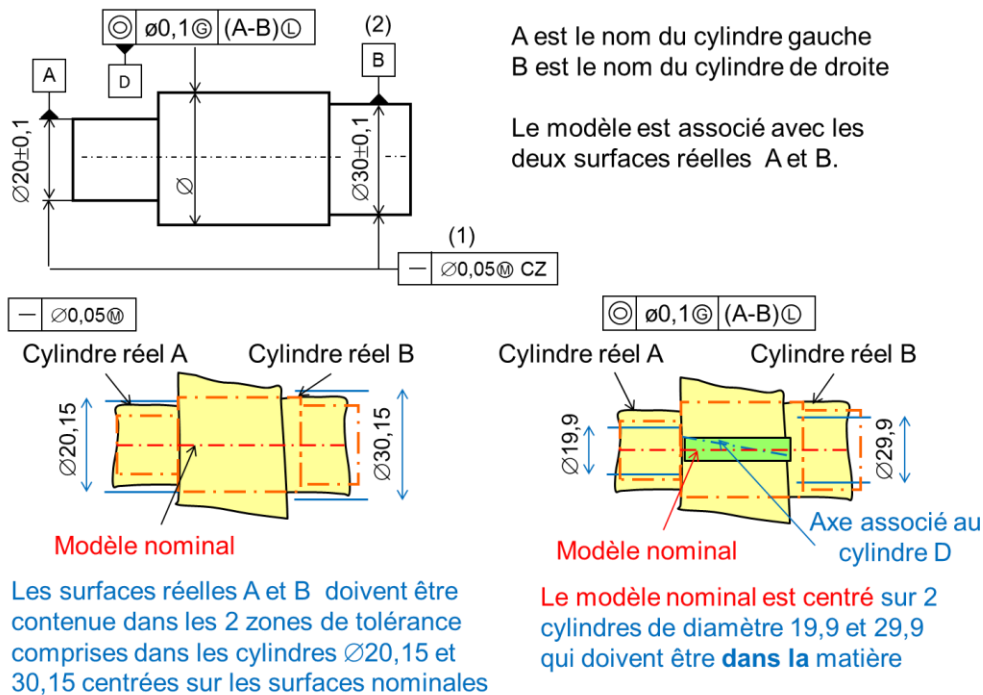
Pour la spécification (2), le modèle nominal est associé aux deux cylindres A, avec le critère [GM] (moindres carrés)



4 - 2 - 3 Références communes

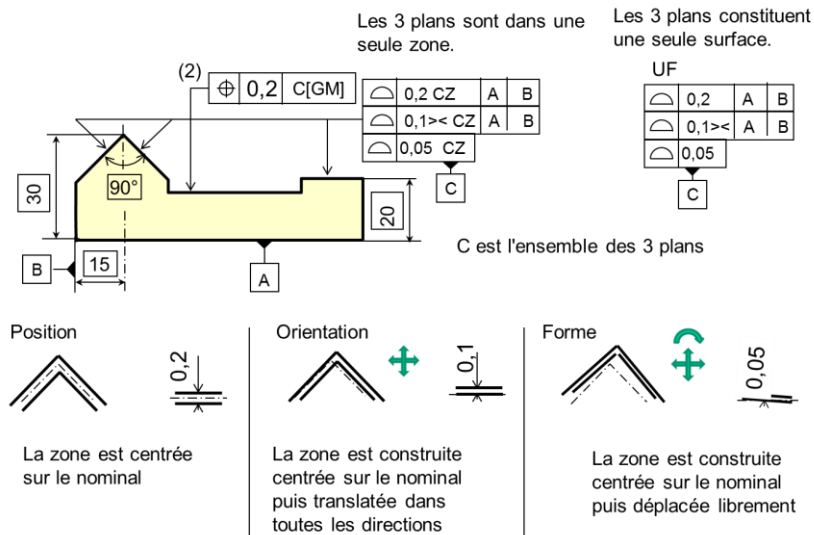
Le terme référence commune signifie que l'association du modèle nominal est réalisé en une seule opération à l'aide des surfaces réelles désignées dans la liste. Ex : A-B

Dans cet exemple, chaque cylindre est désigné par une lettre. La référence A-B impose d'associer le modèle nominal aux deux surfaces A et B en une seule opération.

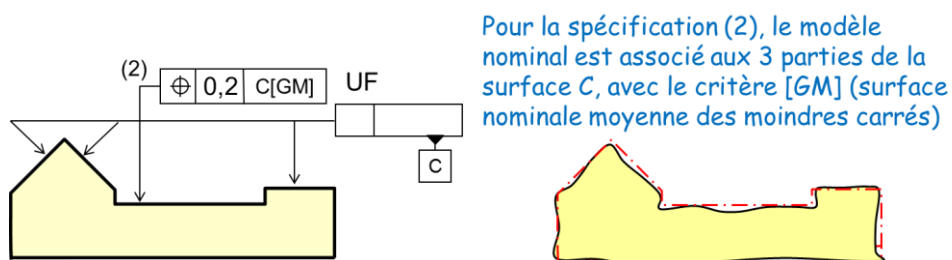


4 - 3 Surfaces quelconques

Depuis 2017, que la surface soit continue ou pas, il faut mettre impérativement un UF ou un CZ pour que l'ensemble des surfaces soient dans la même zone de tolérance, que ce soit pour la position, pour l'orientation et pour la forme.



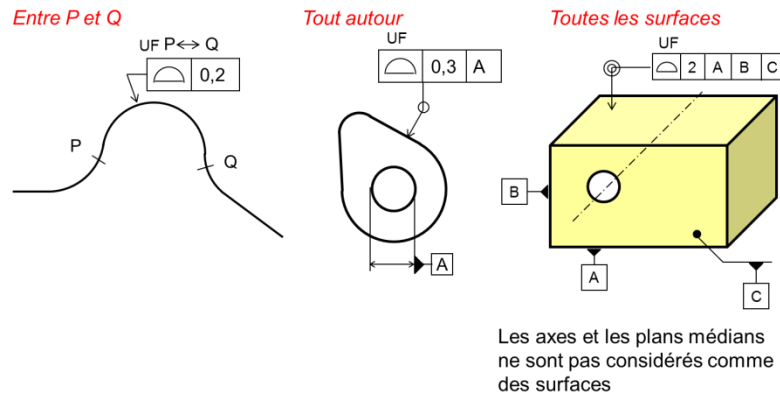
La lettre C désigne l'ensemble des surfaces. Lorsque C est utilisé en référence, le modèle nominal est associé en une seule opération à toutes les parties de C.



4 - 4 Construction d'une entité

Pour éviter de mettre une multitude de lignes repère pour désigner un grand nombre de surfaces, trois indications sont possibles, en ajoutant l'indication UF au-dessus de l'indicateur de tolérance :

- Avec le symbole \leftrightarrow « entre », toutes les surfaces comprises entre les deux lignes P et Q constituent une seule surface.
- Avec le symbole O « tout autour » placé sur la ligne repère, toutes les surfaces du profil visible dans la vue constitue une seule surface.
- Avec le symbole \odot « sur toute la pièce » placé sur la ligne repère, la spécification porte sur toutes les surfaces de la pièce (les axes et les surfaces médianes ne sont pas considérées comme des surfaces).



4 - 5 Application au tolérancement général

4 - 5 - 1 Principe

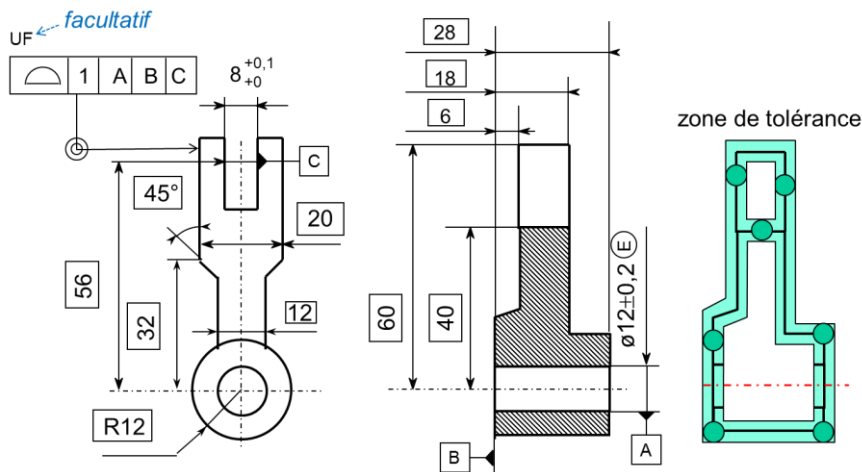
Le tolérancement général d'une pièce peut être imposé par une spécification de position d'une surface quelconque avec le symbole \odot (sur toutes les surfaces) sur la ligne repère. Le système de références est construit sur les surfaces de mise en position de la pièce sur son support. Les cotes encadrées définissent les positions théoriques de toutes les surfaces par rapport à ce système de références. Chaque surface doit être comprise dans une zone de largeur t située symétriquement par rapport à chaque surface nominale.

Il est préférable de ne pas mettre de modificateur \textcircled{M} ou \textcircled{L} sur le système de références pour permettre le contrôle indépendant de chaque surface, tout en garantissant les épaisseurs de paroi. Normalement, ce système de références doit bloquer tous les degrés de liberté. L'indication UF n'est donc pas nécessaire.

Remarque 1 : cette méthode permet de spécifier les surfaces brutes par rapport aux systèmes de références de mise en position de la pièce, ce qui garantit l'absence de collision avec les pièces voisines.

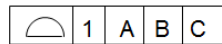
Remarque 2 : cette spécification de position des surfaces ne porte pas sur les axes et les surfaces médianes. Il est donc conseillé de définir séparément la position des taraudages. Le plan de « fond de filet » qui caractérise la profondeur d'un taraudage peut être considéré comme une surface avec une assez grande incertitude dans l'état actuel des normes.

Remarque 3 : il n'y a pas d'incompatibilité du tolérancement général ainsi défini, avec les autres spécifications qui sont plus sévères et/ou par rapport à un autre système de références.

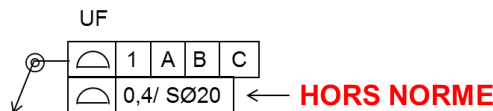


Lorsque le modèle a été défini en CAO aux dimensions moyennes désirées, il est possible de considérer que le modèle CAO définit les dimensions théoriquement exactes. Dans ce cas, l'indication suivante peut préciser le modèle CAO contractuel. (Un symbole spécifique est en cours d'étude pour remplacer ce commentaire):

Surfaces nominales définies par le modèle 11-02-7394



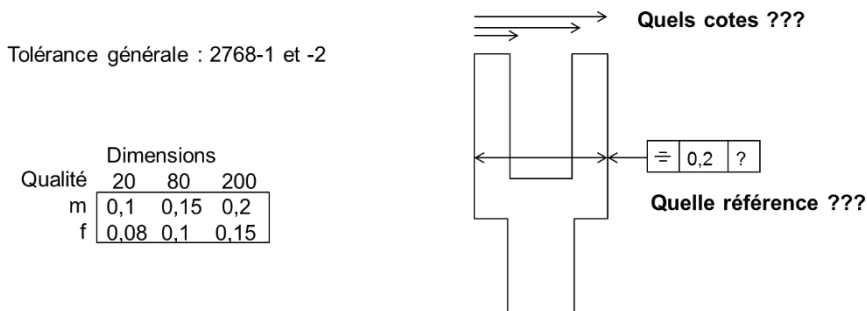
La tolérance générale est assez large. L'ajout d'une spécification de forme dans un volume glissant avec une tolérance plus faible permet de mieux maîtriser les épaisseurs des parois.



4 - 5 - 2 Norme 2768 de tolérancement général

Les normes de tolérancement général ISO 2768-1 et -2 (1989) pour l'usinage et d'autres normes pour les autres procédés de réalisation de pièces (fonderie, estampage...) donnent les tolérances pouvant être assez facilement tenues en production pour différents types de spécifications (cote, forme, orientation, position...), pour différentes étendues de surfaces spécifiées et pour différentes qualités du mécanisme (fine, moyenne...). Le concepteur peut ainsi savoir si le procédé envisagé est capable de respecter les tolérances souhaitées. Le concepteur peut lire la tolérance proposée par la norme et il doit l'indiquer clairement sur la cote ou sur la spécification qu'il souhaite imposer à sa pièce.

Cependant, une mauvaise habitude s'est installée en indiquant simplement dans le cartouche le nom de la norme 2768 comme tolérance générale, ce qui ne permet pas de savoir quelles sont les cotes, les parallélismes, les perpendicularités à vérifier. Cet emploi est source de nombreuses difficultés, à la fois en bureau des méthodes, en métrologie et naturellement lors des contrôles de réception. Cette cotation oblige chacun des lecteurs du dessin de consulter un très grand nombre de fois la norme tout au long de la vie du produit, avec des interprétations incertaines. Le temps et la fiabilité gagnés en écrivant une fois pour toute la tolérance est énorme.



De plus, cette norme 2768 indique la règle suivante : « les pièces excédant la tolérance géométrique générale ne doivent pas être automatiquement rebutée », ce qui signifie qu'une pièce hors tolérance générale ne peut pas être refusée.

Cette mauvaise pratique des normes de tolérance générale doit être abandonnée. Face à ces difficultés, cette norme va être annulée et remplacée par des spécifications basées sur la position de profil.

4 - 6 Zones séparées SZ

La figure suivante illustre partiellement les problématiques induites par la modification du sens des spécifications par les normes éditées prématurément en 2017, en particulier en raison de la définition insuffisante du modificateur SZ et des conflits avec le CZ implicite avec M ou L .

La figure (a) est très claire depuis 2017 : le profil entre les lignes P et Q forme une seule surface avec une seule zone de tolérance de forme. La lettre A désigne l'ensemble de ce profil.

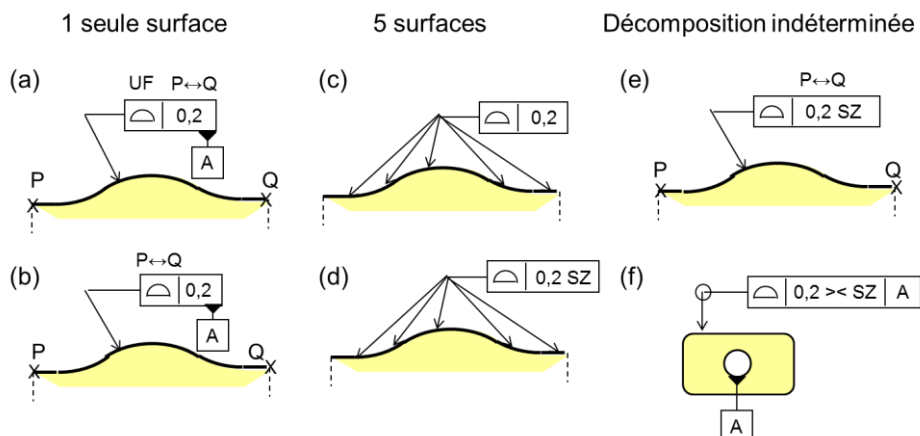
Avant 2017, la figure (b) était clairement équivalente à la figure (a) car le symbole « entre » et la spécification de profil constituaient explicitement une seule surface. Depuis 2017, à défaut d'un modificateur CZ, SZ ou UF, elle ne peut être interprétée autrement qu'équivalente à la figure (a). (Par défaut, le UF est implicite, mais il n'est pas recommandé de ne pas mettre le UF).

L'écriture de la figure (c) est équivalente à 5 recopies de la spécification de forme, une pour chaque surface spécifiée. Les 5 zones de tolérance sont indépendantes.

Pour une spécification de forme, la figure (d) est très claire : Les 5 zones de tolérance sont indépendantes. (Une zone par surface).

La figure (e) doit être rejetée, car elle impose clairement des zones indépendantes, mais la décomposition du profil en surfaces indépendantes est indéterminée. La norme 1660 ne donne aucune règle, en particulier lorsque les surfaces sont tangentes ou séparées par des congés ou pour des surfaces complexes constituées de carreaux.

La figure (f) pose la difficulté de séparation des surfaces, avec le cas particulier des arrondis qui peuvent être considérés dans le profil ou comme des congés bitangents. D'autre part, cette spécification laisse une mobilité en rotation autour de A et les mobilités en translation avec \gg . Le SZ signifie que les zones sont indépendantes. Elles sont parallèles aux surfaces nominales correspondantes, mais la norme ne précise pas si le nominal est commun pour toutes les surfaces ou si l'orientation du nominal est indépendante pour chaque surface (ce qui reviendrait à considérer que la spécification est dupliquée comme en (c)). Le problème serait similaire pour le flottement d'une référence au M et L ou avec une référence suivi de \gg .



En conclusion, il est impossible d'utiliser le SZ sur un contour ou un profil, sans indiquer chacune des surfaces « séparées » par des lignes repères. Il est donc impossible d'analyser le cas (b) avec un SZ implicite.

5 - GROUPE

5 - 1 Localisation, orientation et forme dans un groupe

Un groupe est un ensemble de trous identiques ou, plus généralement, un ensemble de surfaces similaires reproduites plusieurs fois sur la pièce généralement selon une grille ou un pas constant.

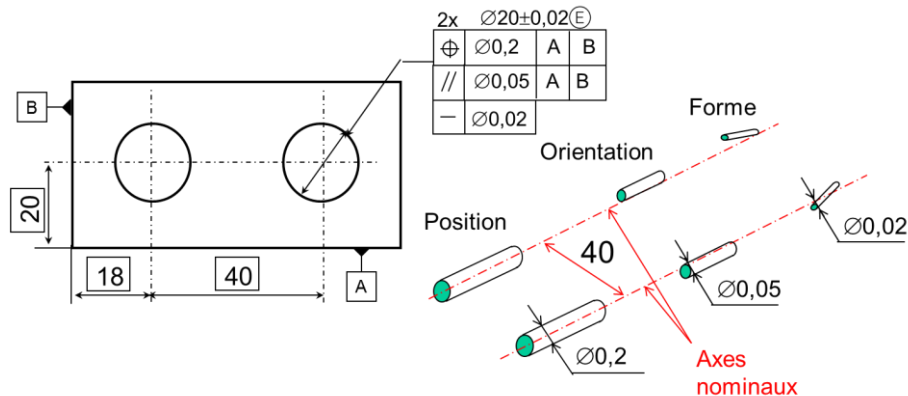
L'indication nx au-dessus du cadre de tolérance indique que les n trous sont à considérer simultanément avec les mêmes tolérances. Il y a n zones de tolérance centrées sur les n axes.

Les positions des n axes sont définies par le modèle nominal ou par des cotes encadrées. Implicitement, la répartition angulaire sur un cercle est uniforme avec un angle de $360^\circ/n$ entre les trous.

Le modèle nominal est associé à la pièce par le système de références. Si le système de références laisse des degrés de liberté, le modèle nominal peut être déplacé pour placer si possible les éléments tolérancés dans les zones de tolérance.

Contrairement au CZ et UF, dans un groupe avec nx, il y a n zones de tolérances. Il est possible de superposer les différents types de spécifications dans un groupe :

- Les n zones de tolérances de localisation sont centrées sur les axes nominaux.
- Les n zones de tolérances d'orientation sont parallèles aux axes nominaux.
- Les n zones de tolérance de forme sont libres (indépendantes des axes nominaux)

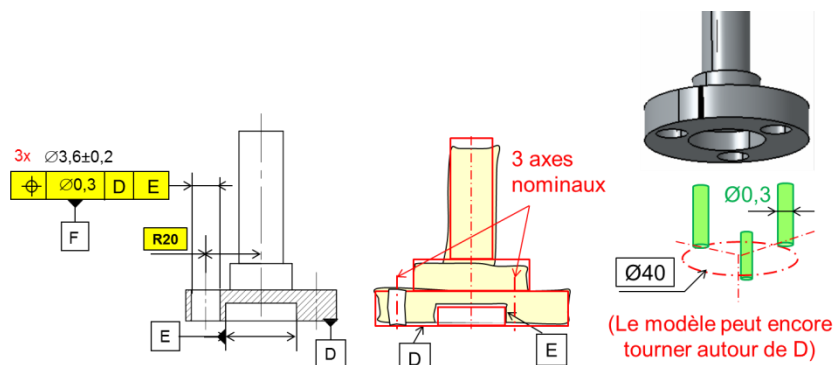


La cote de diamètre placée à droite du nx ou sur la ligne repère devant l'indicateur de tolérance s'applique à tous les trous.

Remarque : un projet de norme 5458 plus lointain prévoit de modifier l'écriture actuelle des localisations en imposant d'ajouter un CZ à côté de la tolérance. Cette norme est trop compliquée, incomplète, voire incohérente et n'est pas publiée. Elle ne doit pas être utilisée car elle doit encore évoluer en particulier pour gérer les modificateurs \textcircled{M} \textcircled{L} . Elle n'est pas prise en compte dans ce document.

5 - 2 Lecture des localisations dans un groupe

5 - 2 - 1 Localisation sans modificateur



Références :

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

Secondaire : cylindre E, critère [GM] des moindres carrés

Nom du symbole : Localisation

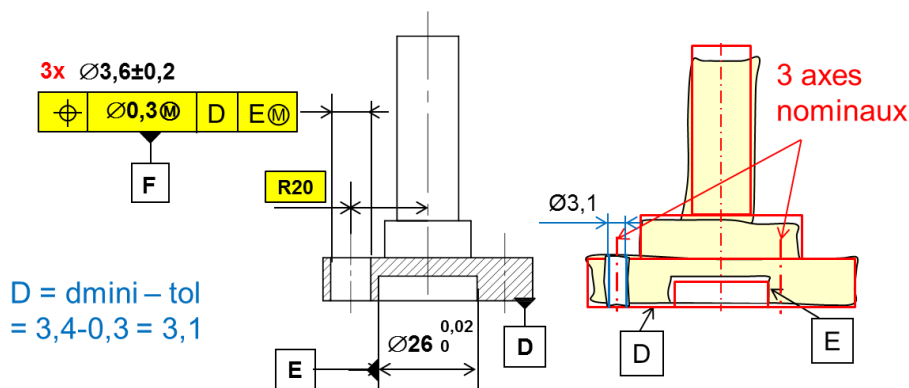
Surfaces nominales spécifiées : 3 trous

Éléments tolérancés : 3 axes réels (lieu des centres des sections)

Zones de tolérance : 3 Zones cylindriques Ø0,3 centrées sur les axes nominaux

Validation : La spécification est respectée si les éléments tolérancés sont dans les zones de tolérance

5 - 2 - 2 Localisation avec modificateur M



Références :

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

Secondaire : Le cylindre nominal E est centré sur un cylindre $\varnothing 26$ qui doit être hors matière

Nom du symbole : Localisation

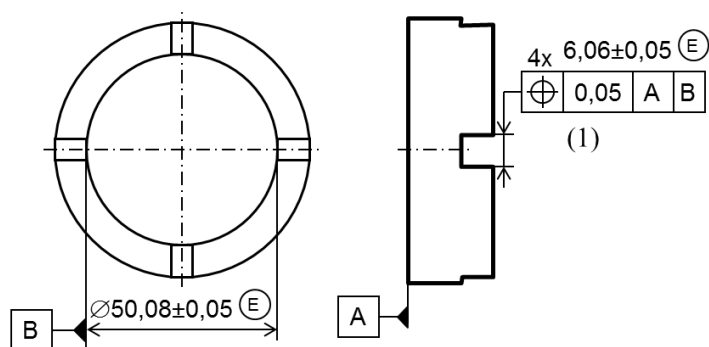
Surfaces nominales spécifiées: 3 trous

Éléments tolérancés : 3 surfaces réelles (tous les points des surfaces)

Zones de tolérance : 3 Zones extérieures aux cylindres $\varnothing 3,1$ centrés sur les axes nominaux

Validation : La spécification est respectée si les éléments tolérancés sont dans les zones de tolérance

5 - 2 - 3 Localisation de rainures



Références :

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

Secondaire : cylindre B, critère [GM] des moindres carrés

Nom du symbole : Localisation

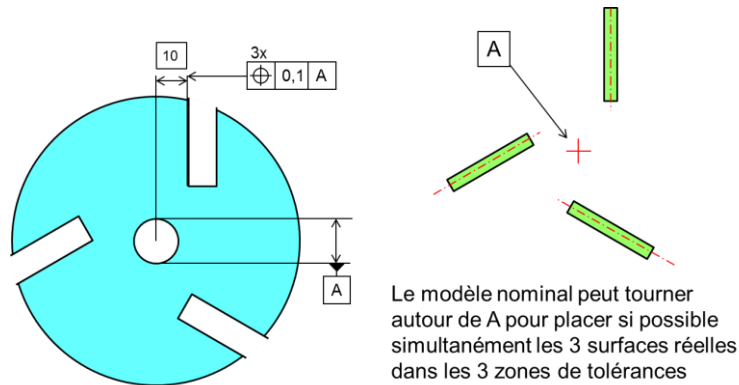
Surfaces nominales spécifiées: 4 rainures

Éléments tolérancés : 4 surfaces médianes réelles (lieux des milieux des bipoints)

Zones de tolérance : 4 Zones comprises entre 2 plans distants de 0,05, centrées sur les rainures nominales

Validation : La spécification est respectée si les éléments tolérancés sont dans les zones de tolérance

5 - 2 - 4 Groupe de plans



Références :

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

Nom du symbole : Localisation

Surfaces nominales spécifiées: 3 plans

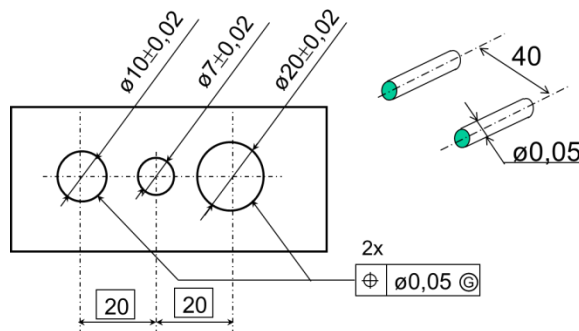
Éléments tolérancés : 3 surfaces réelles (tous les points des surfaces)

Zones de tolérance : 3 Zones comprises entre 2 plans distants de 0,1, centrées sur les plans nominaux

Validation : La spécification est respectée si les éléments tolérancés sont dans les zones de tolérance

5 - 2 - 5 Groupe de trous différents

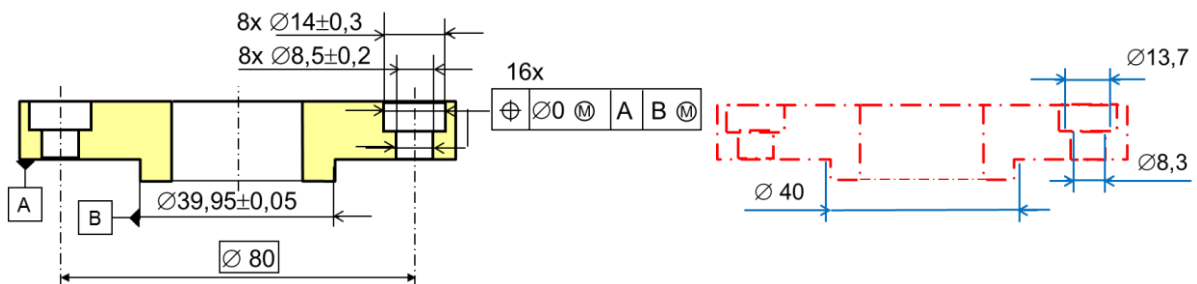
Si les trous sont différents, il faut désigner au moins un représentant de chaque type par une ligne repère et placer les diamètres sur chaque trou.



Remarque : en CAO, les éléments spécifiés sont facilement identifiables. Un commentaire placé au-dessus de l'indicateur de tolérance peut préciser les éléments spécifiés : ex : trous $\varnothing 10$ et $\varnothing 20$.

5 - 2 - 6 Groupe de trous lamés

Les 8 trous $\varnothing 8,5$ et les 8 lamages $\varnothing 14$ ne sont pas des groupes indépendants. En effet, la fonction impose qu'il n'y a aucune interférence avec 8 vis centrées dans les taraudages de la pièce en vis à vis. Il faut donc que les 16 alésages respectent simultanément leurs zones de tolérance.



Le modèle nominal est associé au plan primaire A avec [GE], de sorte que le cylindre $\varnothing 40$ soit hors matière de B. La mobilité résiduelle doit permettre de placer, si possible, les 16 alésages dans les 16 zones de tolérance.

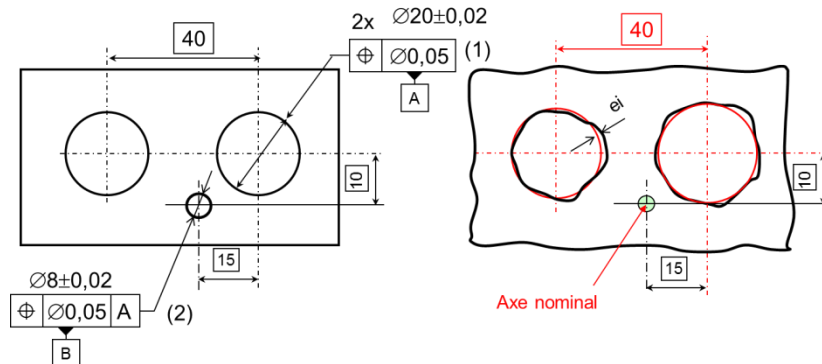
Remarque : Il aurait été équivalent de définir le trou lamé avec un UF pour considérer que les deux alésages forment une seule surface afin de localiser les 8 trous lamés avec UF 8x.

5 - 3 Référence dans un groupe

5 - 3 - 1 Référence depuis 2017

La lettre A placée sous l'indicateur de tolérance (1) désigne l'ensemble des deux alésages.

Pour la localisation (2), le modèle nominal est associé avec le critère [GM] moindres carrés, en une seule opération à l'ensemble des deux trous.

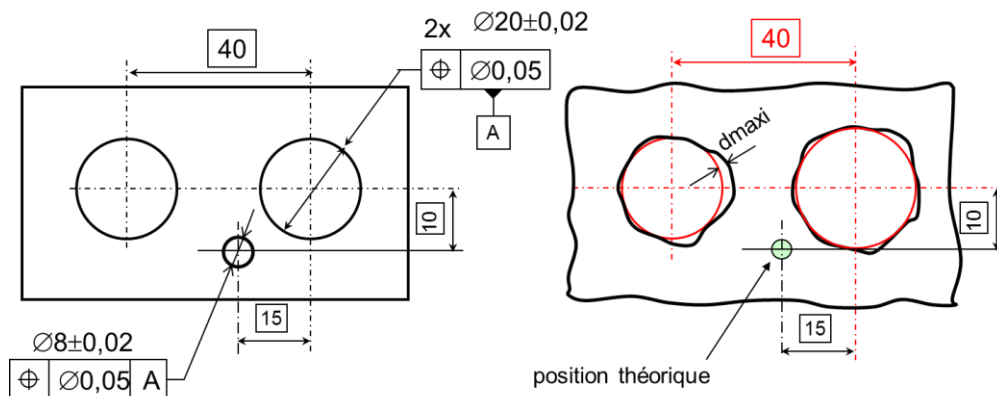


Remarque : si la répartition des points est parfaitement uniforme, l'association est indépendante des diamètres des cylindres associés. Par contre, il est possible de laisser varier les diamètres pour minimiser l'incertitude apportée par une répartition non parfaitement uniforme.

Le modèle nominal définit l'axe nominal de B

5 - 3 - 2 Référence avant 2017

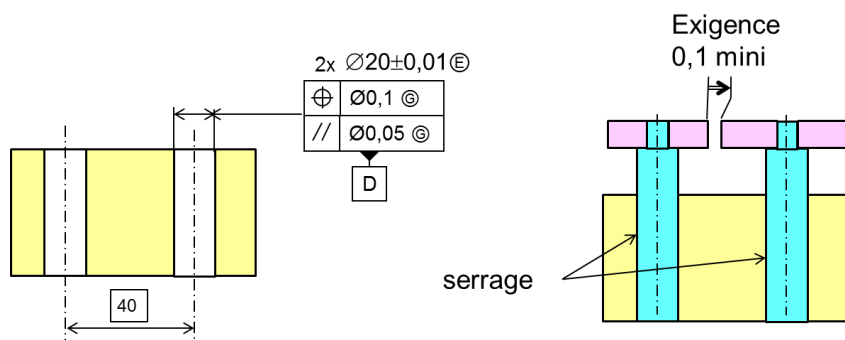
Avant 2017, la référence est formée par les axes des cylindres de diamètres quelconques, extérieur matière, en position nominale qui minimisent la distance maxi (critère [CE] = minimax)



5 - 4 Orientation dans un groupe

5 - 4 - 1 Orientation de trous simples

Dans l'exemple suivant, il faut respecter une exigence de distance mini entre deux galets montés sur deux arbres serrés dans les alésages. La localisation des alésages est complétée par un parallélisme pour limiter l'effet du porte-à-faux.



Référence :

Nom du symbole : **Orientation**

Surfaces nominales spécifiées : 2 alésages D

Éléments tolérancés : 2 axes associés par les moindres carrés (indépendamment pour chaque alésage)

Zones de tolérance 2 Zones cylindriques $\varnothing 0,05$, parallèles aux axes nominaux

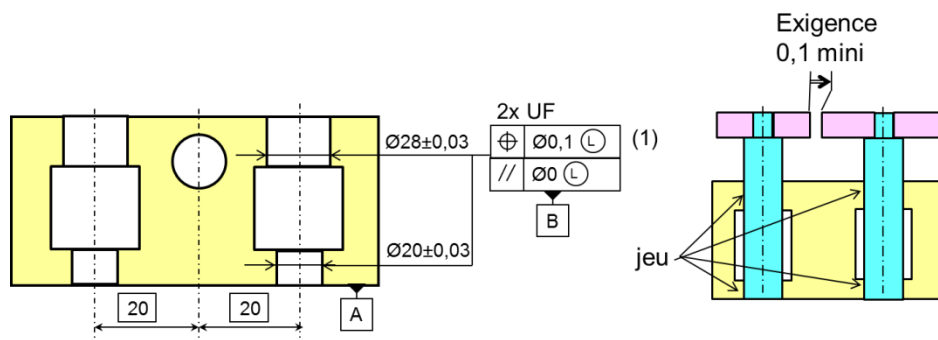
Validation : La spécification est respectée si les éléments tolérancés sont dans les zones de tolérance

Les deux spécifications étant indépendantes, la position du nominal est différente pour chaque spécification.

Remarque : Pour ce besoin, il est préférable de spécifier directement les alésages dans une plage de projection \textcircled{C} qui correspond à l'épaisseur du galet. Cet usage des spécifications d'orientation est donc assez limité.

5 - 4 - 2 Orientation de trous étagés

Dans l'exemple suivant, il faut respecter une exigence de distance mini entre deux galets montés sur deux arbres guidés avec jeu dans les alésages. La localisation des alésages est complétée par un parallélisme pour limiter l'effet du porte-à-faux. Le jeu étant défavorable à cette exigence, les spécifications sont au minimum de matière.

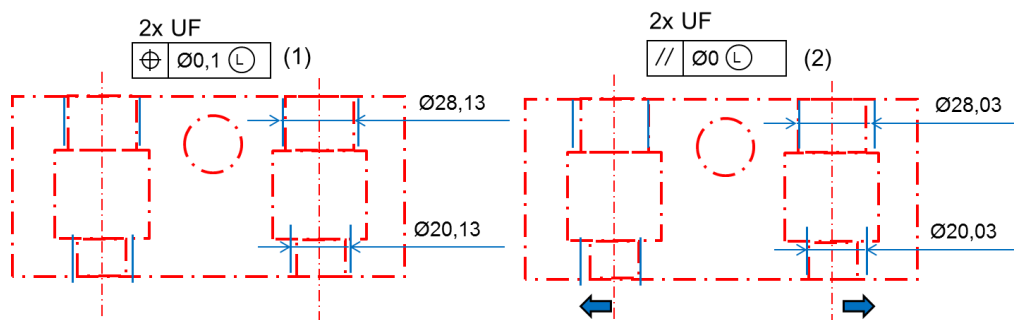


L'indication UF définit une entité composée des deux alésages coaxiaux identifiés par les deux lignes repères qui sont considérés comme une seule surface. Le groupe est constitué de deux entités.

Pour la localisation (1), chaque entité doit respecter la zone de tolérance formée par 2 cylindres coaxiaux $\varnothing 28,13$ et $\varnothing 20,13$. Il y a deux entités (2x) donc 2 zones de tolérances centrées sur les axes nominaux.

Remarque : la localisation avec 4x (sans UF) serait équivalente.

Pour l'orientation (2), chaque entité doit respecter la zone de tolérance formée par 2 cylindres coaxiaux $\varnothing 28,03$ et $\varnothing 20,03$. Il y a deux entités (2x) donc 2 zones de tolérances parallèles aux axes nominaux.

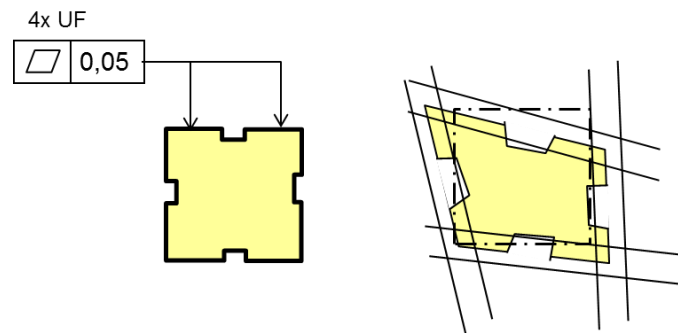


En orientation, avec ce modificateur \textcircled{C} , le CZ ne peut pas être considéré comme implicite.

5 - 4 - 3 Forme des éléments d'un groupe

L'indication UF définit une entité composée des deux plans coplanaires identifiés par les deux lignes repères qui sont considérés comme une seule surface. Le groupe est constitué de quatre entités.

Il y a 4 zones de tolérance de forme, une pour chaque entité formée des deux plans coplanaires.



5 - 5 Différences entre UF, CZ et Nx

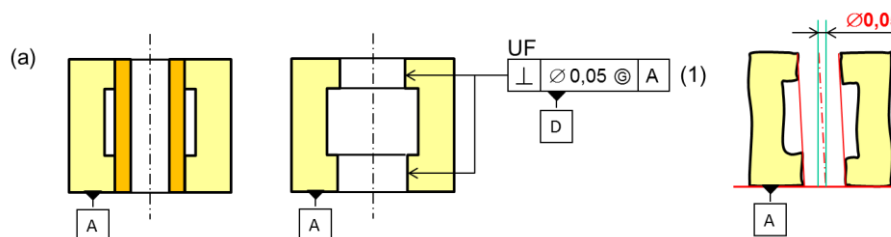
5 - 5 - 1 Principe

Trois indications permettent de spécifier plusieurs surfaces :

- UF (united feature) constitue une seule entité à partir de plusieurs surfaces distinctes.
- CZ (Zone Combinée) impose que la zone de tolérance soit commune à plusieurs surfaces.
- Nx (groupe de N éléments) impose N zones de tolérances.

La différence peut en particulier être appréciée avec les modificateurs \textcircled{G} et \textcircled{P} et pour les spécifications d'orientation.
Remarque : Le choix ne peut pas se faire à partir de la géométrie, mais en fonction du besoin !

Dans le cas (a), le coussinet est serré dans les deux alésages. L'alésage du coussinet doit être perpendiculaire au plan A. L'axe du cylindre extérieur du coussinet est modélisable par l'axe du cylindre des moindres carrés associé en une seule opération à l'ensemble des deux alésages. Dans la perpendicularité (1), avec UF, les deux alésages sont considérés comme une seule surface. Le modificateur \textcircled{G} associe effectivement un seul cylindre des moindres carrés. L'axe de ce cylindre associé doit être compris dans une zone de tolérance $\varnothing 0,05$ perpendiculaire à la référence A.

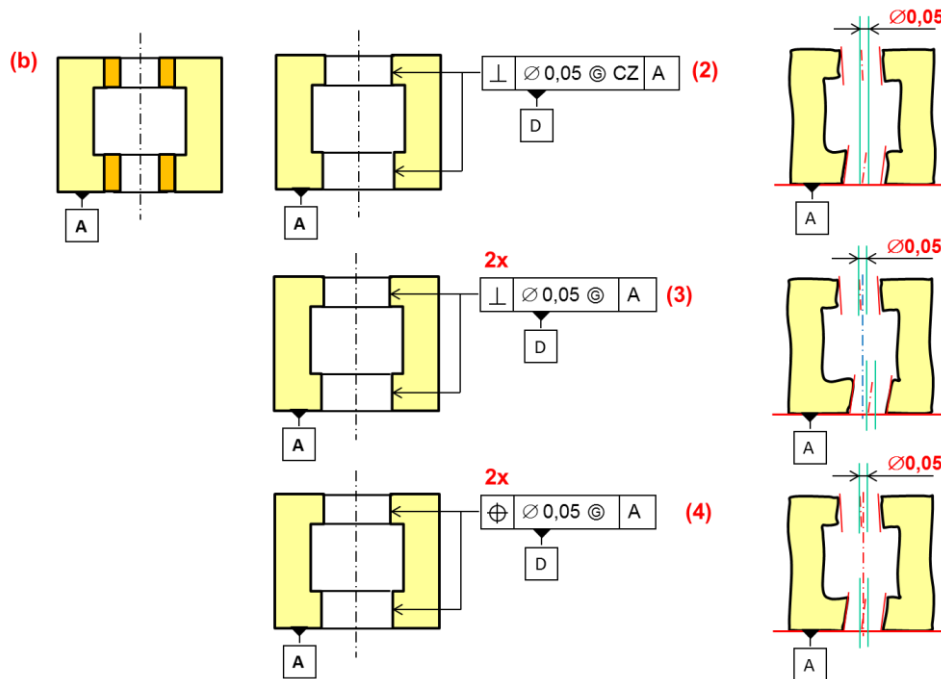


Dans le cas (b), le guidage est assuré par deux coussinets serrés indépendamment dans les deux alésages. Les deux axes des alésages des deux coussinets doivent respecter un état virtuel au maximum de matière perpendiculaire au plan A. L'élément toléré est constitué par les deux axes associés indépendamment à chaque alésage par les moindres carrés.

Avec la perpendicularité (2), les deux axes associés doivent être compris dans une seule zone de tolérance commune $\varnothing 0,05$ perpendiculaire à la référence A.

Avec la perpendicularité (3), les deux axes associés doivent être compris respectivement dans 2 zones de tolérance parallèles à l'axe nominal. (Cette spécification ne correspond pas au besoin car les zones ne sont pas coaxiales).

Dans la localisation (3), les deux axes associés doivent être compris dans deux zones de tolérance $\varnothing 0,05$ centrées sur l'axe nominal. Cependant, le modèle nominal peut glisser sur A. Cette spécification est donc équivalente à la perpendicularité (2).



5 - 6 Répétition

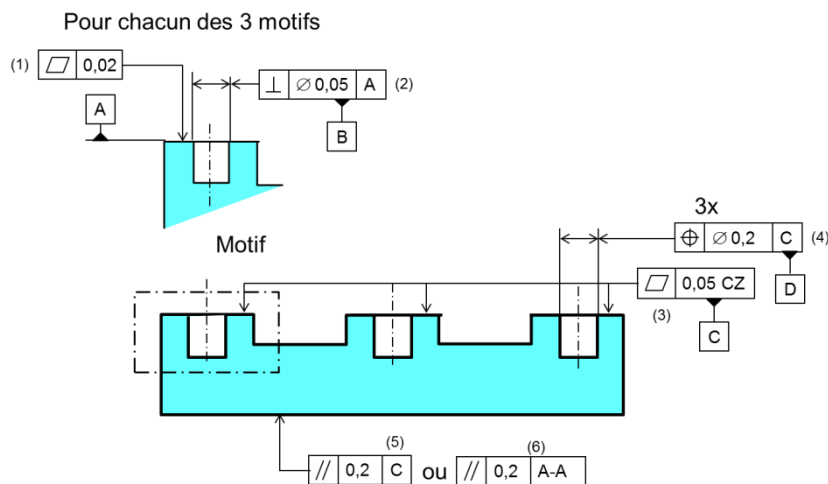
5 - 6 - 1 Répétition de la cotation d'un motif

Il n'y a pas de symbole normalisé pour indiquer la répétition de cotations au sein de motifs (le SZ n'est pas suffisant).

Traditionnellement, le motif est identifié sur le dessin par une cadre en trait mixte. Un détail séparé (ou non) précise la cotation avec un commentaire qui indique le nombre de répétitions.

Dans cet exemple, le motif est répété 3 fois. Dans chaque motif, il y a un plan de référence A et un alésage B. Chaque plan A doit respecter une planéité (1) de 0,02. Chaque alésage B doit respecter la perpendicularité (2) par rapport au plan A du même motif. Par contre, l'ensemble des 3 plans A est appelé C et doit respecter une planéité en zone commune (3) de 0,05. L'ensemble des 3 trous B doivent respecter la localisation (4) par rapport au plan de référence C. L'ensemble des 3 alésages est appelé D.

Pour le parallélisme de la face inférieure, les deux spécifications (5) ou (6) sont équivalentes : C désigne l'ensemble des 3 plans. L'indication A-A désigne l'ensemble des faces identiques à A, c'est-à-dire également les 3 plans.



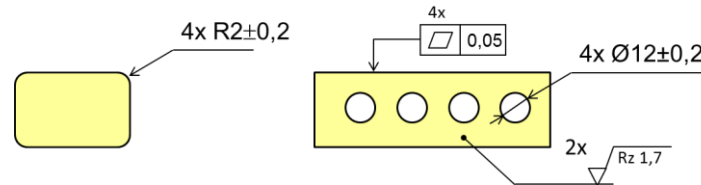
Remarque 1 : l'indication SZ (zone séparée) ne permet pas de définir ce type de répétition dans lequel la référence est différente pour chaque zone de tolérance.

Remarque 2 : Les outils de CAO 3D ne permettent pas encore de définir des patterns avec ce concept de répétition des spécifications et des références couplées entre-elles.

5 - 6 - 2 Répétition de spécifications locales

A défaut d'un indicateur de répétition, le symbole $n \times$ peut être employé pour répéter une cote, un congé, un chanfrein, une spécification de forme, un état de surface. En effet, même si les surfaces sont considérées comme un groupe, la spécification sera appliquée localement à chaque élément sans ajouter de contraintes par rapport à un modèle nominal.

La principale difficulté est la reconnaissance visuelle des surfaces sur lesquelles il faut appliquer la spécification. La seule solution viable est de considérer des surfaces réellement identiques générées par une répétition (même orientation, même étendue...) ou symétriques. Sinon, il faut placer des lignes repères pour identifier les différentes surfaces.



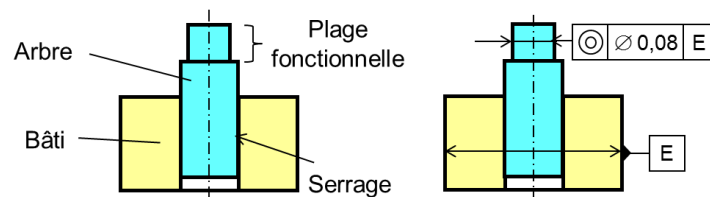
6 - TOLERANCES ET REFERENCES PROJETEES

6 - 1 Principe

6 - 1 - 1 Besoin fonctionnel

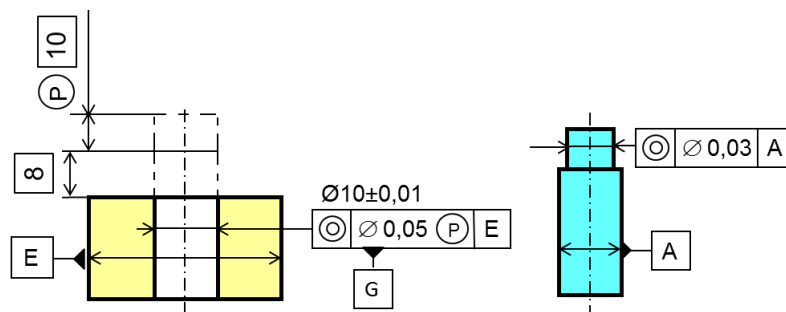
Le but des tolérances projetées est de simuler les assemblages avec une liaison auto-centrante pour définir directement la position d'une surface fonctionnelle.

Dans la figure suivante, l'arbre est serré dans le bâti. L'exigence fonctionnelle est la coaxialité de 0,08mm de la portée de l'arbre par rapport au cylindre de référence E du bâti.

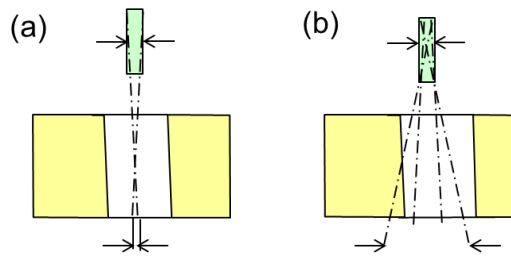


Dans ce cas, la cotation repose sur l'hypothèse que l'axe de la référence A de l'arbre, associé par les moindres carrés et confondu avec l'axe de l'alésage G associé par les moindres carrés. En allouant une tolérance de 0,03 pour la coaxialité de l'arbre, il faut que l'axe de l'alésage soit positionné avec une tolérance de 0,05 dans la plage fonctionnelle indiquée par Ⓞ .

Remarque : L'association d'une surface pour la projection est indépendante des autres surfaces ou du système de références.



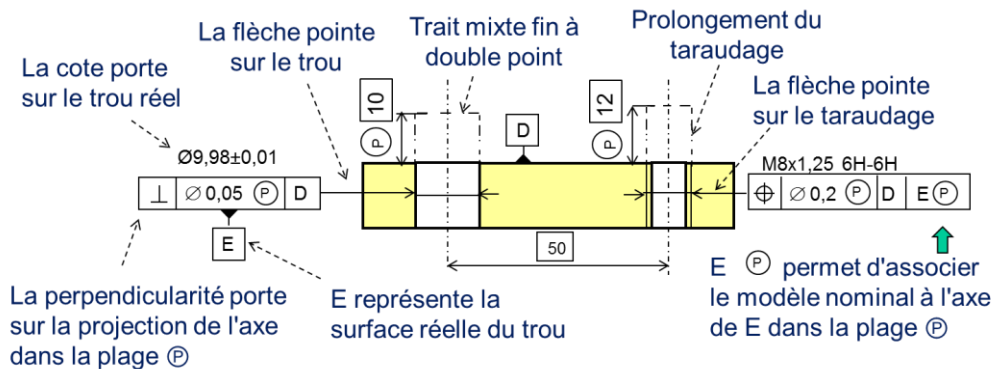
Le principal intérêt est la prise en compte directe du porte-à-faux dans la spécification pour globaliser les défauts de position et d'orientation de la surface d'appui. La résultante est très simple ($0,03 + 0,05 = 0,08$). Une cotation classique (a) imposerait des tolérances de position et d'orientation très sévères sur l'alésage. Une cotation en zone projetée (b) autorise au contraire une large palette de possibilités, si les écarts d'orientation et de position sont stables.



Remarque : le modificateur \textcircled{C} est équivalent au modificateur \textcircled{P} en considérant que la plage de projection est définie sur l'étendue de la surface spécifiée.

6 - 1 - 2 Règles d'écriture

La plage de projection est délimitée par un trait mixte fin à double points. Le modificateur \textcircled{P} indique que l'élément tolérancé ou la référence sont définis sur la plage \textcircled{P} .

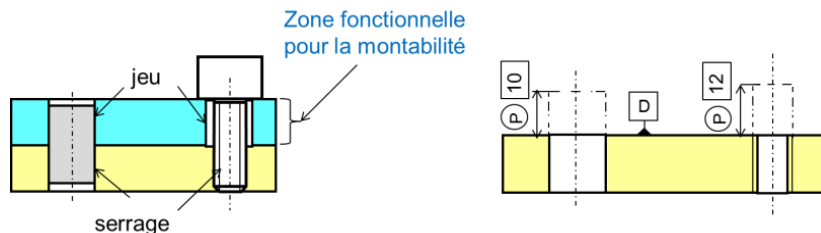


Avec le modificateur \textcircled{P} , si la surface spécifiée est de révolution, l'élément tolérancé est l'axe du cylindre, si la surface spécifiée est formée par 2 plans face à face, l'élément projeté est le plan médian. En effet, fonctionnellement, le diamètre de l'alésage est indépendant du diamètre de la partie qui dépasse qui est donné par le diamètre du pion.

Remarque : en 3D, la plage de projection est représentée par un cylindre de longueur \textcircled{P} .

6 - 1 - 3 Longueur de la plage de projection

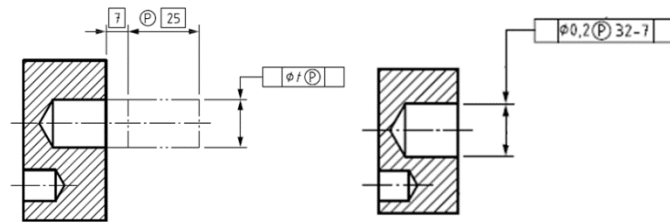
- La plage de projection du pion correspond à la longueur de dépassement du pion.
- La plage de projection du taraudage correspond à l'épaisseur de la pièce à serrer.
- La plage de projection d'un goujon correspond à la longueur totale du goujon.



La longueur projetée est toujours indiquée à droite du symbole \textcircled{P} . Ex : $\textcircled{P} 10$. De ce fait, le symbole \textcircled{P} "seul" indique une longueur projetée nulle (l'élément tolérancé est réduit à un point de l'axe).

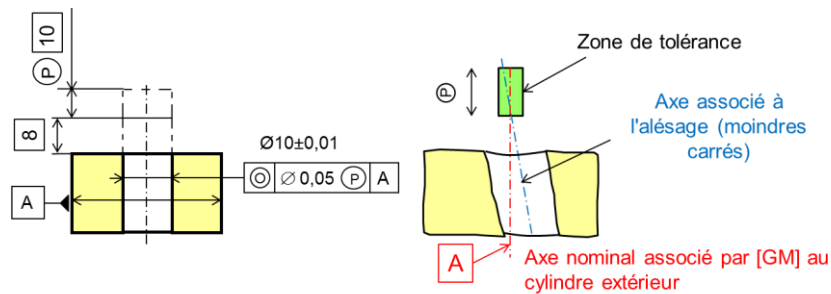
S'il y a plusieurs zones projetées sur la même surface, elles sont notées $\textcircled{P1}$ $\textcircled{P2}$.

La norme ISO 1101: 2013 propose une autre écriture des dimensions de la plage de projection dans le cadre de tolérance. Cette écriture récente n'est possible que pour un trou borgne (le sens de projection n'est pas explicite sur un trou débouchant).



6 - 1 - 4 Lecture d'une spécification avec \textcircled{P}

L'élément tolérancé est l'axe du cylindre associé à la surface spécifiée par les moindres carrés dans la plage de projection. Cette association est indépendante des autres surfaces et des systèmes de références.



Référence :

Primaire : Cylindre A, critère [GM] moindre carrés

Nom du symbole : Coaxialité

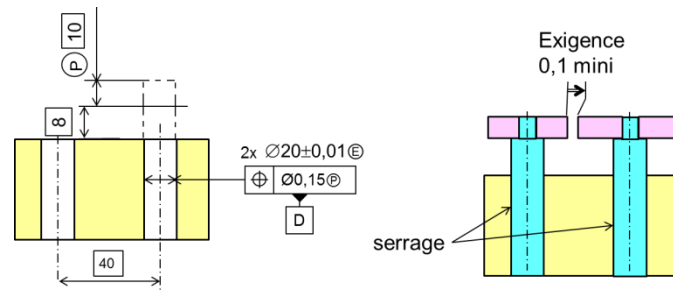
Surface nominale spécifiée : alésage $\varnothing 10$

Élément tolérancé : axe du cylindre associé par les moindres carrés dans la plage de projection \textcircled{P}

Zone de tolérance : Zone cylindrique $\varnothing 0,05$ centrée sur l'axe nominal

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

La cotation suivante en plage de projection a le même rôle que les deux spécifications vues en 5 - 4 - 1, mais elle est directe et offre des tolérances beaucoup plus larges.



Référence :

Nom du symbole : Localisation

Surfaces nominales spécifiées : 2 alésages D

Éléments tolérancés : 2 axes associés par les moindres carrés (indépendamment pour chaque alésage) dans les plages de projection \textcircled{P}

Zones de tolérance 2 Zones cylindriques $\varnothing 0,05$, centrées sur les axes nominaux

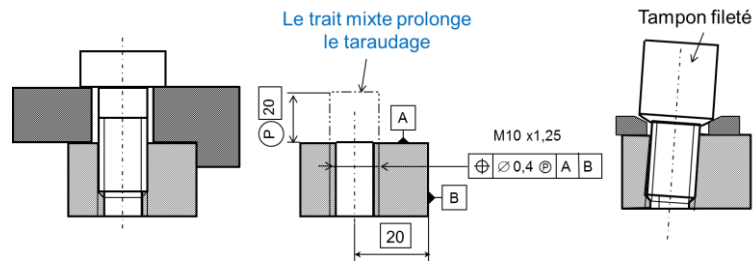
Validation : La spécification est respectée si les éléments tolérancés sont dans les zones de tolérance

6 - 2 Projection de taraudages

6 - 2 - 1 Montabilité d'une vis

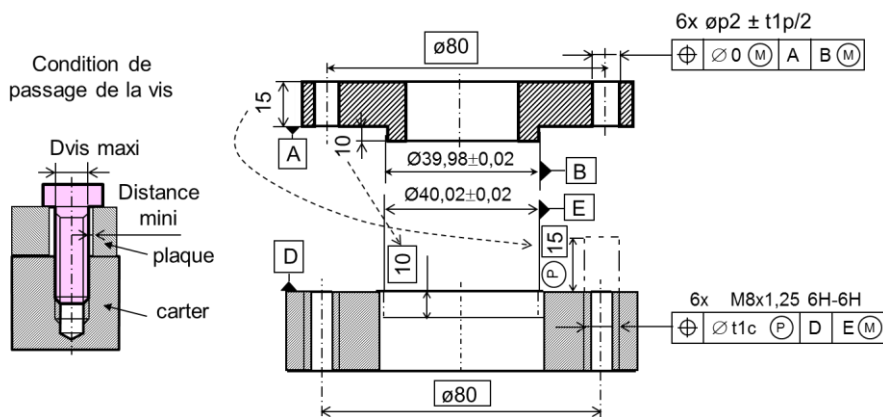
Pour obtenir un assemblage correct, la vis doit s'aligner dans le trou taraudé et le trou lisse de la pièce supérieure doit laisser passer librement la vis. La plage de projection \textcircled{P} correspond à l'épaisseur de la pièce à serrer. L'emploi des tolérances projetées dans ce cas est très fréquent car il permet de supprimer deux problèmes. Il est en effet très difficile de faire des mesures à l'intérieur du trou taraudé pour en déterminer la position. Par contre, en plaçant un tampon fileté dans le taraudage (avec une rondelle sphérique pour éviter que le tampon s'oriente sur la face supérieure), il est aisé de définir la position de l'axe dans la plage de projection. L'axe du trou taraudé est identifié en

mesurant la partie cylindrique du tampon. Il suffit de vérifier que cet axe est dans la zone de tolérance sur toute la plage de projection définie par \textcircled{L} . Le second avantage est que le contrôle dans la partie projetée (qui correspond à la zone de passage de la vis) est le strict besoin fonctionnel. Il n'est pas nécessaire d'imposer une orientation et une position sévères du trou taraudé. Seule la partie utile est contrôlée.



6 - 2 - 2 Montabilité d'un groupe de vis

La figure ci-dessous représente la cotation très générale de deux pièces fixées par vis. Le couvercle est spécifié au maximum de matière avec une tolérance « 0 ». Les taraudages du carter sont spécifiés dans la plage de projection \textcircled{L} avec une tolérance t1c.

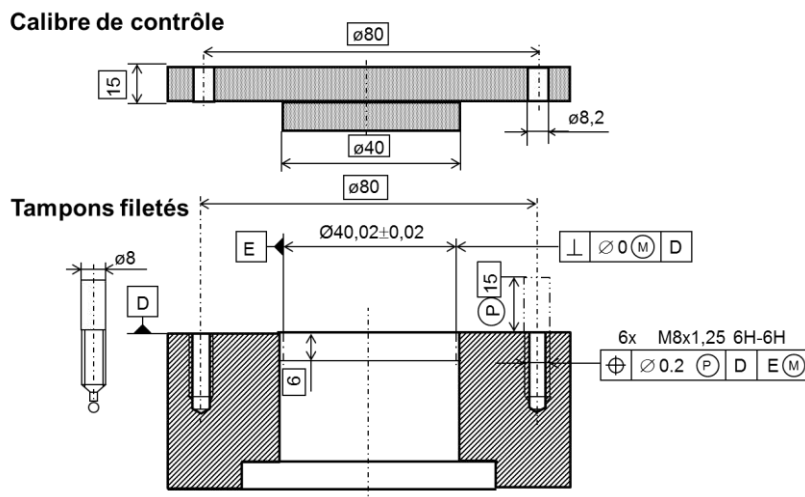


Pour garantir la montabilité des vis, il faut laisser une distance mini entre le corps de la vis et le bord du trou, lorsque les deux pièces sont assemblées avec le centrage B dans l'alésage E. Le diamètre au maximum de matière du trou (diamètre mini) doit être suffisamment grand pour accueillir une vis de diamètre maxi et pour compenser la tolérance de localisation des taraudages t1c. La condition à respecter est la suivante :

$$(p2 - t1p/2 - D_{vis\ maxi} - t1c)/2 \geq \text{distance mini}$$

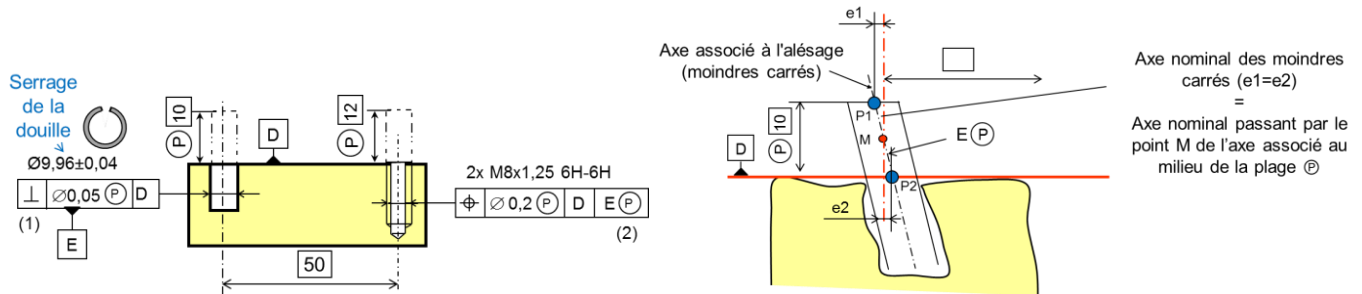
Remarque : le diamètre maxi des trous $p2+t1p/2$ est imposé pour limiter la pression de contact sous la tête de vis. La plage de projection peut n'être représentée que sur le trou taraudé qui porte la spécification.

La figure suivante illustre une variante du carter avec des trous taraudés borgnes. Le tampon fileté peut aussi être vissé au fond du trou, par l'intermédiaire d'un téton et éventuellement d'une bille. Le calibre de contrôle doit pouvoir être plaqué sur la surface D avec 6 tampons simultanément en place dans les 6 taraudages. Le diamètre du trou dans le calibre est égal au diamètre de la partie cylindrique du tampon, augmenté de la tolérance de localisation des trous taraudés.



6 - 3 Référence sur une zone projetée

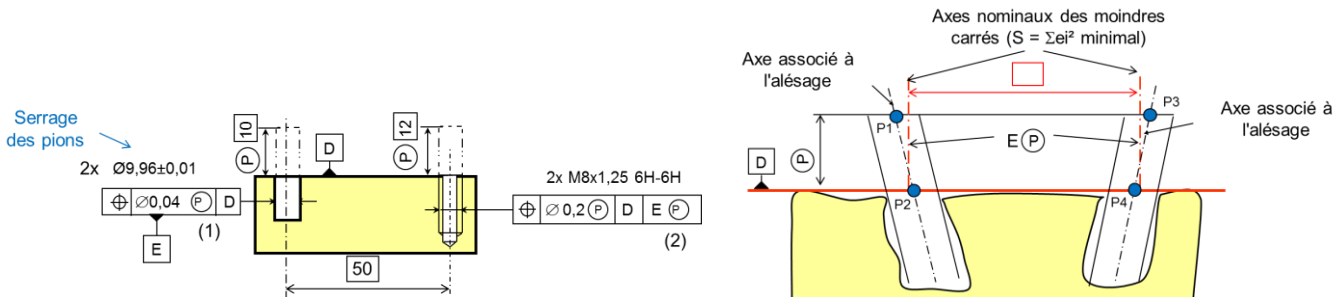
Dans la figure ci-dessous, l'assemblage est réalisé par une douille et deux vis. La douille est serrée dans l'alésage. La pièce en vis-à-vis sera également serrée sur la partie saillante de la douille dans la plage \textcircled{P} . Un cylindre est associé à l'alésage réel E. Deux points P1 et P2 de l'axe de ce cylindre associé sont déterminés aux deux extrémités de la plage \textcircled{P} . Pour la perpendicularité (1), ces deux points P1 et P2 doivent pouvoir être placés dans un cylindre $\varnothing 0,05$ perpendiculaire à D. Pour la localisation (2), le modèle nominal est associé par [GE] au plan D. L'axe nominal est associé par les moindres carrés aux deux points P1 et P2. (on obtiendra $e_1=e_2$, ce qui revient à faire passer l'axe nominal par le point M, milieu de P1 et P2).



(Avant 2017, la référence est l'axe du plus petit cylindre perpendiculaire à D qui contient M1 et M2. C'est aussi la droite perpendiculaire à D qui passe par le point M de l'axe au milieu de la zone projetée).

Remarque : cette définition n'est pas optimale pour un assemblage avec un pion rigide qui centre la pièce en vis-à-vis avec du jeu. Il faut admettre du flottement.

Dans ce second cas, la mise en position est assurée par 2 pions et 2 vis. Le système de références est défini par D et par les 2 axes nominaux E qui minimisent la somme des carrés des écarts des points P1 à P4.



6 - 4 Projection d'un plan

Ce mécanisme exige une condition fonctionnelle $30 \pm 0,3$ entre les surfaces des deux pièces. La cotation de la pièce inférieure peut être traitée par une projection. Le plan supérieur est prolongé dans la zone \textcircled{P} . La localisation doit être vérifiée sur ce prolongement.

