

PARTIE 2 : Spécifications complémentaires

SOMMAIRE

1.	Répétition.....	3
1.1	Principe de répétition	3
1.2	Répétition d'un motif	3
1.3	Répétition issue de mises en position multiples.....	4
2.	Description complémentaire des zones partielles	5
2.1	Zone partielle ponctuelle ou linéique.....	5
2.2	Zones partielles sur les deux faces d'une entité symétrique	6
2.3	Contour de la zone partielle	6
2.4	Ligne sur un extrémum	10
2.5	Zone partielle glissante	12
2.6	Désignation des zones partielles et des éléments de référence	13
2.7	Spécification sur une zone partielle locale	14
3.	Généralisation des axes et surfaces médianes d'une surface	16
3.1	Définition d'un axe réel.....	16
3.2	Extrémités de la surface.....	16
3.3	Axe réel d'une surface de révolution	17
3.4	Axe réel d'une tubulure	17
3.5	Axe réel conventionnel d'une surface quelconque	18
3.6	Surface médiane conventionnelle d'une surface quelconque	18
3.7	Limites de la surface	19
4.	Zones de tolérance complémentaires	19
4.1	Synthèse des formes de zones de tolérance	19
4.2	Orientation des zones de tolérances.....	20
4.3	Translation d'une zone de tolérance de position	25
4.4	Concaténation de zones de tolérance.....	26
4.5	Zones de tolérance différentes pour un groupe	28
4.6	Tolérance évolutive	29
4.7	Décentrage de la zone de tolérance	31
4.8	Décalage de la surface nominale	34
4.9	Spécification composite	37
5.	Spécification en zone projetée	38
5.1	Règles d'écriture des spécifications en zone projetée	38
5.2	Spécification en zone projetée	39
5.3	Projection de plusieurs surfaces	40
5.4	Extension du principe de projection	41
6.	Spécifications de forme.....	41
6.1	Symboles complémentaires de forme et de battement	41
6.2	Spécification de forme des surfaces	41
6.3	Spécification de forme de l'axe d'une surface.....	43
6.4	Spécification de forme d'une ligne d'une surface	43
6.5	Battement.....	46

7.	Congé et chanfrein.....	49
7.1	Congés et chanfreins nominaux.....	49
7.2	Spécification d'un congé ou d'un chanfrein.....	50
7.3	Coin.....	51
7.4	Propagation des spécifications de congés et de chanfreins.....	51
7.5	Congé et chanfrein évolutifs.....	52
8.	Spécification au voisinage des arêtes.....	53
8.1	Bavures et cassage d'angle.....	53
8.2	Conformité d'une spécification au voisinage d'une arête.....	56
8.3	Etendue d'une surface limitée par une arête.....	58
9.	Spécifications statistique.....	59
9.1	Exploitation.....	59
9.2	Grandeur à mesurer.....	59
9.3	Etendue de la surface spécifiée.....	60
10.	Conditions de mesure.....	61
10.1	Indication des conditions de mesure.....	61
10.2	Mise en position de la pièce pour la mesure.....	62
10.3	Pièce flexible.....	64
10.4	Redressage numérique.....	65
10.5	Définition des conditions de contraintes.....	66
11.	Représentation des spécifications.....	66
11.1	Représentation en tableau.....	66
11.2	Tableau des systèmes de références.....	67
11.3	Hiérarchisation des caractéristiques.....	68
11.4	Modèle de données.....	69

Les exemples sont donnés en annexe B

1. Répétition

1.1 Principe de répétition

Définition : la répétition d'une spécification est indiquée par le compteur "nr". Elle est équivalente à la recopie de n spécifications indépendantes sur des éléments tolérancés différents ou avec des éléments de référence différents.

Il y a 5 types de répétitions

1. Répétition n fois d'une spécification sans référence sur n surfaces spécifiées différentes (*)
2. Répétition n fois d'une spécification sur n surfaces spécifiées (*) avec la même référence.
3. Répétition n fois d'une spécification dans n motifs reliant n surfaces spécifiées (*) et n références (le motif relie chaque surface spécifiée avec sa référence).
4. Répétition n x p fois d'une spécification sur n surfaces spécifiées (*) par rapport à p références différentes. Le compteur est écrit sous la forme alors n/p r (ex : 24 duplications pour n=4 et p = 6)
5. Répétition p fois d'une spécification sur 1 surface spécifiée (*) par rapport à p références différentes. Le compteur est alors 1/p r

(*) ou groupe de surfaces spécifiées

1.2 Répétition d'un motif

1.2.1 Représentation d'un motif

Ce mécanisme comporte 3 groupes fonctionnels identiques qui imposent une cotation interne à chaque groupe et une cotation globale.

REGLE : Un motif est un ensemble de surfaces reproduit à l'identique plusieurs fois sur une pièce, avec, le plus souvent, un pas de répétition constant.

NOTE : un motif correspond généralement à un groupe fonctionnel.

Si besoin, le motif est identifié par un trait mixte à double points qui doit englober l'ensemble des surfaces du motif. Un commentaire peut préciser le contenu du motif.

Le compteur nr indique le nombre de répétitions du motif. Il peut être relié à un point caractéristique du motif ou à un point et un tiret qui précise l'orientation.

Les spécifications portant sur des surfaces internes à ce motif, identifiées par le même compteur nr sont supposées recopiées sur les surfaces correspondantes de chaque motif. Les références sont construites à l'intérieur de ce motif et sont associées de manière indépendante sur chaque surface des motifs.

La Figure 1 présente une pièce avec la répétition de 3 motifs. Il y a donc 3 références E et 3 références F. Par contre G est une surface constituée globalement des 3 alésages F. La référence G est donc équivalente à (F-F).

NOTE 1 : La cotation est équivalente à la duplication des spécifications comportant un compteur 3r sur chaque motif.

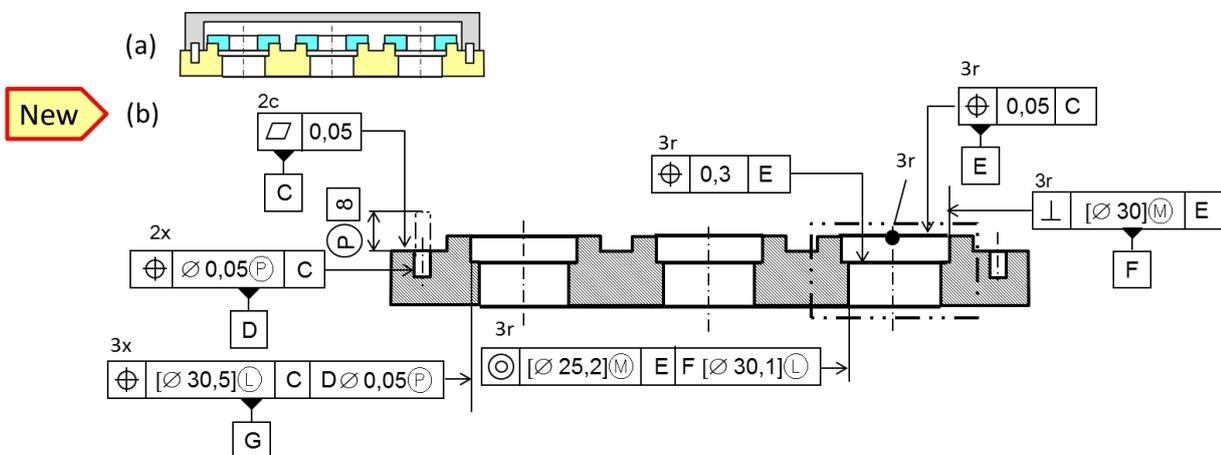


Figure 1 - Référence et spécifications dans un motif

NOTE 2 : le motif peut être représenté sur une vue spécifique souvent appelée « un détail ».

NOTE 3 : En 3D, le motif est généralement dupliqué avec une répétition par exemple circulaire ou linéaire. La répétition peut être définie en commentaire. Le point caractéristique du motif peut être utilisé exemple pour expliquer que la répétition se trouve sur un cercle de diamètre donné.

Le motif peut n'être défini qu'une seule fois. Dans ce cas, le motif doit comporter un point caractéristique ou un point et un tiret. Les différents motifs ne sont alors représentés que par le point et le tiret pour orienter si nécessaire le motif. Les positions des points sont définies dans le modèle nominal. Des dimensions théoriquement peuvent expliciter ces positions.

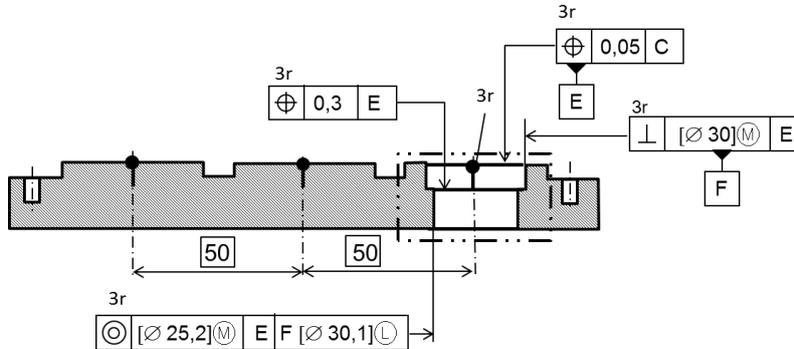


Figure 2 - représentation symbolique de la répétition d'un motif

1.2.2 Distinction de motifs différents

Si la pièce comporte plusieurs motifs, il est possible de désigner chaque motif par une lettre placée à droite du compteur nr à côté du point représentatif du motif et au-dessus du cadre de tolérance.

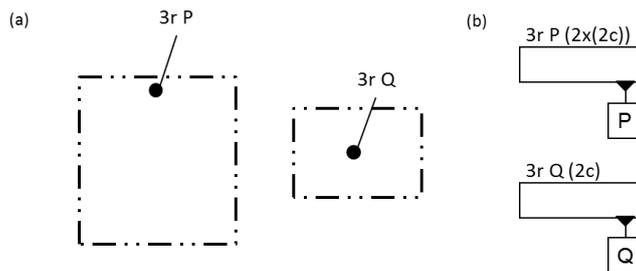


Figure 3 - Désignation d'un motif

1.3 Répétition issue de mises en position multiples

Lors de son fonctionnement, une pièce peut prendre plusieurs positions. Le système de références est donc différent pour chacune des positions. Les spécifications identiques peuvent être dupliquées à l'aide d'une répétition.

La Figure 4a représente une pièce qui est centrée dans l'alésage de la pièce Figure 4b. Il y a 3 positions angulaires, avec l'indexation du pion dans l'un des 3 alésages.

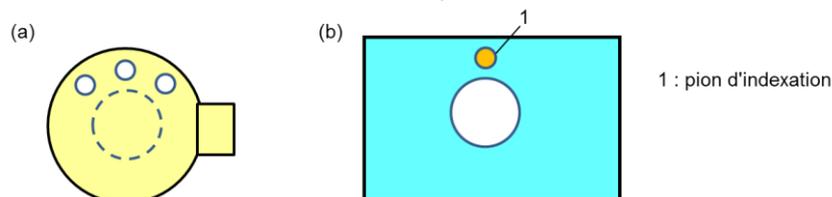


Figure 4 - Pièce indexable

La Figure 5 donne la cotation en vue de dessous.

Le compteur 3r indique que la spécification (2) est équivalente à la recopie de la spécification sur chacun des 3 trous avec le même système de références. Cela signifie que la position du calibre de contrôle au maximum de matière est indépendante pour chaque trou (le flottement en B du système de références est indépendant entre les 3 spécifications). Le cadre de référence C est également dupliqué. Il y a 3 références C, une sur chaque trou.

NOTE : Il n'y a qu'une surface spécifiée dans le motif. Il n'est pas nécessaire de mettre en place un rectangle en trait mixte.

Le système de références DS1 est le même pour les spécifications (3) et (4). Ce système comporte la référence tertiaire C qui existe en 3 exemplaires.

Pour la spécification (3), il n'y a qu'une surface spécifiée, mais 3 références C. La spécification est équivalente à la recopie de la spécification 3 fois sur le cylindre spécifié, mais avec les 3 références C différentes. Le flottement permis par le minimum de matière sur B et C est bien indépendant pour chacune des spécifications.

NOTE 1 : pour illustrer cette duplication, il faut désigner par C, D et E les 3 trous et écrire 3 localisations du cylindre respectivement par rapport à C, à D ou à E.

De même, la spécification (4) est équivalente à la recopie de la spécification 3 fois sur le même plan spécifié, mais avec les 3 références C différentes.

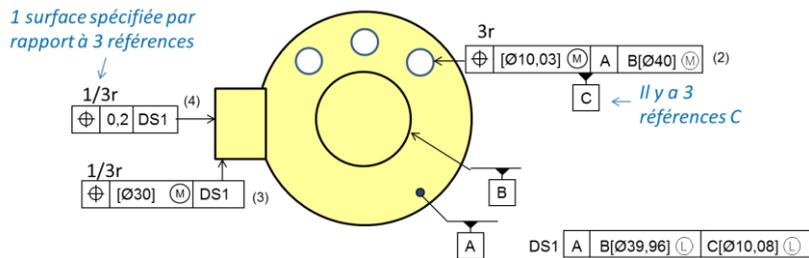


Figure 5 - Vue de dessous

2. Description complémentaire des zones partielles

2.1 Zone partielle ponctuelle ou linéique

Les zones partielles sont définies dans le modèle nominal. Les zones partielles fonctionnelles sont essentiellement des zones surfaciques qui représentent la partie commune entre deux faces en contact. Certaines constructions imposent de définir des zones partielles ponctuelles ou linéiques.

- Zone surfacique : Le contour de la zone partielle est décrit par un trait mixte fin à deux points et tirets longs. La zone est hachurée.
- Zone partielle ponctuelle : la zone partielle est décrite par un point (Figure 6a).
- Zone partielle linéique : la ligne est décrite par un trait mixte fin à deux points et tirets longs terminé par deux croix (Figure 6b). Une seule croix est suffisante pour désigner une ligne fermée.

L'indicateur de zone partielle est relié à la zone par une ligne repère en trait continu terminée par une flèche qui indique de préférence le centre de la surface :

- Lorsque la zone partielle est cachée, la ligne repère est discontinue.
- Lorsque la zone partielle est ponctuelle, la ligne repère est terminée par un point (Figure 6a).

Lorsque la zone partielle est sur le côté de la pièce :

- Zone surfacique : la ligne repère est terminée par une flèche.
- Zone partielle ponctuelle : la ligne repère est terminée par un point (Figure 6a).
- Zone partielle linéique : la ligne repère est terminée par une croix si la ligne est perpendiculaire à la vue (Figure 6b).

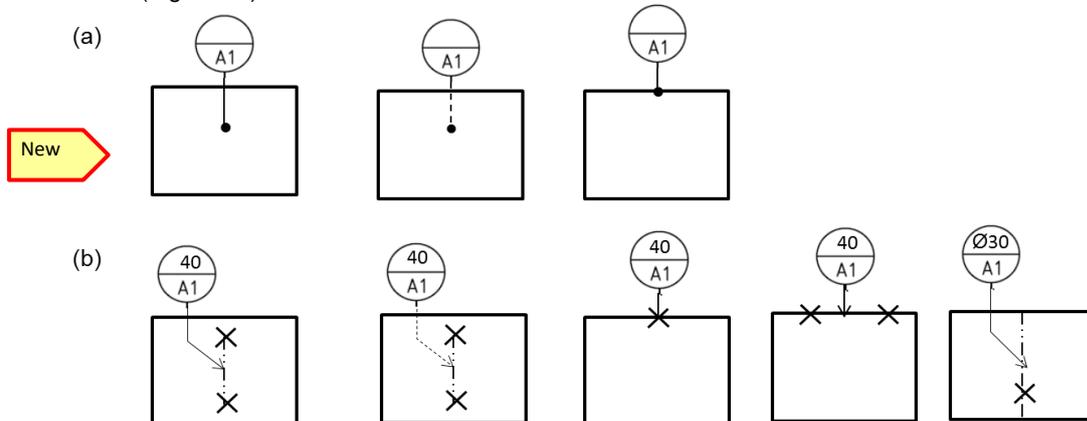


Figure 6 – point et ligne visibles, cachés et sur le côté de la pièce.

2.2 Zones partielles sur les deux faces d'une entité symétrique

DEFINITION : lorsque l'indicateur de zone partielle est en face d'une cote reliant deux plans parallèles face à face ou deux faces symétriques ou localement symétriques par rapport à un plan perpendiculaire à la cote, deux zones partielles sont simultanément définies sur les deux faces de l'entité.

Les 4 exemples de la Figure 7 définissent deux zones partielles :

- Figure 7a : deux points.
- Figure 7b : deux lignes.
- Figure 7c : deux portions de surfaces planes.
- Figure 7d : deux portions de la surface cylindrique.

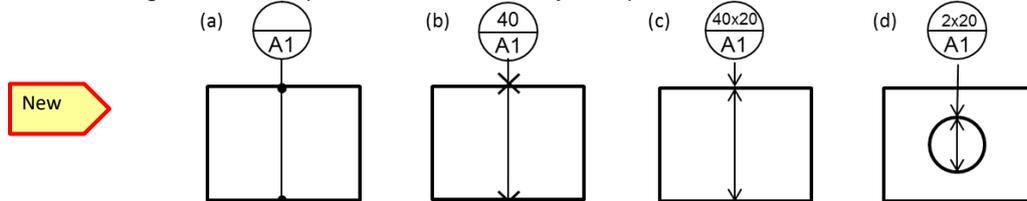


Figure 7 - Indicateur pour un point, une ligne, une surface des deux côtés de l'entité

NOTE : la zone partielle n'est pas le point médian, mais les deux portions de surfaces réelles.

2.3 Contour de la zone partielle

2.3.1 Définition du contour nominal de la zone partielle

Généralement, l'incertitude sur la position du contour de la zone partielle sur la surface réelle (par exemple à $\pm 0,3$) a une influence négligeable sur les écarts identifiés sur la surface ou sur la position de la référence associée. Dans le cas contraire, il est sans doute nécessaire d'étendre légèrement l'étendue de la zone ou de définir une cotation plus robuste en fonction des besoins.

Le contour de la zone partielle est défini sur la surface nominale, directement dans le modèle nominal. Par défaut, le modèle nominal est associé avec à l'aide du système de références principal de la pièce qui permet de mettre en position la pièce dans le mécanisme.

Le contour nominal est projeté sur la surface réelle. La direction de projection de chaque point du contour est la normale à la surface nominale au point considéré. Si la zone partielle nominale débouche sur l'arête de la surface nominale, la zone partielle est prolongée ou relimitée jusqu'au bord de la pièce réelle (Figure 8a).

NOTE 1 : Avec cette première méthode par défaut, l'étendue de la zone partielle est imposée par le modèle nominal et ne peut pas dépendre d'autres surfaces de la pièce.

Pour faciliter la lecture en 2D, certaines dimensions intrinsèques à la zone sont indiquées dans l'indicateur de zone partielle. Une zone surfacique de forme complexe doit être définie avec une vue suffisamment explicite avec des dimensions théoriquement exactes (Figure 8a). Si le contour est explicitement décrit par des dimensions théoriquement exactes, la partie supérieure de l'indicateur de zone partielle peut rester vide.

Lorsqu'il n'y a pas d'ambiguïté, la zone peut être définie par un contour plan qui sera projeté sur la surface réelle selon une direction perpendiculaire au plan. Dans la Figure 8b, l'étendue de l'indicateur de zone partielle est un rectangle à projeter sur la surface. Dans la Figure 8c, l'indicateur de zone partielle est relié à une face plane à proximité de la surface portant le même nom. Le contour de la zone partielle réelle est obtenu par projection du contour de la face.

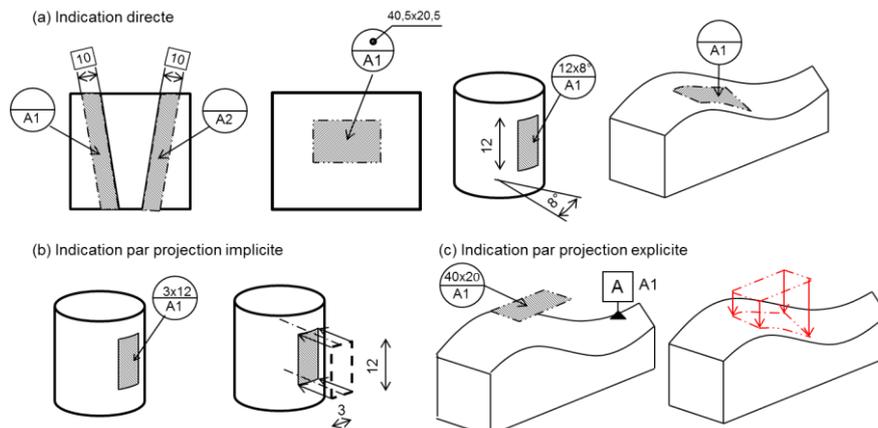


Figure 8 - Dimension d'une zone partielle surfacique

En 2D, le contour peut être décrit par des lignes ou des points décrits dans des vues différentes. Dans la Figure 9, l'étendue est limitée par 4 points. Elle est indiquée sous la forme P, Q, R ↔ S.

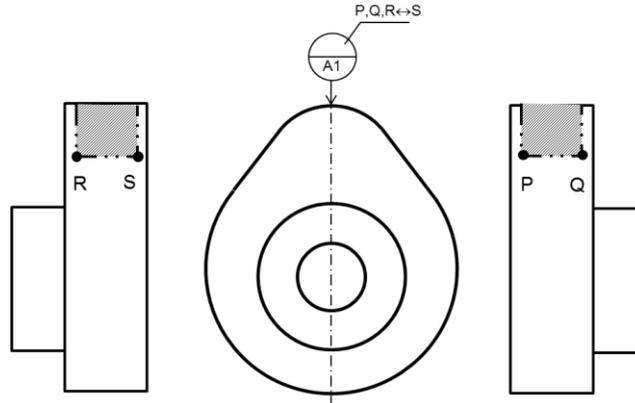


Figure 9 - zone partielle représentée en 2D

NOTE 2 : selon le cas, la lettre peut désigner un point ou la ligne passant par le point.

2.3.2 Position implicite du contour d'une référence partielle

Règle : Une zone partielle utilisée comme référence partielle est positionnée sur la pièce en associant le modèle nominal avec le plus long système de références présent sur le dessin qui contient cette référence.

La référence est établie uniquement avec les points de la surface réelle qui sont projetés dans la zone partielle définie sur le modèle nominal selon une direction normale à la surface nominale.

NOTE 1 : La position de la zone de référence partielle est indépendante de la surface spécifiée.

La Figure 10a 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 partielle est incertaine au sens que le contour « exact » de la pièce en vis-à-vis est inconnu.

Le système de références est formé du plan A primaire et des alésages B secondaires. Ce système apparaît dans la localisation (3).

La position des zones A1 et A2 sont donc définies par rapport à B, sans considérer le flottement permis par le jeu. 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.

La Figure 10b comporte deux zones partielles A1 et A2 qui correspondent à la portion de la surface A en face de parties rigides de la pièce A. Inversement, les autres parties de la pièce A vont se déformer lors de l'assemblage. Les deux pièces sont positionnées également par les alésages B.

Le plan A seul ne permet pas de positionner les zones partielles en face des parties rigides. L'étendue de la zone partielle est incertaine au sens que le contour de la partie considérée comme rigide est floue. Par contre, ces zones partielles seront en face des zones partielles D1 et D2 à définir de la même façon sur la pièce d'appui. La position relative de ces zones est bien assurée par les systèmes de références.

Le système de références est formé du plan A primaire et des alésages B secondaires. Ce système apparaît dans la localisation (3).

La position des zones A1 et A2 sont donc définies par rapport à B, sans considérer le flottement permis par le jeu. 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.

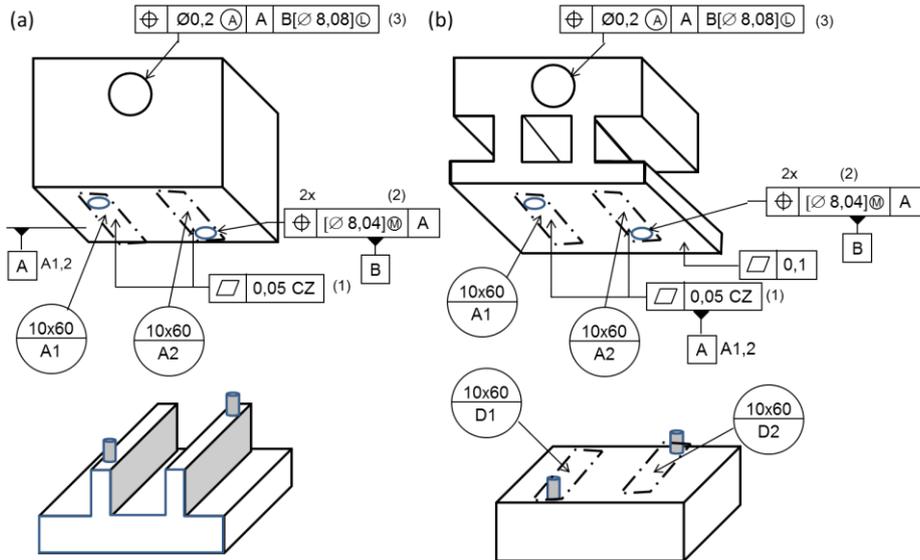


Figure 10 - Contour et position des zones partielles

NOTE : Dans les deux cas, une itération peut éventuellement être réalisée pour définir avec davantage de précision les contours des zones partielles, mais cette itération aura sans doute un effet négligeable sur l'évaluation de la localisation (3).

La Figure 11 correspond à une jonction assurée par le plan A, le centre B et un alésage tertiaire C qui se placera sur un locating. Les zones partielles C1 et C2 correspondent aux parties de l'alésage en vis-à-vis des faces du locating. Le locating est à une distance de 60 mm de B. Il existe sur ce dessin une spécification avec un système de références A|B|C. Les zones partielles doivent être positionnées par rapport à A|B|C.

NOTE 2 : La référence C étant définie dans un premier temps par les zones partielles C1 et C2 identifiées de façon approximative. Ce premier système de références permet de positionner le modèle nominal. Une itération peut éventuellement être réalisée pour associer le modèle uniquement aux points de la surface réelle C qui peuvent être projetés dans les zones partielles. Généralement, cette itération est inutile, car elle n'a quasiment aucun effet sur la position du modèle nominal.

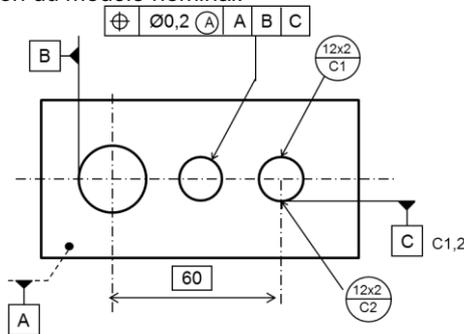


Figure 11 - Position d'une référence partielle

Une référence partielle A par exemple peut appartenir à deux systèmes de références A | B et A|C par exemple qui correspondent à deux positions permises par la cinématique du mécanisme. Dans ce cas, les zones partielles peuvent être légèrement différentes selon la spécification utilisée.

NOTE 3 : une référence partielle peut ainsi être utilisée comme surface tolérancée.

NOTE 4 : Si le système de références laisse des mobilités, la position des références partielles est indéterminée, ce qui révèle souvent une cotation incomplète ou pas robuste.

2.3.3 Position du contour d'une zone partielle non utilisée comme référence

Une spécification portant sur une zone partielle qui ne fait partie d'aucun système de références décrit une portion de surface fonctionnelle en face d'une autre surface fonctionnelle appartenant à une autre pièce du mécanisme.

Règle : Une zone partielle utilisée uniquement comme surface spécifiée est positionnée par le modèle nominal associé au système de références de la spécification.

NOTE 1 : Si ce système de références laisse des mobilités résiduelles qui ne permettent pas de positionner complètement la zone partielle, il faut rechercher la référence secondaire, voire la tertiaire dans le plus long système de références qui contient la référence de la spécification.

Dans la Figure 12a, la coaxialité (1) porte sur la zone partielle C1 qui n'est jamais utilisée comme référence. La zone partielle doit être positionnée par rapport au système de références de cette pièce. La référence A de cette spécification (1) ne permet pas de positionner la zone partielle axialement. Il faut donc recherche a quel système de références la référence A est utilisée. La localisation (2) montre que la référence A est référence primaire du système de A|B. Le modèle nominal est positionné par rapport à A|B ce qui permet de localiser la zone partielle C1.

Règle : Le système de références utilisé pour positionner le contour de la zone de tolérance peut être indiqué à côté du cadre de référence partielle.

NOTE 2 : Ce système de références peut éventuellement utiliser la surface portant de la zone partielle, mais ne peut pas laisser de degrés de liberté ou du flottement ne permettant pas de positionner le contour de la zone partielle.

La Figure 12b correspond à une pièce très longue, avec une grande tolérance sur la longueur. La zone partielle est positionnée par rapport aux extrémités de la pièce en définissant un système de références S|T|U, S étant la surface portant zone partielle.

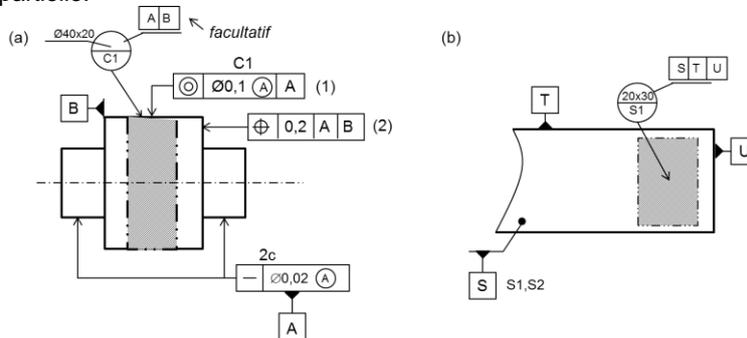


Figure 12 - Système de références pour positionner une zone partielle

NOTE 3 : Le nota désignant le système de références permettant de positionner la zone partielle peut être omis sur un plan papier, mais il est nécessaire dans un environnement numérique.

A défaut, pour une spécification sans système de références (forme, cotes) ou si le système de références laisse des mobilités résiduelles, le modèle nominal est également associé à la surface spécifiée, puis si nécessaire au contour de la face portant la zone partielle ou à toute surface permettant de positionner le modèle nominal.

2.3.4 Position du contour de la zone partielle par rapport à la face

Le symbole  placé dans la partie supérieure de l'indicateur signifie que le contour de la zone est positionné en associant le modèle nominal à la face seule ou, s'il reste des mobilités, par rapport à la face, puis par rapport aux arêtes de la face à l'aide des moindres carrés et, s'il reste des mobilités, par rapport une autre surface de la pièce discriminante pour localiser la zone partielle.

Dans la Figure 13, la zone partielle est définie dans le modèle nominal. La surface nominale est prismatique. La surface nominale est associée à la surface réelle en laissant un degré de liberté en translation indéterminé. Le positionnement du modèle nominal est complété en utilisant les arêtes de la surface réelle.

Dans la Figure 13a, la zone est la projection d'un rectangle de largeur 20 mm. Elle va jusqu'au bord de la surface. Dans la Figure 13b, la zone est la projection d'un cercle de diamètre 20 mm.

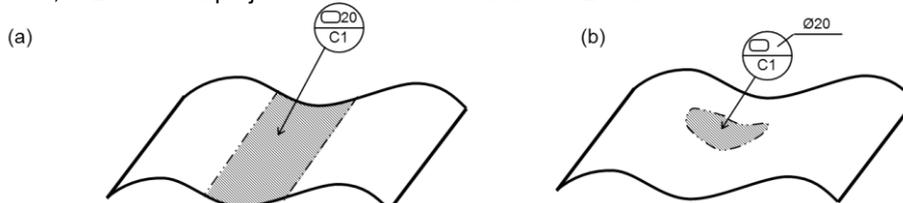


Figure 13 - Zone partielle localisée par la surface elle-même

Le symbole  seul dans la partie supérieure de l'indicateur de zone partielle désigne la totalité de la surface.

Une valeur entre crochet après le symbole \square limite le contour à une courbe offset du contour extérieur de la face (Figure 14a).

Un offset variable peut être indiqué en donnant la valeur de l'offset entre chaque point identifié sur le contour (Figure 14b).

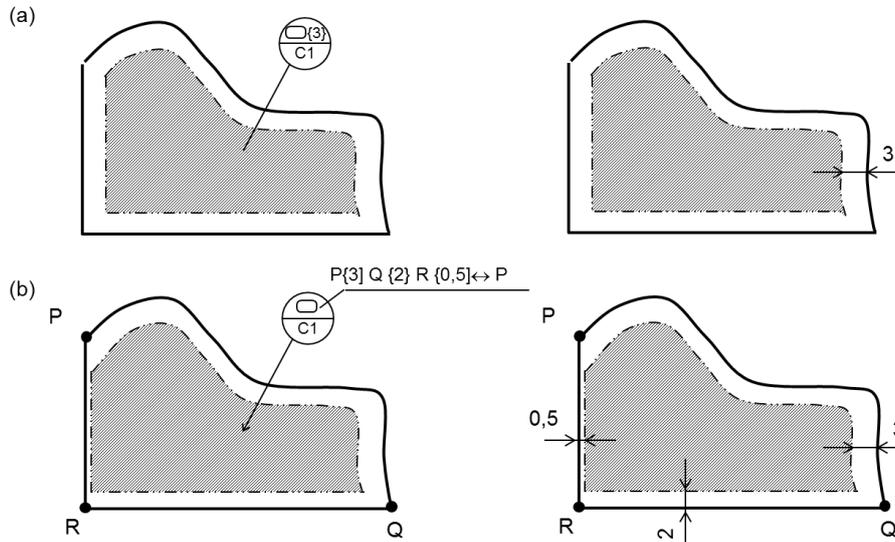


Figure 14 - Zone partielle par rapport au contour

2.3.5 Contour positionné par les faces voisines

NOTE : cette forme d'écriture est limitée à des cas simples.

Dans la Figure 15, le contour dépend de la position réelle des arêtes de la surface réelle ou des surfaces voisines.

Les cotes encadrées permettent de positionner les limites du contour par rapport à des surfaces voisines nominalement perpendiculaires à la surface nominale. Le symbole \square complété par la valeur d'offset limite le contour entre les points P et Q.

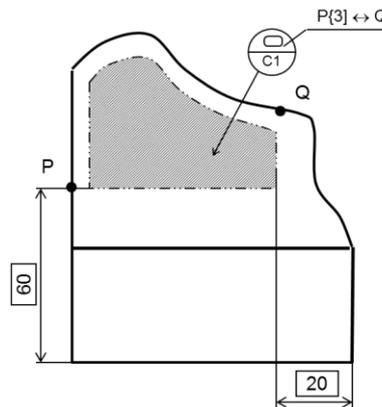


Figure 15 - Zone partielle positionnée par rapport aux surfaces voisines

2.4 Ligne sur un extrémum

2.4.1 Ligne de crête, ligne de creux

Sur une surface ou une ligne courbe, il peut être nécessaire de définir une zone partielle ponctuelle sur un point de rebroussement selon une direction donnée, en particulier si la position de la surface est très variable par rapport à la position nominale de la zone partielle définie dans un système de références.

DEFINITION : lorsque l'indicateur de zone partielle comporte un trait perpendiculaire à la ligne repère et est relié à une ligne appartenant à une surface, la ligne partielle est la ligne de crête ou de creux. La direction de tangence de la ligne réelle est donnée, dans le plan perpendiculaire à la ligne nominale, par la tangente à la surface nominale.

- Figure 16a : ligne de crête représentée en 3D.
- Figure 16b : ligne de crête dans un plan d'intersection perpendiculaire à la ligne de crête nominale

- Figure 16c : ligne de crête dans une coupe passant par la ligne.

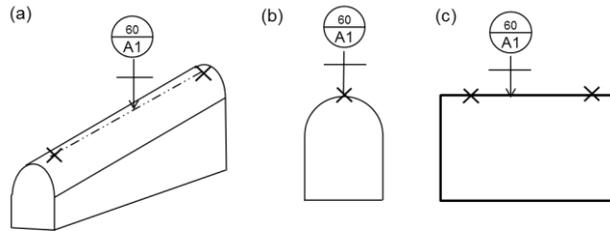


Figure 16 -Zone restreinte sur la ligne de crête ou de creux

La Figure 17a représente illustre une ligne de crête avec un plan d'intersection perpendiculaire à la ligne de crête nominale.

La Figure 17b détaille le contenu de ce plan d'intersection :

- La droite $\Delta 1$ est tangente à la surface nominale au point de la ligne de crête.
- La droite $\Delta 2$ est parallèle à $\Delta 1$ et tangente à la surface réelle.

Le point retenu pour définir la ligne partielle réelle dans ce plan d'intersection est le point de tangence de $\Delta 2$ avec la surface réelle.

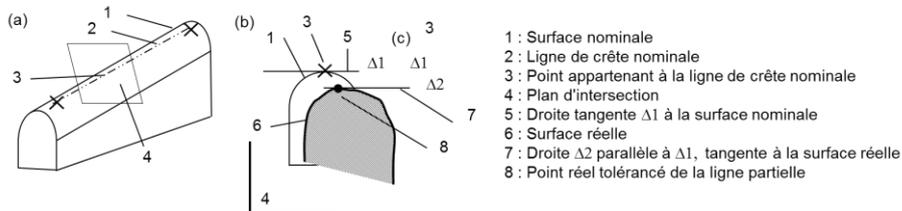


Figure 17 – Définition de la ligne de crête réelle

NOTE 1 : Lorsque la surface est bombée, la mesure peut être réalisée directement avec un palpeur à touche cylindrique en utilisant la génératrice de la touche qui doit être parallèle à $\Delta 1$.

NOTE 2 : Pour faciliter la lecture, il est préférable de représenter le trait de la ligne repère sensiblement parallèlement à la droite $\Delta 1$ au point d'application de la ligne repère.

NOTE 3 : La ligne définie dans le modèle CAO peut être quelconque. L'orientation des droites Δ peut donc être variable suivant les plans d'intersection.

Lorsque la surface est convexe, la ligne obtenue est une ligne de crête.
Lorsque la surface est concave, la ligne obtenue est la ligne de creux.

NOTE 4 : cette définition permet de s'affranchir des déviations latérales de la surface par rapport à sa position nominale, en particulier lorsque le rayon de courbure est faible devant les déviations.

2.4.2 Point de sommet ou point de fond

DEFINITION : lorsque l'indicateur de zone partielle comporte un trait perpendiculaire à la ligne repère et est relié à un point appartenant à une surface, la zone partielle est le sommet ou le fond de la surface dans la direction donnée par la normale à la surface nominale en ce point.

La Figure 18 présente une surface bombée avec un sommet identifié par un point. Le plan P1 est le plan tangent à la surface nominale en ce point. Le plan P2 est le plan parallèle à P1, tangent à la surface réelle. La zone partielle est limitée au point de tangence de P1 avec la surface réelle.

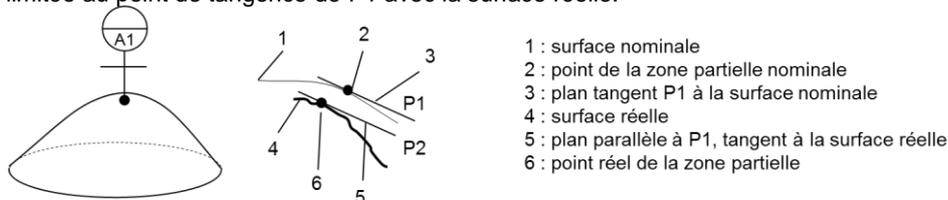


Figure 18 - Sommet d'une surface en un point donné

NOTE : la surface doit avoir la même concavité dans toutes les directions autour de la normale au point de la zone partielle nominale.

Lorsque la surface comporte une ligne rectiligne au point P, le point réel est défini dans le plan d'intersection perpendiculaire à cette ligne.

Dans ce plan d'intersection :

- La droite Δ1 est tangente à la ligne nominale.
- La droite Δ2 est parallèle à Δ1 et tangente à la surface réelle.

Le point retenu pour définir la référence partielle est le point de tangence de Δ2 avec la ligne réelle.

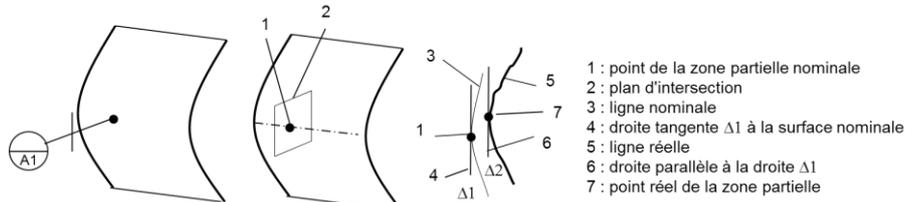


Figure 19 - Surface localement rectiligne.

2.5 Zone partielle glissante

Dans certains mécanismes, lors du mouvement relatif des pièces, la zone de contact peut glisser sur la surface de liaison.



DEFINITION : Une zone partielle est glissante lorsqu'elle se déplace sur sa surface support en suivant une trajectoire entre deux positions extrêmes. Ce glissement est indiqué par le symbole P ↔ Q qui signifie « glissant entre P et Q ». (Figure 20)

La zone partielle glissante est définie à une des extrémités de la trajectoire comme une zone partielle fixe. Le déplacement est défini par un élément géométrique P (un point ou une ligne par exemple) appartenant à la zone glissante à une extrémité de la trajectoire, puis par le même élément géométrique Q à l'autre extrémité de la trajectoire.

La loi de mouvement est généralement suffisamment simple pour être implicite :

Exemples :

- Translation dans la direction données par les deux points P et Q
- Translation selon l'axe d'un cylindre.
- Rotation autour d'un axe

Dans le cas contraire, un commentaire doit accompagner l'indicateur de glissement.

NOTE : pour faciliter la lecture, la zone partielle peut éventuellement être également représentée à l'autre extrémité de la course en Q.

La Figure 20 comporte une zone partielle cylindrique B de longueur 18mm qui glisse entre les cercles P et Q.

La référence commune est construite avec l'élément de référence A (fixe) et l'élément de référence B (glissant). La spécification doit être respectée quelle que soit la position de la référence B.

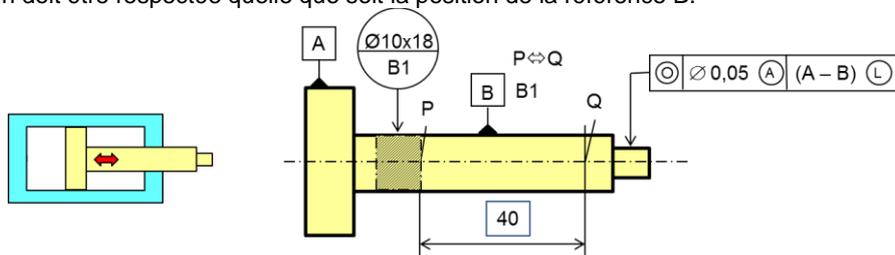


Figure 20 - Exemple d'indication de référence partielle glissante

La Figure 21 présente une zone partielle de forme polygonale appartenant à un plan. La zone est caractérisée en position initiale par le segment P. En fin de glissement, le segment passe en Q.

La trajectoire de glissement est hélicoïdale. L'intersection des droites portant les segments P et Q est le point C. L'angle entre les segments est φ. La zone partielle tourne autour de ce point C avec une distance qui varie de R1 à R2 linéairement au cours de la rotation en fonction de l'angle θ :

$$R = R1 + (R2-R1) \theta / \varphi$$

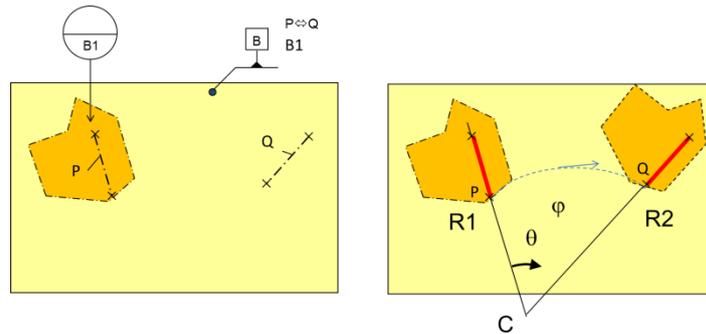


Figure 21- Exemple d'indication de référence partielle glissante

Lorsque plusieurs zones partielles glissent de manière solidaire sur leur surface support, ces zones sont identifiées avec la même lettre (Figure 22), même si elles n'appartiennent pas à la même surface. Inversement, il n'est pas possible de donner la même lettre pour des zones partielles glissantes et non glissantes.

La Figure 22 comporte 2 zones partielles cylindriques de longueur 18mm, qui glissent entre les cercles P et Q de manière synchrone, c'est-à-dire en maintenant la distance de 90mm entre les deux zones. La spécification doit être respectée quelle que soit la position de la référence A.

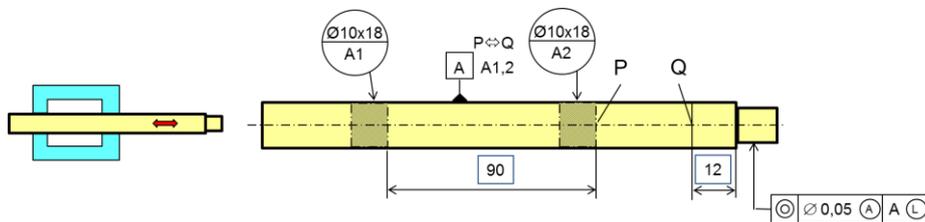


Figure 22 - Exemple d'indication de référence partielle glissante

2.6 Désignation des zones partielles et des éléments de référence

2.6.1 Lien entre les références

Il est possible d'avoir :

- des références glissantes mobiles.
- plusieurs zones glissantes indépendantes sur la même surface.
- plusieurs zones glissantes synchrones sur des surfaces différentes.

Les liens entre les zones partielles sont donnés par les identifiants.

Les zones mobiles avec la même lettre sont synchrones.

Les zones mobiles avec des lettres différentes sont indépendantes

Les zones glissantes avec la même lettre sont solidaires.

Les zones glissantes avec des lettres différentes sont indépendantes

Une même lettre peut être affectée pour des zones mobiles et fixes.

Des zones glissantes et non glissantes d'une référence doivent avoir des lettres différentes.

Une zone partielle utilisée dans deux références différentes doit recevoir deux indicateurs de zone partielle avec des lettres différentes.

2.6.2 Élément de référence établi à partir d'une ou plusieurs zones partielles

Si une référence est constituée de plusieurs zones partielles, chaque zone doit être désignée avec la même lettre, même si elles n'appartiennent pas à la même surface.

Pour faciliter le recensement des zones partielles, l'indicateur d'élément de référence peut être suivi de la liste des numéros (séparés par des virgules) identifiant les zones partielles (Figure 23).

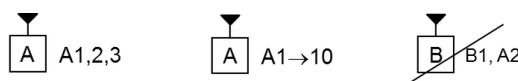


Figure 23 - Indication de références spécifiées établie à partir de zones partielles

NOTE : Il n'est pas possible de constituer directement une référence à partir de zones partielles n'ayant pas la même lettre que la référence. Toutes les zones partielles A_i ne peuvent constituer qu'une seule référence appelée A.

Si nécessaire, il faut donner deux noms différents à une zone partielle, pour constituer deux références différentes (Figure 24a).

A désigne la surface composée des deux zones partielles A1 et A2.

B désigne la surface composée des deux zones partielles B1 et B2 avec $A_2 = B_1$.

New

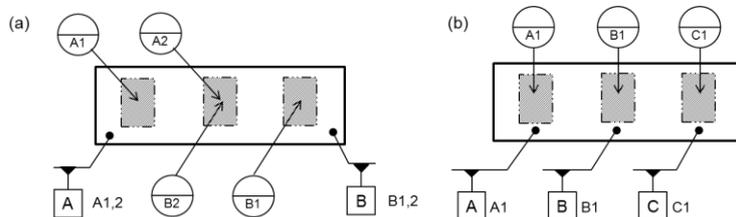


Figure 24 - Références différentes établis sur la même zone partielle

NOTE : Dans ce cas, il est également possible de définir de plusieurs références ayant des noms différents, pour constituer deux références communes A-B et B-C (Figure 24a).

2.6.3 Zones partielles dans un groupe

Lorsqu'une zone partielle est définie sur un des éléments du groupe, il est admis de ne représenter qu'une seule zone partielle avec un identifiant ayant la même lettre que la référence. Cet identifiant doit être placé à côté de du compteur nx au-dessus du cadre de tolérance. La surface spécifiée est limitée à la zone partielle équivalente pour tous les autres éléments du groupe (Figure 25).

Dans cette Figure 25a, l'indicateur de référence B est placé sous le cadre de tolérance. B est donc formé par les n zones partielles.

Si l'indicateur de référence est décrit de manière isolée, le nombre d'éléments du groupe suivi de l'identifiant de la zone partielle est inscrit à côté (Figure 25b).

New

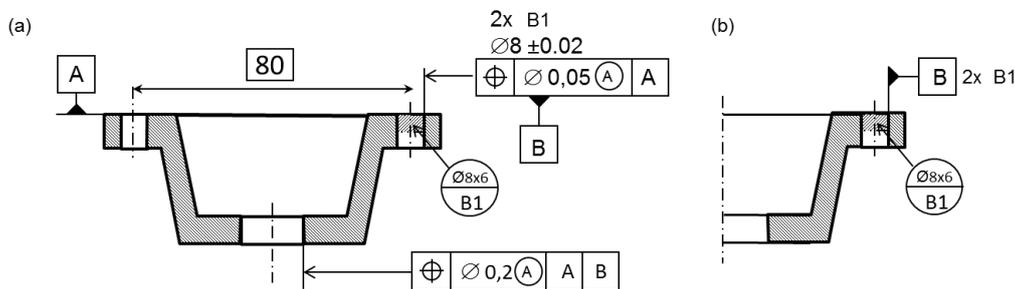


Figure 25 - Zones partielles dans un groupe

2.7 Spécification sur une zone partielle locale

2.7.1 Principe

Définition : Une spécification comportant un « / » suivi d'une indication d'étendue après la tolérance doit être vérifiée pour toute position et toute orientation de la zone partielle sur toute la surface spécifiée.

La spécification doit être respectée en tous les points de la surface, même si l'étendue de la surface est incomplète. Cette indication $/xx$ peut être utilisée pour tous les types de spécification (forme, orientation, position, battement..).

NOTE 1 : Lorsqu'il n'y a pas d'indication, la spécification doit être respectée quelle que soit l'orientation de cette zone sur la surface. Pour fixer une direction, il est préférable de définir les spécifications sur des zones partielles glissantes afin de préciser la forme et l'orientation du contour de la zone glissante.

NOTE 2 : Pour cette spécification, il ne peut pas être demandé de mesure systématique pour toutes les positions possibles de la zone partielle. Par contre, si un défaut local est observé sur une pièce, une mesure particulière peut être réalisée. Une seule mesure hors tolérance est suffisante pour déclarer la spécification non conforme. Si un process de fabrication est susceptible de produire un défaut toujours dans la même partie de la pièce

(recouvrement d'outil, plan de joint...), il est possible d'inclure dans le protocole de vérification de la pièce, l'évaluation de cette spécification sur une ou plusieurs zones partielles particulières.

2.7.2 Zone locale linéique ou surfacique

Les zones partielles peuvent être de différentes formes :

- linéique : 0,02/5 pour segment de 5mm.
- Circulaire : $\varnothing 5$ pour une zone circulaire $\varnothing 5$,
- Rectangulaire ou carré (ex : 5x10).

REGLE : Pour une surface gauche, la forme de la surface étant variable, la surface nominale est associée dans un premier temps à l'ensemble de la surface spécifiée. Pour chaque point P de la surface nominale, le contour de la zone locale est projeté sur la surface spécifiée. L'écart de forme est évalué en comparant la surface réelle et la surface nominale dans cette zone.

La Figure 26a présente une rectitude imposée sur toutes les zones partielles limitées par un segment de longueur 5mm

La Figure 26b présente une planéité imposée sur toutes les zones partielles limitées par un cercle $\varnothing 5$.

La Figure 26c présente un défaut de forme imposé sur toutes les zones partielles limitées par la projection d'un cercle $\varnothing 5$.

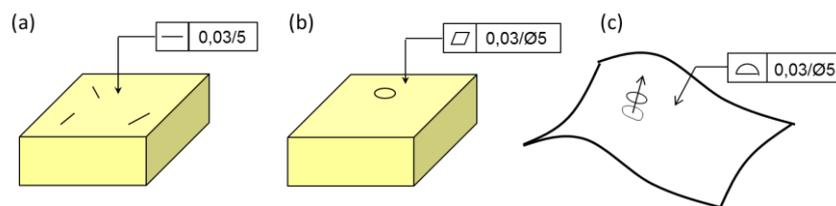


Figure 26 - Défaut de forme local d'une surface

NOTE : cette spécification est très utile pour spécifier les défauts locaux aléatoires ainsi que les sauts générés par les parcours d'outils type zig-zag.

2.7.3 Zone glissante dans un volume

Définition : Une spécification appliquée à toutes les surfaces de la pièce avec l'indication \odot comportant un « / » suivi d'une indication de volume après la tolérance doit être vérifiée pour toute position et toute orientation du volume sur toutes les surfaces spécifiées contenues dans ce volume.

Les volumes peuvent être de différentes formes :

- Sphère : S $\varnothing 30$ pour une sphère de diamètre 30.
- Cube : 30x30x30 pour un cube de diamètre 30. (La spécification doit être vérifiée quelle que soit l'orientation du cube)

La Figure 27 impose une spécification de forme locale dans toute sphère $\varnothing 30$ avec une tolérance de 0,2.

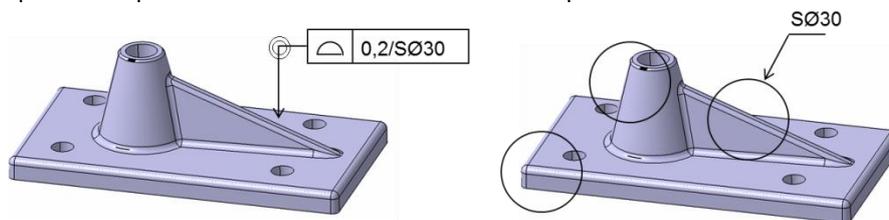


Figure 27 - Forme dans une sphère mobile

NOTE : Cette spécification peut être un complément au tolérancement général imposé par une spécification de position de surface quelconque avec une tolérance assez large. La géométrie de la pièce doit être respectée localement, dans une étendue définie par le volume. Il est ainsi possible d'imposer une tolérance générale sévère localement et très large globalement. Si besoin, plusieurs tailles de zones mobiles peuvent être définies sur la même pièce ($\varnothing 30$, $\varnothing 150$, $\varnothing 500$) selon les besoins pour avoir des tolérances qui varient selon les distances entre les surfaces.

2.7.4 Zone glissante sur une nervure

La Figure 28 est une zone locale cylindrique qui porte sur deux surfaces réelles face à face clairement identifiées.

La forme de la nervure étant variable, la surface nominale est associée dans un premier temps à l'ensemble de la surface spécifiée. Pour chaque point P de la surface nominale, on détermine la droite Δ passant par les deux

points de contact P et Q d'une sphère bitangente aux surfaces nominales. La zone mobile est alors assimilée à un volume orienté selon la direction Δ .
L'écart de forme est évalué en comparant la surface réelle et la surface nominale simultanément sur les deux côtés de la nervure dans cette zone.

NOTE : cette spécification limite les variations de l'épaisseur locale, sans imposer de contraintes de position de la nervure.

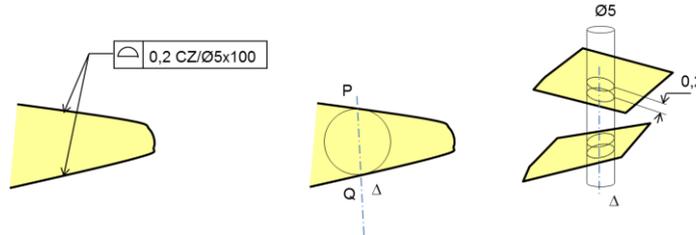


Figure 28 - Zone partielle locale sur une zone commune

NOTE : il n'aurait pas été possible de mettre simplement /Ø5, car la zone glissante aurait été considérée comme surfacique. De même il n'aurait pas été possible de mettre 2c au-dessus du cadre de tolérance, car il n'y aurait eu qu'une seule surface avec une zone glissante qui aurait fait le tour de la pièce.

3. Généralisation des axes et surfaces médianes d'une surface

3.1 Définition d'un axe réel

Si la spécification porte sur l'axe de la surface spécifiée, le modificateur \textcircled{A} doit être placé à droite de la tolérance dans la spécification.

Définition : L'axe réel est défini par l'ensemble des axes nominaux des tronçons associés par les moindres carrés.

NOTE : Un axe est par définition un élément calculé. Le terme axe réel constitue un abus de langage pour désigner l'axe de la surface réelle. Ce terme est surtout utilisé pour distinguer cet axe (avec défaut) de l'axe de la surface associée (qui est une ligne parfaite).

Une surface nominale est associée à l'ensemble de la surface réelle spécifiée, ce qui définit l'axe nominal de la surface. La surface est partitionnée en tronçons le long de cet axe.

Pour chaque tronçon, la surface nominale est associée à la surface réelle avec uniquement les points du tronçon, en autorisant une mobilité en translation dans le plan perpendiculaire à l'axe.

L'axe du tronçon est la portion de l'axe nominal de la surface associée au tronçon limitée à l'étendue du tronçon.

3.2 Extrémités de la surface

Pour éviter les difficultés de définition des limites de la surface spécifiée au voisinage du contour extérieur et des contours intérieurs de la face et pour permettre la mesure de chaque surface indépendamment des autres surfaces, il est nécessaire de restreindre la surface tolérancée.

REGLE : la surface réelle tolérancée est restreinte par défaut à une distance $d = 0,5$ mm des arêtes avec les surfaces réelles adjacentes. Figure 29a. L'axe n'est plus défini si l'arc disponible pour l'association a un angle au centre inférieur à 180° Figure 29b, en particulier si les faces adjacentes à la surface spécifiée ne sont pas perpendiculaires à l'axe, ou s'il y a une encoche dans le cylindre.

NOTE : La pièce doit être ébavurée, il ne doit donc pas y avoir de partie saillante au voisinage des arêtes. Si besoin, il est possible de spécifier une zone restreinte particulière. Inversement, si la zone réellement utilisée pour la mesure et l'association de l'axe ne respecte pas la distance $d=0,5$ par défaut, il est nécessaire de donner la valeur d ou de décrire la zone identifiée dans le procès verbal de mesure. L'éloignement d peut être modulé dans les conditions de mesure (voir 10.1.2)

Dans la rectitude (1) de la Figure 29c, l'axe au cylindre extérieur est associé en excluant les extrémités du cylindre au voisinage des arêtes ainsi que les zones au voisinage du trou débouchant sur le cylindre (Figure 29d). Dans la rectitude (2), l'axe est limité aux sections comprises entre les plans P et Q qui sont définis dans le modèle nominal.

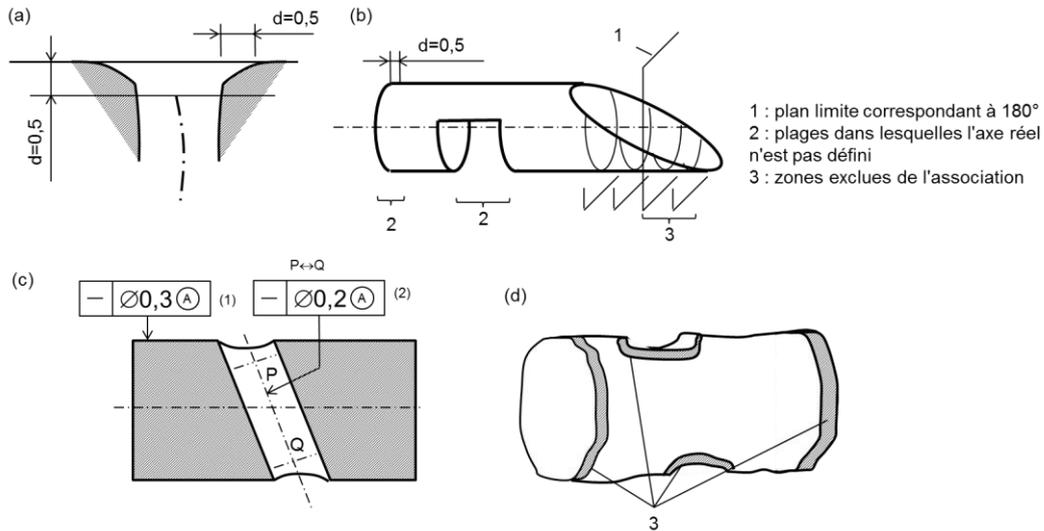


Figure 29 - Extrémities de la surface

3.3 Axe réel d'une surface de révolution

La Figure 30 présente la définition d'un axe pour les surfaces de révolution. La surface est partitionnée par des plans perpendiculaires à l'axe de la surface nominale associée à l'ensemble de la surface réelle spécifiée.

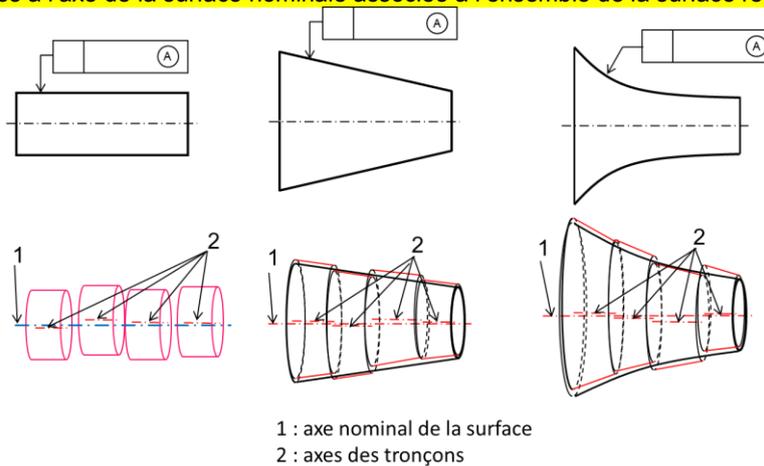


Figure 30 - Axe réel d'une surface de révolution

3.4 Axe réel d'une tubulure

La Figure 31 présente une surface définie par une section évolutive comportant un centre de symétrie perpendiculaire à une ligne.

Les tronçons sont limités par les plans perpendiculaires à l'axe nominal de la surface nominale associée à l'ensemble de la surface réelle spécifiée. L'association est réalisée avec une translation de la surface nominale dans le plan perpendiculaire à l'axe nominal, au centre du tronçon.

L'axe réel du tronçon est défini par l'axe nominal de la surface associée au tronçon entre les plans séparateurs des tronçons.

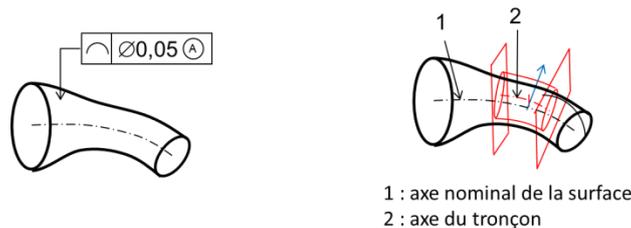


Figure 31 - Axe réel d'une tubulure

3.5 Axe réel conventionnel d'une surface quelconque

La surface doit être désignée par un indicateur de référence : ex : S

Le modèle nominal doit comporter un axe relié à la surface par un indicateur $S[AL]$ « axe réel linéique de S ». Cet indicateur peut être placé directement au-dessus d'un cadre de tolérance qui spécifie cet axe.

L'élément tolérancé est l'axe réel défini par les axes des tronçons.

La Figure 32 présente une surface complexe S composée de l'ensemble des surfaces autour de la pièce. Dans le modèle nominal, la spécification de rectitude porte sur une droite. Le commentaire $S[AL]$ indique que cette droite est l'axe de S.

Une surface nominale est associée à l'ensemble de la surface réelle spécifiée, ce qui donne l'axe nominal de la surface. La partition en tronçons est effectuée à l'aide de plans perpendiculaires à cet axe.

Pour chaque tronçon, la surface nominale est associée à la surface réelle avec uniquement les points du tronçon, en autorisant une mobilité en translation dans le plan normal à l'axe nominal.

L'axe réel du tronçon est défini par l'axe nominal de la surface associée au tronçon entre les plans séparateurs des tronçons.

NOTE : Cette méthode convient également pour définir l'axe réel d'un groupe de surfaces ou de trous par exemple.

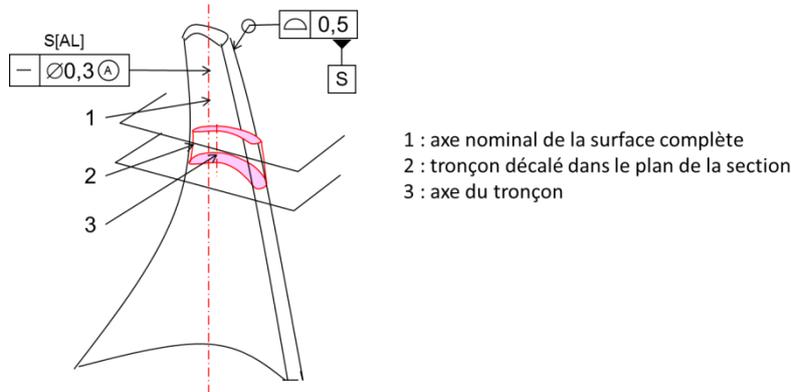


Figure 32 - Axe conventionnel rectiligne

La Figure 33 présente une surface complexe S composée de l'ensemble des surfaces autour de la pièce. Dans le modèle nominal, la spécification de forme de la ligne quelconque porte sur une ligne courbe. Le commentaire $S[AL]$ indique que cette ligne est l'axe réel linéique de S.

Une surface nominale est associée à l'ensemble de la surface réelle spécifiée, ce qui définit l'axe nominal de la surface. La partition en tronçons est effectuée à l'aide de plans perpendiculaires à l'axe nominal de la surface. Pour chaque tronçon, la surface nominale est associée à la surface réelle avec uniquement les points du tronçon, en autorisant une mobilité en translation dans le plan normal à l'axe nominal, au centre du tronçon.

L'axe réel du tronçon est défini par l'axe nominal de la surface associée au tronçon entre les plans séparateurs des tronçons.

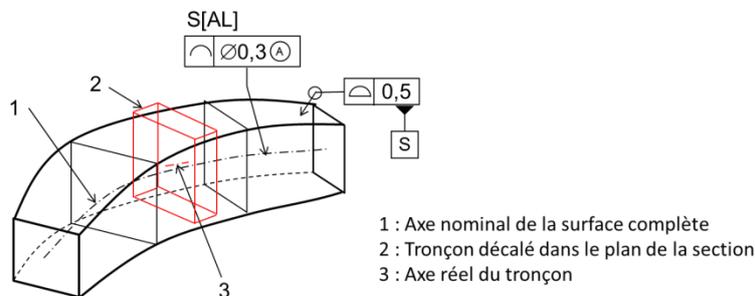


Figure 33 - Axe réel conventionnel quelconque

3.6 Surface médiane conventionnelle d'une surface quelconque

La surface médiane de deux plans face à face est définie directement à partir des points identifiés sur les surfaces réelles :

Définition : La surface médiane réelle est le lieu des milieux des bipoints identifiés face à face.

Pour une surface complexe, la surface médiane n'a de sens que si les faces en vis-à-vis sont localement sensiblement parallèles.

La surface doit être désignée par un indicateur de référence : ex : A

Le modèle nominal doit comporter une surface relié à la surface identifié par un commentaire A[MS] (Surface médiane de A ».

Définition : La surface médiane réelle de deux surfaces localement sensiblement parallèles est définie par l'ensemble des surfaces médianes des tronçons associés par les moindres carrés.

La Figure 34 présente une surface complexe A composée de l'ensemble des surfaces autour de la pièce. Dans le modèle nominal, la spécification de forme porte sur une surface. Le commentaire A[MS] indique que cette surface est la surface médiane de A.

La surface nominale est associée à la surface réelle complète, ce qui positionne la surface médiane nominale. Cette surface nominale est partitionnée en carreaux. Chaque carreau définit la normale à la surface nominale au centre du carreau ainsi qu'un tronçon limité par les normales à la surface médiane nominale passant par les points du contour.

Pour chaque tronçon, la surface nominale est associée à la surface réelle avec uniquement les points du tronçon, en autorisant une mobilité en translation selon la normale à la surface médiane nominale.

La surface médiane du tronçon est la portion de la surface nominale associée au tronçon entre les faces séparatrices des tronçons.

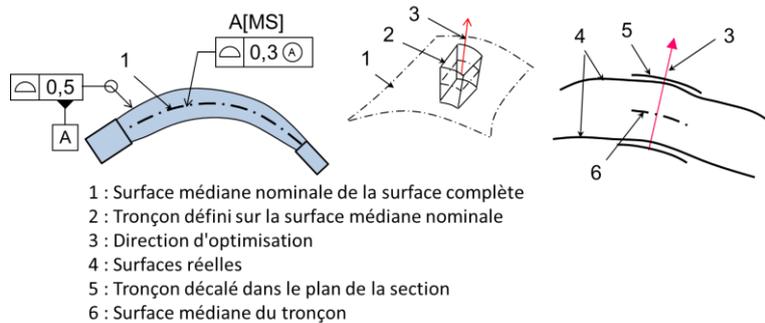


Figure 34 - Surface médiane conventionnelle quelconque

3.7 Limites de la surface

Sur une sphère, il n'y a d'axe, au sens où la direction de l'axe est indéterminée. Une surface quelconque peut ainsi dégénérer en une forme quasi sphérique, notamment aux extrémités de la surface :

La Figure 35a présente une nervure prismatique qui se termine par des bouts quasiment cylindriques. La surface médiane conventionnelle permet de définir des tronçons, et une surface médiane.

Aux extrémités, la notion de tronçon cette surface médiane réelle de la partie cylindrique n'a plus aucun sens. Le rayon de courbure est petit. Les algorithmes d'association peuvent être très perturbés si la surface réelle est plus ou moins longue, car la surface nominale du tronçon peut être assez différente de la surface réelle.

Pour éviter toute difficulté, il est préférable de limiter la surface par une zone partielle qui élimine les extrémités de la surface (Figure 35b).

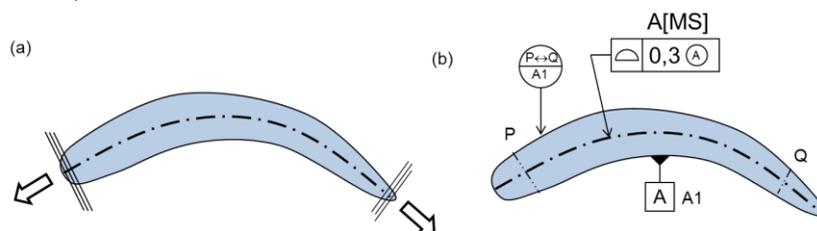


Figure 35 - Limitation de la surface médiane tolérancée

4. Zones de tolérance complémentaires

4.1 Synthèse des formes de zones de tolérance

La forme de la zone de tolérance dépend de la nature de la surface spécifiée et des indicateurs \varnothing et $S\varnothing$ (Figure 36).

Zone de tolérance		t	$\varnothing t$	$S\varnothing t$
<u>Surface Spécifiée</u>		Espace entre 2 plans distants de la tolérance centrés sur le nominal	Cylindre de diamètre égal à la tolérance centrés sur le nominal	Sphère de diamètre égal à la tolérance centrés sur le nominal
<u>Plan</u>	Plan nominal			
<u>Axe</u>	Droite nominale			
<u>Point</u>	Point nominal			
<u>Surface</u>	Surface nominale	Espace entre 2 surfaces offset de la surface nominale	Espace limité par la surface offset de l'axe nominal	

Figure 36 – Principales forme de zone de tolérance

4.2 Orientation des zones de tolérances

4.2.1 Indicateur d'orientation

La restriction d'une zone de tolérance dans une direction d'analyse donnée est généralement due à une chaîne de cotes unidirectionnelles critique dans cette direction. La direction est donc naturellement définie par rapport au système de références de mise en position de la pièce.

Un indicateur d'orientation placé à droite de la spécification ajoute une contrainte d'orientation à la zone de tolérance. La signification dépend de la forme de la zone de tolérance et de la nature de la surface choisie pour indiquer l'orientation.

La Figure 37 représente l'emploi pour un élément spécifié rectiligne de direction \vec{u} . La zone de tolérance est formée par deux plans parallèles de normale \vec{v} .

- (a) Orientation parallèle à un plan P de normale \vec{n} . \Rightarrow la direction de mesure \vec{v} de l'écart est selon la normale au plan ($\vec{v} = \vec{n}$)
- (b) Orientation perpendiculaire à une droite D d'axe \vec{n} . \Rightarrow la direction de mesure \vec{v} de l'écart est parallèle à la droite ($\vec{v} = \vec{n}$).
- (c) Orientation perpendiculaire à un plan P de normale \vec{n} et centrée sur la droite nominale spécifiée \Rightarrow la direction de mesure de l'écart est parallèle au plan ($\vec{v} = \vec{n} \wedge \vec{u}$).
- (d) Orientation par rapport au plan passant par la droite D d'axe \vec{n} passant par le point C et par le point M \Rightarrow ($\vec{v} = \vec{n} \wedge \vec{CM}$).

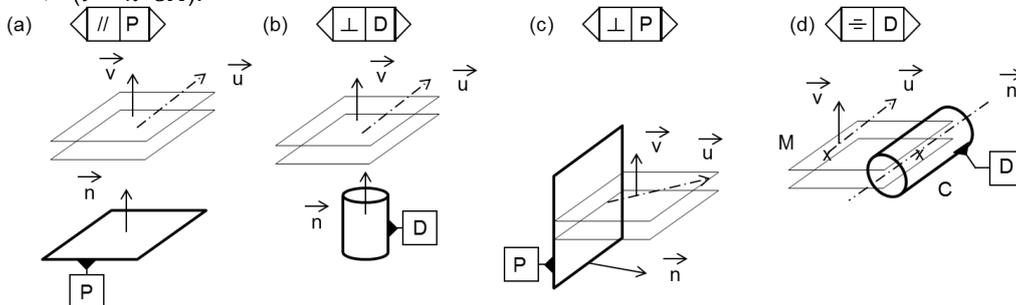


Figure 37 – Zone de tolérance pour des droites

NOTE 1 : Dans un plan d'orientation, la normale à un plan est équivalente à la direction de l'axe d'un cylindre, sauf pour l'indication passant par la normale au plan n'a pas de position définie.

NOTE 2 : la zone de tolérance est avant tout définie par rapport à la position de la surface nominale qui est elle-même positionnée par rapport au système de références de la spécification. L'indicateur d'orientation donne une

contrainte d'orientation supplémentaire par rapport à un élément géométrique qui est parfaitement défini dans le modèle nominal par rapport au même système de références. Il n'y a donc aucune contradiction. Cette zone de tolérance peut être déplacée librement en fonction des mobilités résiduelles du système de référence.

Pour une spécification de forme, le plan d'orientation est défini dans le modèle nominal. Le modèle nominal n'a aucune contrainte de positionnement autre que placer si-possible la surface tolérancée dans la zone de tolérance.

NOTE 3 : Très fréquemment, certains plans d'orientation peuvent avoir une double interprétation. Il est donc nécessaire de choisir l'indicateur d'orientation avec beaucoup d'attention.

La Figure 38 définit l'orientation de la zone de tolérance un élément tolérancé courbe. Le vecteur tangent à la courbe en change point est noté \vec{u} .

Pour une orientation parallèle à un plan P de normale \vec{n} (ou perpendiculaire à une droite d'axe \vec{n}), l'écart est évalué selon la direction \vec{n} . (Figure 38a, b)

Pour une orientation perpendiculaire à un plan P de normale \vec{n} (ou parallèle à une droite d'axe \vec{n}), l'écart est évalué selon la direction $\vec{v} = \vec{n} \wedge \vec{u}$ (Figure 38c, d, e)

Pour une orientation par rapport au plan passant par la droite D passant par le point C et par le point M de la courbe, l'écart est évalué selon la direction $\vec{v} = \vec{n} \wedge \vec{CM}$ (Figure 38f)

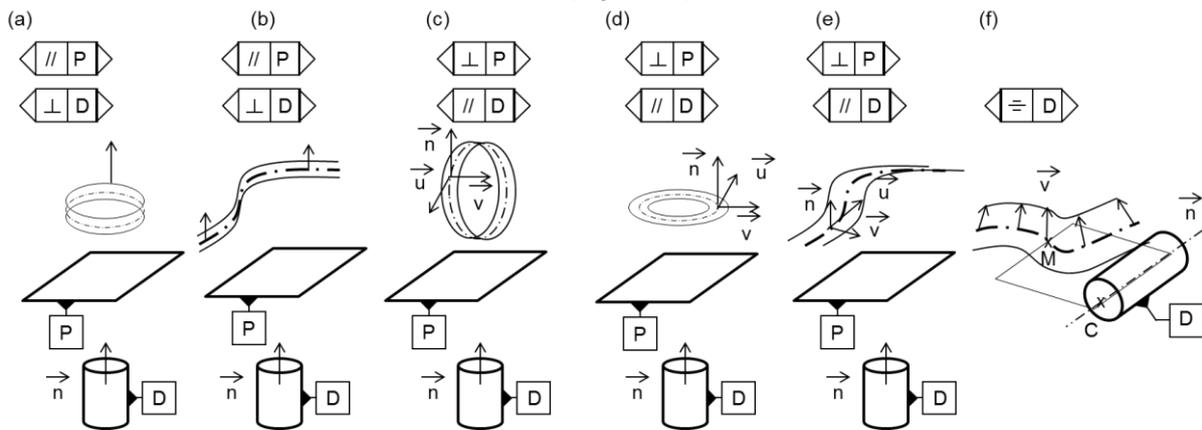


Figure 38 - Zone de tolérance sur des lignes courbes

4.2.2 Spécification d'un axe dans une direction

Lorsqu'une chaîne de cotes unidirectionnelle passe par une liaison cylindrique, la spécification de position du cylindre n'impose une localisation de l'axe du cylindre que dans la direction de la chaîne de cotes.

REGLE : Pour imposer une zone de tolérance dans une direction donnée, la spécification comporte :

- La tolérance $t^{\textcircled{A}}$ (sans Ø)
- Un indicateur d'orientation indiquant l'orientation de la zone de tolérance, placé à droite de la spécification.
- Une surface d'orientation définie dans le modèle nominal (plan, droite ou axe d'une surface de révolution).

Le modèle nominal est orienté par le système de références de la spécification.

La zone de tolérance, limitée par deux plans distants de t , est orientée parallèlement ou perpendiculairement à la surface d'orientation définie dans le modèle nominal.

La Figure 39a comporte une liaison primaire sur le cylindre A. La pièce est orientée par l'alésage B. Le modèle nominal comporte un plan d'orientation P passant par A et perpendiculaire au plan passant par A et B.

Sur le modèle nominal, la zone de tolérance, limitée par deux plans distants de 0,1, est centrée sur P (Figure 39b).

Le modèle nominal est associé à la pièce réelle par le système de références A|B.

L'axe réel de l'alésage doit être compris entre ces deux plans.

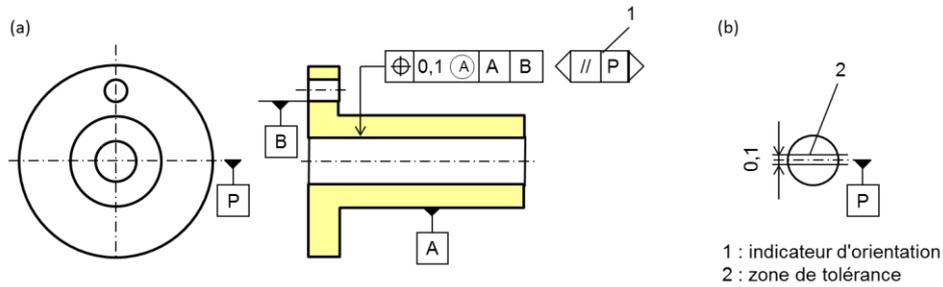


Figure 39 - zone de tolérance entre deux plans

Pour éviter toutes ambiguïtés, la zone de tolérance doit être de préférence entièrement orientée par la surface d'orientation définie dans le modèle nominal ou éventuellement également à l'aide de l'élément nominal spécifié.

NOTE 1 : La surface d'orientation utilisée dans l'indicateur d'orientation peut être toute surface de la pièce considérée en tant que surface nominale, de préférence des surfaces du système de références. Le plan d'orientation peut être créé spécialement dans le modèle nominal pour faciliter la lecture.

NOTE 2 : Pour assurer le respect de la chaîne de cotes, le système de références de la spécification doit orienter la pièce par rapport à la direction de la chaîne de cotes, ce qui permet d'orienter la zone de tolérance. Dans la Figure 39a, il n'est pas possible de supprimer la référence secondaire B.

NOTE 3 : La spécification d'une zone de tolérance en deux plans est possible pour toutes les surfaces de révolution, voire pour les axes conventionnels rectilignes tels que défini Figure 32.

NOTE 4 : Pour une spécification de planéité sur un axe réel d'un cylindre, la surface d'orientation doit être placée sur une surface qui permet d'orienter la pièce.

4.2.3 Spécification de deux axes dans une direction

Les deux spécifications (2) des Figure 40 et Figure 41 sont rigoureusement équivalentes.

La Figure 40 comporte une composition de deux alésages, avec un plan d'orientation P défini dans le modèle nominal comme passant par les axes des deux alésages nominaux.

Pour la spécification d'orientation (2), le modèle nominal est positionné par rapport au système de références A|B. Le plan d'orientation P passe par les deux axes nominaux.

La zone de tolérance limitée par deux plans distants de 0,1 est construite centrée sur P, puis translatée selon une direction normale à P pour que les deux axes réels soient si possible simultanément dans la zone de tolérance.

Cette zone de tolérance d'orientation a une tolérance sévère, sans imposer de contrainte de distance entre les trous.

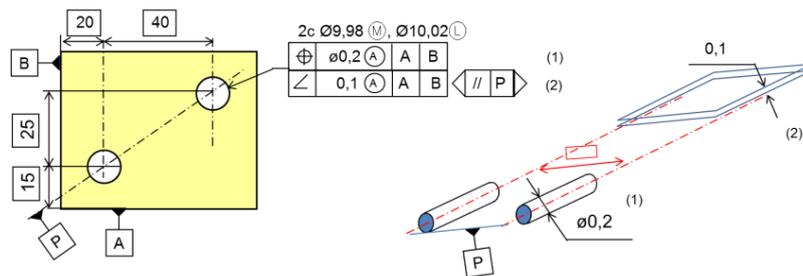


Figure 40 - Orientation d'une surface composée

NOTE : Le cumul des spécifications (1) et (2) permet de respecter une chaîne de cotes 3D avec un effet angulaire autour des axes des alésages.

La Figure 41 comporte un groupe de deux alésages, avec un plan d'orientation P défini dans le modèle nominal comme passant par les axes des deux alésages nominaux.

Pour la spécification d'orientation (2), le modèle nominal est positionné par rapport au système de références A|B. Le plan d'orientation P passe par les deux axes nominaux.

Il y a deux zones de tolérance limitée par deux plans distants de 0,1. Chaque zone est construite centrée sur P. Ces deux zones sont alors considérées comme une zone commune en imposant une position relative exacte entre les zones.

Cette zone est ensuite translattée selon une direction normale à P pour que les deux axes réels soient si possible simultanément dans la zone de tolérance.

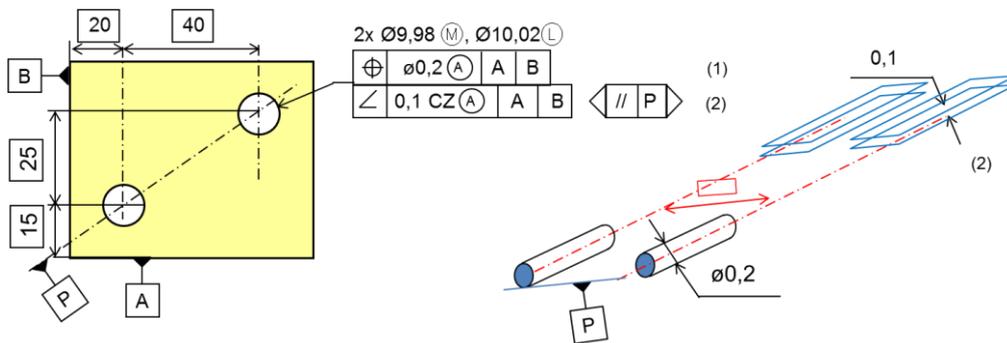


Figure 41 - Orientation d'un groupe

NOTE : Cette spécification évite de constituer une surface composée dans un groupe.

4.2.4 Spécification d'axes autour d'une droite

La Figure 42 comporte 4 alésages, avec une droite D définie dans le modèle nominal.

Pour la spécification d'orientation (2), le modèle nominal est positionné par rapport au système de références A|B. Pour chaque alésage, le plan d'orientation passe par la droite D et l'axe nominal de l'alésage.

La surface spécifiée est une seule surface composée des 4 alésages. La zone de tolérance, limitée par 4 paires de plans distants de 0,1, est construite centrée en passant les plans d'orientation, puis translattée globalement selon une direction perpendiculaire à D pour que les 4 axes réels soient si possible simultanément dans la zone de tolérance.

La spécification (3) est équivalente en considérant la surface spécifiée comme un groupe de 4 alésages. Il y a 4 zones de tolérance centrées respectivement sur les axes nominaux et passant par D. Ces 4 zones sont regroupées en une seule zone commune.

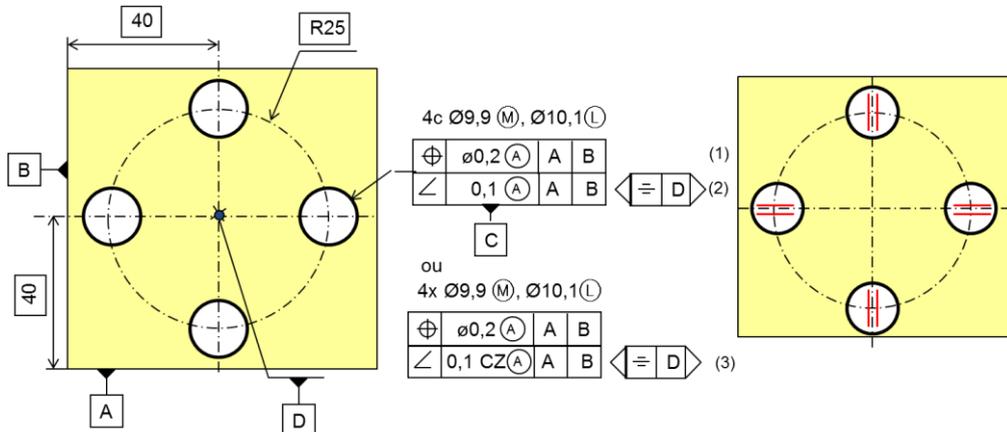


Figure 42 - Orientation d'une surface composée de trous

4.2.5 Spécification du centre d'une sphère

Le centre d'une sphère peut être spécifié avec 3 types de zones de tolérance décrites Figure 43.

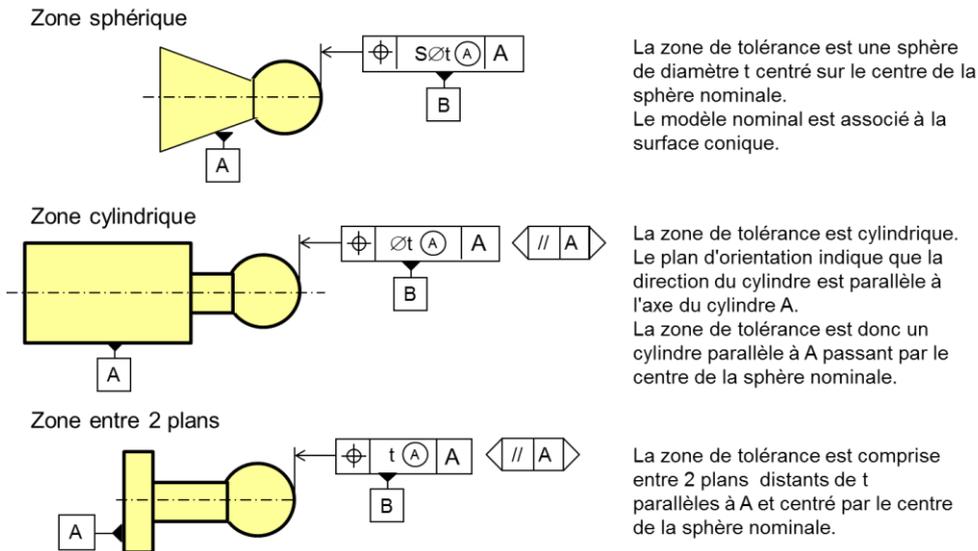


Figure 43 - Spécification du centre d'une sphère

4.2.6 Spécification d'un cylindre au L ou M dans une direction

REGLE : Pour imposer une zone de tolérance au L ou M dans une direction donnée, la spécification comporte :

- La tolérance $[\text{Ø}t]$ ou la valeur de l'offset $\{d\}$ suivie de L ou M
- Un indicateur d'orientation indiquant l'orientation de la zone de tolérance.
- Une surface d'orientation définie dans le modèle nominal (plan, droite ou axe d'une surface de révolution)

Le modèle nominal est orienté par le système de références de la spécification.

La zone de tolérance est définie en position centrée sur l'axe nominal. Cette zone peut ensuite être déplacée tant qu'elle reste entre les deux plans parallèles au plan d'orientation.

La Figure 44 est similaire à la Figure 39, mais avec un modificateur L . L'alésage doit respecter une zone de tolérance comprise dans un cylindre $\text{Ø}20$. Cette zone de tolérance peut se déplacer entre deux plans distants de 20, parallèles au plan d'orientation P. Pour cette localisation, ces deux plans sont également centrés sur l'axe nominal.

NOTE : La zone de tolérance cylindrique impose le respect de la zone de tolérance sur tout le cylindre spécifié, car il est nécessaire de garantir le guidage, même si le contact n'a pas lieu dans le plan perpendiculaire à P en raison des défauts de forme. Dans certains cas, il peut être intéressant de limiter la spécification à une zone partielle au voisinage des génératrices du cylindre dans la direction de la chaîne de cotes.

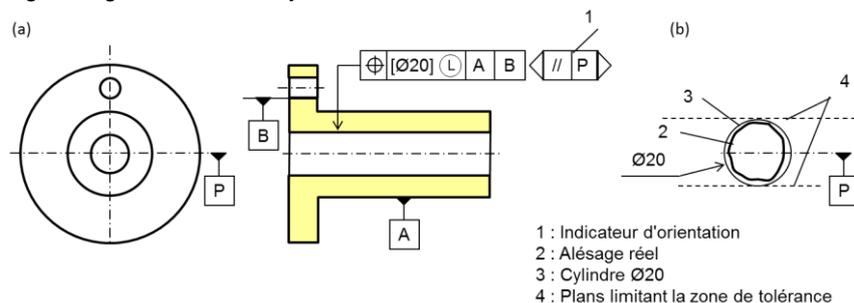


Figure 44 - Spécification au minimum de matière dans une direction

La Figure 45 comporte une composition de deux alésages, avec un plan d'orientation P défini dans le modèle nominal comme passant par les axes des deux alésages.

Pour la spécification d'orientation (2), le modèle nominal est positionné par rapport au système de références A|B. Le plan d'orientation P passe par les deux axes nominaux.

La surface spécifiée est une seule surface composée des 2 alésages. Pour chaque alésage, la zone de tolérance est limitée par un cylindre $\text{Ø}10,12\text{L}$ construit centrée sur l'axe nominal. Ce cylindre peut se déplacer librement entre deux plans distants de 10,12 parallèles aux plans P et centrés sur l'axe nominal. La spécification étant une

orientation, ces deux paires de plans peuvent ensuite être traduites globalement perpendiculairement au plan P, pour placer si possible les 4 alésages réels dans les cylindres $\varnothing 10,12$.

NOTE : les deux cylindres $\varnothing 10,12$ ne sont pas contraints en distance, ni en parallélisme entre les deux plans. La spécification d'orientation limite l'influence des défauts de rotation en cas de porte-à-faux en imposant simplement des diamètres d'alésages plus petit (moins de jeu), mais sans imposer de contraintes de distance entre les alésages.

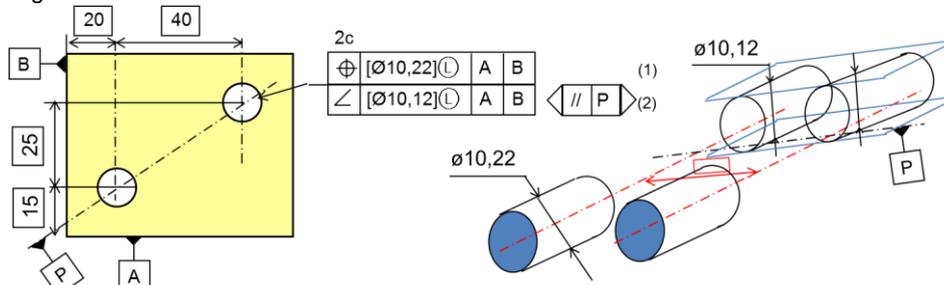


Figure 45 - Orientation d'une surface composée au \textcircled{L}

4.3 Translation d'une zone de tolérance de position

4.3.1 Translation par rapport à un système de références complet

Une spécification d'orientation permet de traduire la zone de tolérance dans toutes les directions pour placer si possible la surface tolérancée dans la zone de tolérance.

Cette fonction permet de traduire une zone de tolérance de position uniquement selon certaines directions. Elle permet donc de maîtriser la position de la surface dans les autres directions.

NOTE 1 : cette indication n'a aucun intérêt pour une spécification d'orientation ou de forme.

New

Définition : Pour une spécification de position, le modèle nominal est associé aux surfaces réelles du système de références. Un indicateur de translation de la zone de tolérance permet de traduire librement le modèle nominal et la zone de tolérance, pour vérifier si la surface réelle tolérancée est dans la zone de tolérance.



Figure 46 - Indicateur de translation de la zone de tolérance

NOTE 2 : la surface utilisée dans l'indicateur de translation peut être une surface du modèle nominal de la pièce, ou bien un plan ou une droite construite spécifiquement dans le modèle nominal.

La Figure 47 illustre une surface complexe composée de 3 parties considérées comme une seule surface. Le modèle nominal est positionné sur le système de références A|B|C. Ce système de référence peut être quelconque.

Pour toutes les spécifications, la zone de tolérance de largeur t est construite centrée sur la surface nominale.

- Spécification (1) (tolérance 0,5). La zone reste centrée sur la surface nominale.
- Spécification (2) est une spécification d'orientation de tolérance est 0,1. La zone peut être traduite dans toutes les directions pour que la surface réelle soit, si possible, dans la zone de tolérance.
- Spécification (3) (tolérance 0,2) La zone peut ensuite être traduite dans toutes les directions parallèles au plan F, pour que la surface réelle soit, si possible, dans la zone de tolérance.
- Spécification (4) (tolérance 0,2). La zone peut ensuite être traduite dans la direction perpendiculaire au plan F, pour que la surface réelle soit, si possible, dans la zone de tolérance.

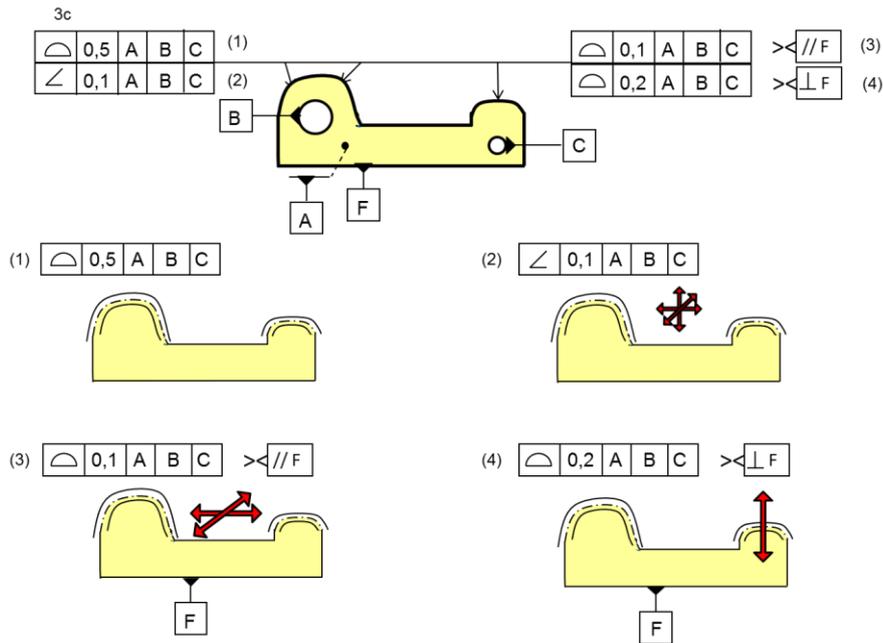


Figure 47 – Position d'une surface complexe

NOTE 3 : L'indicateur de translation peut être utilisé pour exprimer la contrainte de position dans des directions particulières issues des chaînes de cotes. La spécification (3) permet de maîtriser « la hauteur » de la surface par rapport à F, tout en laissant libre la position dans les autres directions. La spécification (4) permet de laisser libre « la hauteur » de la surface par rapport à F, tout maîtrisant la position dans les autres directions.

4.3.2 Translation par rapport à un système de références incomplet

La Figure 48 comporte une rainure avec deux flans de forme complexe. Le défaut de forme (1) garantit la forme de cette rainure. La localisation (2) impose sa position par rapport à l'axe, mais avec une tolérance large. La spécification (3) impose une spécification plus sévère, mais avec une distance à l'axe A indifférente.

- Élément tolérancé : tous les points des deux faces de la rainure
- Référence primaire : Cylindre nominal associé à la surface réelle A par les moindres carrés avec offset.
- Translation du modèle nominal selon une direction perpendiculaire au plan P pour placer si possible la surface spécifiée dans la zone de tolérance

Après l'association de A, le modèle nominal peut encore tourner autour de A. Le modèle peut alors être orienté, puis la zone de tolérance translatée selon la normale au plan P défini dans ce modèle nominal. Avec cette translation, le plan médian de la rainure nominale passe toujours par l'axe de A.

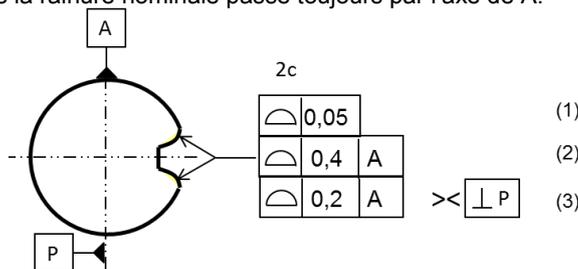


Figure 48 - Position d'une surface avec mobilité en rotation

4.4 Concaténation de zones de tolérance

4.4.1 Définition

Définition : Dans une spécification, plusieurs zones de tolérance relatives à des portions de la surface spécifiée peuvent être concaténées en une seule zone de tolérance.

- Les portions de la surface spécifiée sont listées au-dessus de la spécification, séparées par un &.
- Les tolérances et les modificateurs sont indiqués dans le même ordre dans le cadre de tolérance, séparée par un « & ».
- L'ensemble des zones sont en positions relatives parfaites.
- Si un modificateur est commun à toutes les zones, les tolérances sont placées entre parenthèses, le modificateur à droite de la parenthèse.

REGLE : Le modificateur OZ après une liste de tolérances entre parenthèses impose un décalage identique pour toutes les surfaces de la liste.

Le modificateur OZ sur une des surfaces permet un décalage uniquement pour la surface considérée, indépendamment des autres surfaces.

NOTE 1 : les portions de surfaces peuvent être désignées par des indicateurs de référence ou de zone partielle.

NOTE 2 : la concaténation de zones est similaire à la composition de surfaces, mais avec des zones de tolérance variable.

4.4.2 Zones de tolérance variable sur des surfaces différentes

La Figure 49 comporte une rainure. Les trois faces sont désignées par A, B et C. La spécification comporte l'indication A & B & C au-dessus du cadre. Les trois surfaces sont concaténées en une seule surface. Les tolérances affectées aux 3 surfaces sont respectivement 0,02, 0,2, 0,02.

Chaque zone est centrée sur les surfaces nominales avec une largeur différente selon la surface. La concaténation des 3 zones de tolérance donne une seule zone de tolérance. L'ensemble de la zone bénéficie des mobilités du système de références pour placer si possible, les 3 faces de la rainure dans la zone de tolérance.

NOTE 1 : En cas de risque d'ambiguïté, il est préférable de placer 3 flèches pour désigner les éléments spécifiés.

NOTE 2 : si besoin, le cadre de référence E placé sous le cadre de tolérance désigne l'ensemble des 3 surfaces A, B et C. E est donc équivalent à A-B-C.

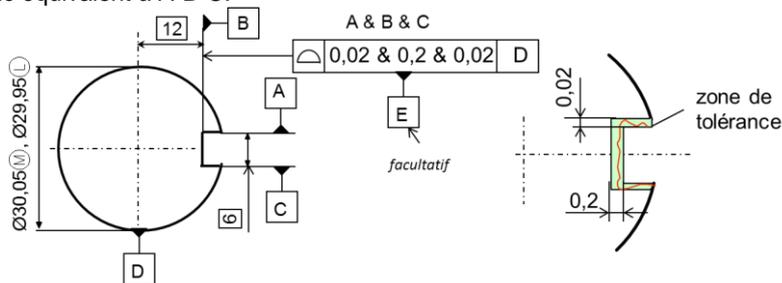


Figure 49 - Zone composée sur surfaces différentes

4.4.3 Tolérance différentes sur une surface continue

La surface spécifiée Figure 50 comporte 3 zones partielles B1, B2, B3 limitée par des lignes. La spécification comporte l'indication B1 & B2 & B3 au-dessus du cadre. Les tolérances affectées aux zones sont respectivement 0,2, 0,05, 0,2.

NOTE 1 : si besoin, le cadre de référence B placé sous le cadre de tolérance désigne l'ensemble des 3 zones partielles B1, B2, B3.

NOTE 2 : par défaut, les 3 zones partielles B1, 2, 3 forment une surface composée.

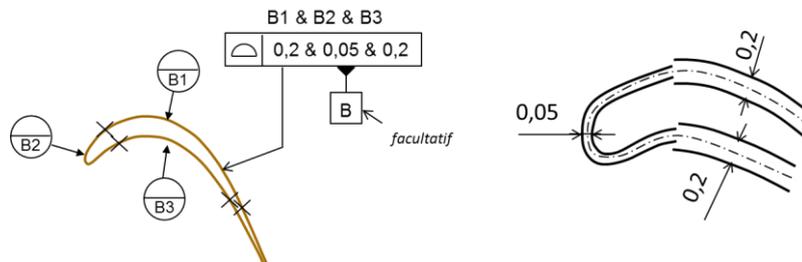


Figure 50 - Zone composée sur une surface continue

4.4.4 Zones de tolérance différentes pour une surface composée

La surface spécifiée Figure 50 comporte deux alésages A et B. La spécification comporte l'indication A & B au-dessus du cadre. Les deux zones de tolérance sont concaténées :

- La première partie pour A est un cylindre $\varnothing 10$ qui doit être extérieur matière.

- La seconde partie pour B(P) est un cylindre $\varnothing 0,1$ qui doit contenir la projection de l'axe de B sur la plage de projection (P).

Ces deux parties sont coaxiales et doivent être placées pour que les surfaces spécifiées respectent les deux parties de la zone de tolérance.

NOTE : Le cadre de référence C placé sous le cadre de tolérance désigne les deux alésages réels spécifiés (soit l'équivalent de A-B).

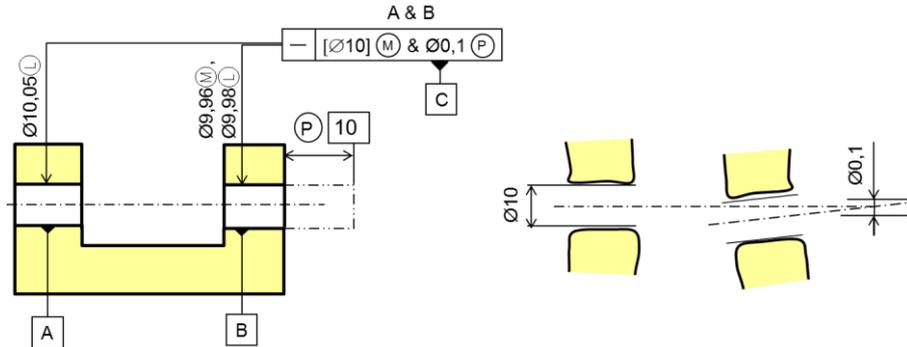


Figure 51 - Zone de tolérance concaténée avec des modificateurs différents

4.5 Zones de tolérance différentes pour un groupe

4.5.1 Définition

Définition : Dans une spécification sur un groupe, les zones de tolérance peuvent être différentes selon les éléments du groupe.

- Le compteur nx donne le nombre d'éléments dans le groupe. Il y a n zones de tolérance.
- Les différents types de surfaces spécifiées sont listés au-dessus de la spécification, séparés par un « ; ».
- Les tolérances et les modificateurs sont indiqués dans le même ordre dans le cadre de tolérance, séparée par un « ; ».
- Si un modificateur est commun à toutes les surfaces, les tolérances sont placées entre parenthèses, le modificateur à droite de la parenthèse.

Les éléments identiques à la première surface doivent respecter une zone de tolérance définie en premier.

Les éléments identiques à la seconde surface doivent respecter une zone de tolérance définie en deuxième position, etc....

NOTE : les surfaces peuvent être désignées par des indicateurs de référence ou de référence partielles..

4.5.2 Tolérances différentes dans un groupe

Dans la Figure 52, la surface spécifiée comporte trois alésages : B est un alésage $\varnothing 16$, C désigne l'alésage $\varnothing 6$. La spécification comporte l'indication 3x B,C au-dessus du cadre.

- Les zones de tolérance pour les éléments identiques à B sont des cylindres $\varnothing 0,1$.
- La zone de tolérance pour C est un cylindre $\varnothing 0,04$.

Ces 3 zones sont centrées sur le modèle nominal

NOTE : Le cadre de référence F placé sous le cadre de tolérance est l'équivalent de (B-B)-C.

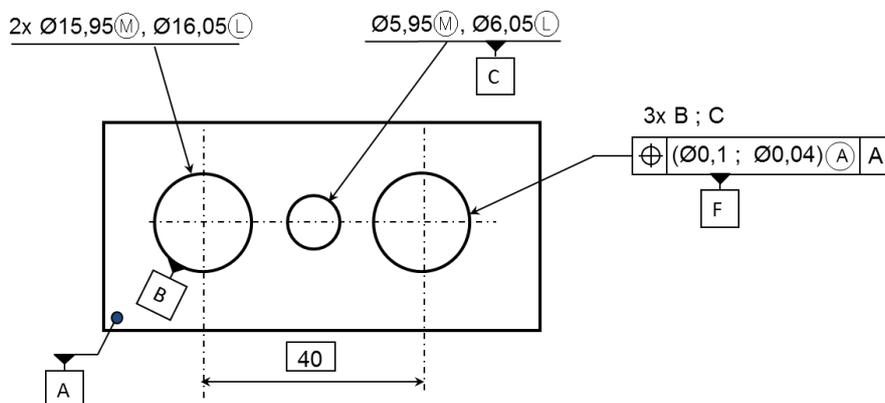


Figure 52 - Groupe de trous avec tolérances différentes

4.5.3 Groupe de surfaces composées différentes

Dans la Figure 53, la surface spécifiée comporte 4 trous lamés. C désigne le groupe des 4 lamages, D désigne le groupe de 4 trous. La spécification comporte l'indication 4x. C & D au-dessus du cadre. Les deux flèches désignent les 2 éléments de la concaténation. Le 4x indique qu'il y a 4 zones de tolérance.

Pour chaque élément du groupe, la zone de tolérance est constituée de deux cylindres coaxiaux $\varnothing 13 \text{ (M)}$ pour C et $\varnothing 6,5 \text{ (M)}$ pour D qui doivent être hors matière.

Les 4 zones de tolérances sont centrées sur le même modèle nominal.

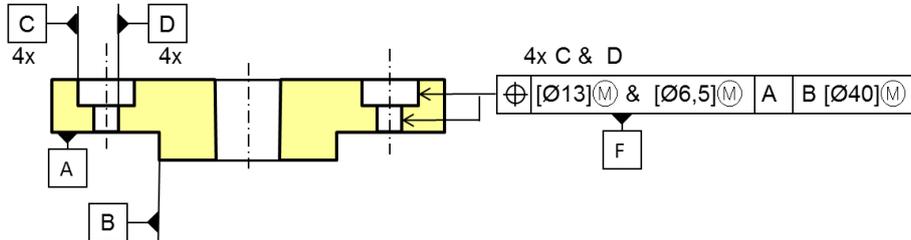


Figure 53 - Groupe de surfaces composées différentes

4.6 Tolérance évolutive

4.6.1 Tolérance évolutive entre deux lignes

Définition : Si P et Q désignent deux segments, identifiés par des croix, appartenant à la surface tolérancée, avec le symbole P→Q (de P à Q) au-dessus ou à droite du cadre de tolérance, la surface spécifiée est la portion de surfaces comprise entre les lignes P et Q. Toutes les surfaces comprises entre P et Q sont implicitement considérées comme une seule surface composée, avec une seule zone de tolérance. La zone de tolérance varie linéairement en fonction de l'abscisse curviligne entre des lignes identifiées. Les valeurs des tolérances en P et Q sont indiquées dans le cadre séparées par un « - ». Au-delà des lignes P et Q, les tolérances sont constantes et respectivement égales à la tolérance en P et à la tolérance en Q.

Dans la Figure 54, la zone de tolérance est comprise entre les deux segments P et Q. La tolérance varie linéairement de P à Q de 0,05 à 0,3.

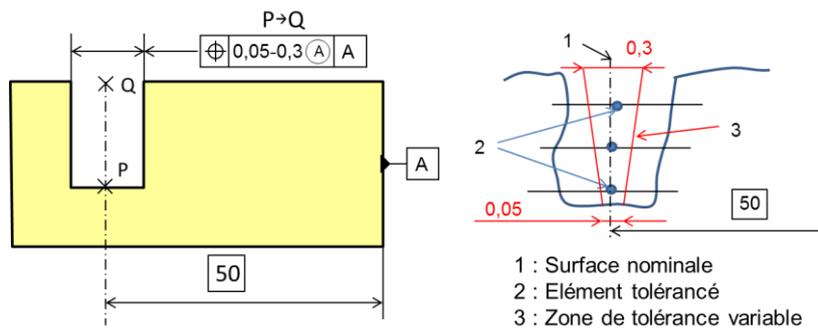


Figure 54 - Tolérance variable entre deux lignes

NOTE 1 : P et Q sont des lignes clairement définies sur la surface tolérancée ou sur plusieurs surfaces tolérancées.

NOTE 2 : Si la ligne P (ou Q) correspond à l'arête limite de la surface spécifiée, si nécessaire, la zone de tolérance est extrapolée avec la tolérance en P (ou en Q), pour permettre la vérification en cas de variations de la surface adjacente.

La Figure 55 généralise le concept à des surfaces quelconques. Les courbes P et Q limitent la surface respectivement entre les points P1, P2 et Q1, Q2. Deux autres courbes relient P1Q1 et P2Q2.

Chaque point M de la surface est à l'intersection de 2 courbes paramétriques caractérisées par les paramètres u et v. Le paramètre u varie de 0 à 1 en fonction de l'abscisse curviligne entre P1 et P2. Le paramètre v varie de 0 à 1 en fonction de l'abscisse curviligne entre P1 et Q1.

La tolérance varie de t_P à t_Q entre les courbes P et Q. En M, la tolérance est : $t = t_P (1-v) + v t_Q$

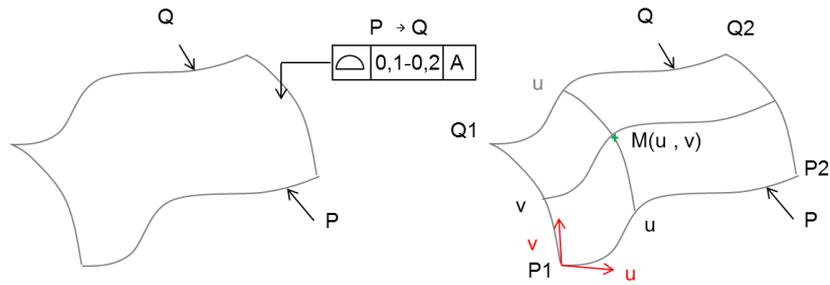


Figure 55 - Généralisation à une surface quelconque

NOTE : il est possible de cumuler un modificateur UZ et une tolérance variable.

4.6.2 Tolérance variable entre plusieurs lignes

Dans la Figure 56a, la surface spécifiée est la surface composée limitée par les lignes P et T identifiées par des croix. Le contour est incomplet.

La liste ordonnée des lignes de la surface est indiquée au-dessus. Le même nombre de tolérances est indiqué dans le cadre. La tolérance est variable linéairement entre chaque ligne.

Dans la Figure 56b, la surface spécifiée est fermée. La lettre P est rappelée en dernier. La première tolérance est généralement identique à la dernière, car elle correspond à la ligne P.

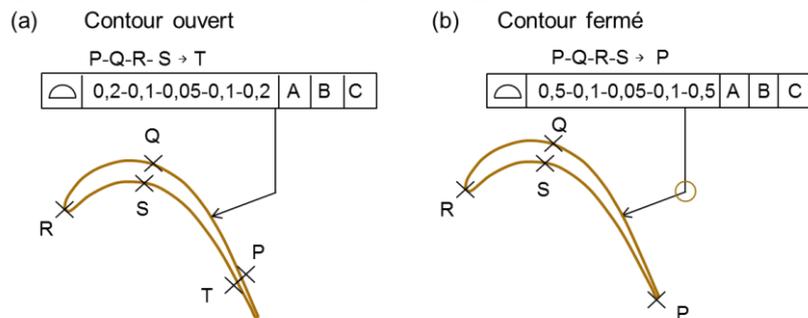


Figure 56 - Tolérance variable entre plusieurs lignes

4.6.3 Tolérance variable sur des carreaux

La surface est partitionnée en carreaux dont les sommets sont définis par des points.

Définition : Si P, Q, r...X désignent des points appartenant à la surface spécifiée, avec le symbole P-Q-R-...→X au-dessus ou à droite du cadre de tolérance, la surface spécifiée est la portion de surfaces comprise dans le contour englobant tous les points, en suivant les courbes paramétriques de la surface. Toutes les surfaces comprises dans ce contour sont implicitement considérées comme une surface composée, avec une seule zone de tolérance. La zone de tolérance varie linéairement en fonction des coordonnées u,v des points dans les carreaux. Les tolérances pour chaque sommet est donnée dans le cadre de tolérance, séparées par un «-».

Chaque carreau est limité par 4 points. Chaque point M du carreau est caractérisé par ses coordonnées curvilignes u et v dans le carreau (Figure 57). La tolérance en M est :

$$t = (t_A (1-u) + u t_B) (1-v) + v (t_D (1-u) + u t_E)$$

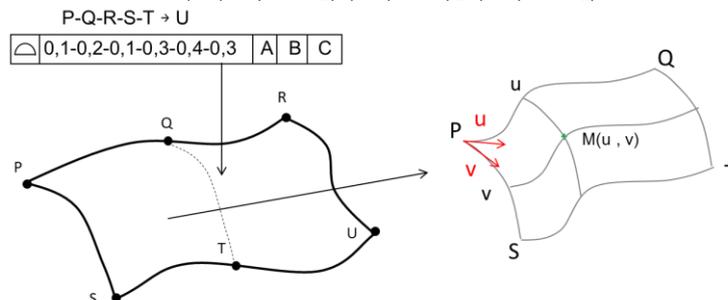


Figure 57 - Tolérance variable sur des carreaux ou sur une grille

NOTE : Lorsque la courbe limite de la zone correspond à l'arête nominale d'intersection de la surface spécifiée avec la surface adjacente, la zone de tolérance est prolongée pour compenser les variations de la surface adjacente. La tolérance en un point P est égale à la tolérance du point M appartenant à la surface nominale le plus proche du point P.

4.7 Décentrage de la zone de tolérance

4.7.1 Principe

Le décentrage de la zone de tolérance peut être obtenu directement par un modificateur UZ ou par décalage de la surface nominale (voir section 3-6).

Ce décentrage peut être nécessaire notamment dans trois cas :

- Certains processus de fabrication génèrent un écart entre la surface réalisée et le modèle nominal (retrait en fonderie, débordement de matière en fabrication additive...). Le modèle nominal est utilisé pour piloter le moyen de production. La zone de tolérance est décentrée pour exprimer le besoin fonctionnel.
- Au cours du développement d'un produit, il est parfois nécessaire de modifier le modèle nominal (modification des paramètres de construction du modèle, ou recentrage du nominal après calcul d'un ajustement ou d'une chaîne de cotes). Cette démarche peut être effectuée en 2 étapes :
 - o Définition du décentrage de la zone de tolérance.
 - o Mise à jour du modèle à une date ultérieure pour définir un nominal centré sur la zone de tolérance.
- Il peut être nécessaire d'avoir une double définition de la pièce, par exemple pour distinguer la géométrie avant et après dépôt d'une peinture. Le modèle nominal décrit la pièce sans peinture. La pièce après peinture est définie avec un décentrage positif des zones de tolérance. Par défaut, le décentrage est pris en compte pour définir les zones de tolérance. Un nota dans les conditions de mesure peut indiquer dans quel cas, aucun décalage ne doit être pris en compte (par exemple : contrôle avant peinture sans décentrage).

4.7.2 Décentrage imposé de la zone de tolérance

Définition : Le modificateur UZ placé dans le cadre de tolérance à droite de la tolérance permet de décentrer la zone de tolérance avec un offset δ indiqué à droite de UZ (Figure 58).

Les décalages des surfaces offset définissant la zone de tolérance sont :

- $t/2 + \delta$.
- $-t/2 + \delta$.

L'offset δ est positif si le décalage est du côté libre de la matière.

Ce modificateur UZ n'est défini que pour des surfaces spécifiées avec un sens matière de type plan, surface de révolution et surface complexe. (Le modificateur UZ n'est pas utilisable pour spécifier un axe ou une surface médiane).

La Figure 58a comporte une spécification (1) avec un UZ. La zone de tolérance est décalée de 0,1 (Figure 58b). Les chanfreins sont définis par rapport à la surface réelle B, ce qui implique que les chanfreins réels doivent suivre le décalage de la surface B.

Pour la localisation (2), le modèle nominal est associé à la surface réelle B par le critère minimax. La position nominale de l'alésage par rapport à B est 12mm.

Pour une surface complexe (Figure 58c), la zone de tolérance change de forme (Figure 58d). Ce n'est pas une simple translation de la zone, mais la forme de la surface nominale A est inchangée si elle est utilisée comme référence.

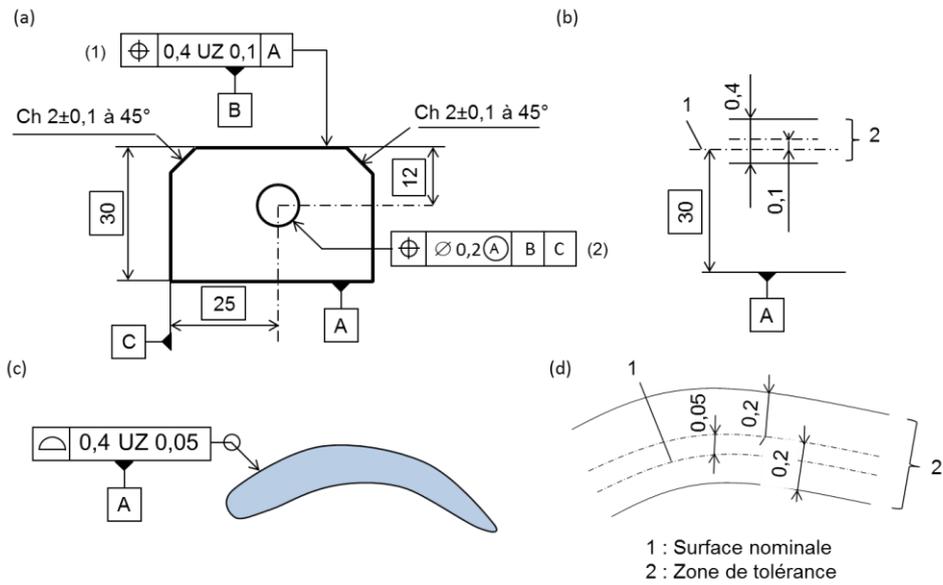


Figure 58 - Décentrage imposé de la zone de tolérance

Les décentrages sont propres à chaque spécification. La Figure 59 montre qu'il est possible d'avoir des décentrages différents sur la même surface.

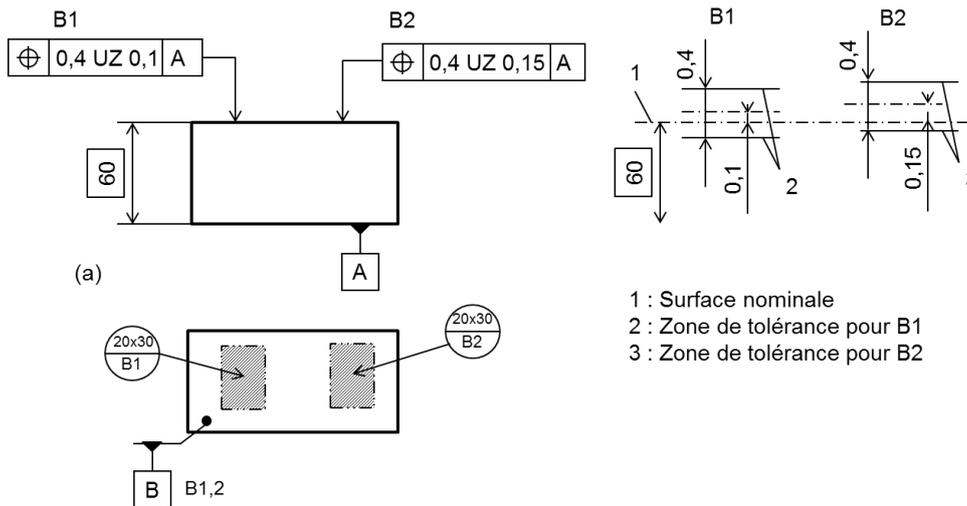


Figure 59 - Décentrages différents sur la même surface

NOTE : La mise à jour ultérieure du modèle nominal peut être problématique, si les UZ ne sont pas les mêmes pour toutes les spécifications et pour les congés et chanfreins adjacents à la surface. Il est préférable d'utiliser un décalage de la surface nominale.

4.7.3 Décentrage de la référence

Définition : Le modificateur UZ placé dans le cadre de tolérance à droite d'une référence permet de définir une surface associée à la référence avec un offset δ indiqué à droite de UZ (Figure 60).

La Figure 60a présente une pièce avec un rayon nominal de 30 et un plan situé à 50 mm de l'axe de ce cylindre. La spécification de forme (1) impose un décentrage de la zone de tolérance de 0,15 pour la surface réelle A. La zone de tolérance est décrite Figure 60b.

La spécification de position (2) comporte une référence A avec un décentrage UZ de 0,15 de la surface associée à la référence A. Le modèle nominal est donc associé en plaçant la surface associée de rayon 30,15 minimum à la surface réelle.

NOTE : Avec cette technique, la zone de tolérance sur la surface plane est inchangée, quel que soit le rayon de la référence A.

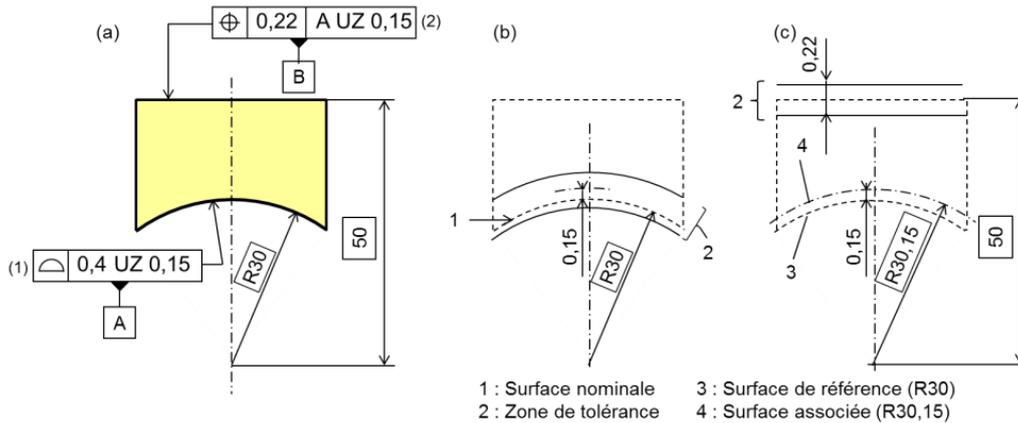


Figure 60 - Référence avec UZ

4.7.4 Composition de zones avec UZ variable

Définition : Pour une surface composée, le décalage δ peut être variable par palier pour chacune des surfaces listées au-dessus du cadre de tolérance. Les zones de tolérance sont concaténées.

Les surfaces sont séparées par un « & ». Les tolérances et les décalages UZ sont également séparés par un « & ».

Pour chaque surface, la tolérance t est suivie de UZ, puis de la valeur du décalage δ .

Pour chaque surface, la tolérance est :

- $t/2 + \delta$.
- $-t/2 + \delta$.

NOTE 1 : Une valeur négative de δ doit être indiquée entre parenthèses pour éviter la confusion du signe – avec le tiret séparateur de surface.

NOTE 2 : Si la tolérance est identique pour toutes les surfaces, elle peut être placée en avant et tous les UZ entre parenthèses.

NOTE 3 : Lorsque deux surfaces adjacentes sont tangentes, la zone de tolérance comporte un saut si le UZ est différent.

Dans la Figure 61, la surface spécifiée est une surface composée constituée de 5 plans désignés par des zones partielles ou des indicateurs de référence. La tolérance de 0,6 pour toutes les surfaces est placée avant le modificateur UZ. Le décalage δ est placé après UZ. Le décalage δ est variable suivant la zone partielle (Le décalage δ est constant pour chaque surface).

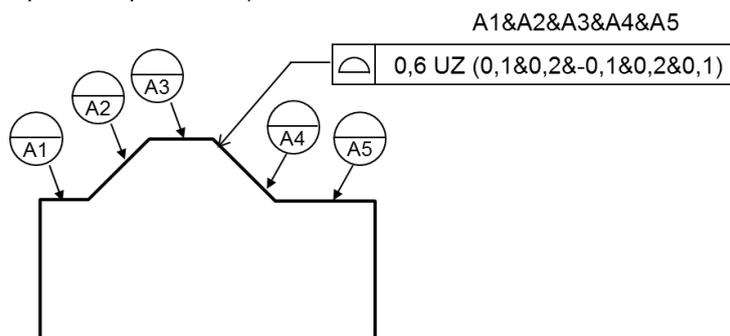


Figure 61 - Décalage variable dans une composition

4.7.5 Composition de zones avec UZ variable et tolérance variables

Si la tolérance et le décalage varient pour chaque zone partielle, la tolérance est indiquée suivi du modificateur UZ, suivi du décalage, pour chaque zone partielle. Le tout est séparé par des tirets (Figure 62).

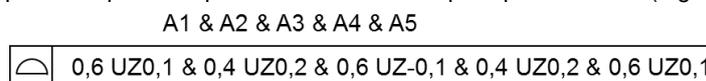


Figure 62 - Décalage et tolérance variables

4.7.6 Composition de zones avec UZ évolutif et tolérance évolutive

Définition : Pour une surface composée, le décalage UZ et la tolérance peuvent varier linéairement entre chaque ligne listée au-dessus du cadre de tolérance avec le symbole \rightarrow (de .. à).
 Les lignes sont séparées par un tiret. Les tolérances et les décalages UZ sont séparés par un tiret.
 Pour chaque ligne, la tolérance est suivie de UZ, puis de la valeur du décalage δ (Figure 63).

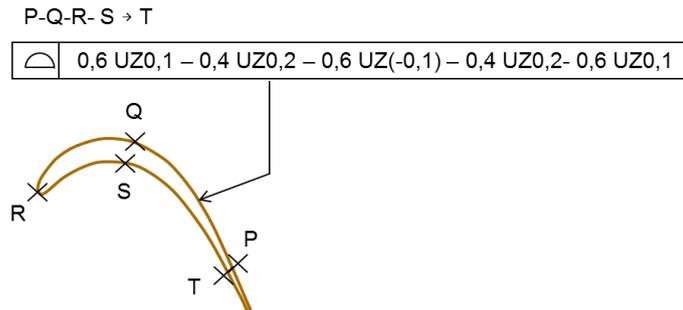


Figure 63 - Décalage variable et tolérance variable

La valeur de l'offset et la tolérance varient linéairement entre 2 lignes consécutives.
 En chaque point, la tolérance t et le décalage δ peuvent être calculés. La tolérance en ce point est :

- $t/2 + \delta$.
- $-t/2 + \delta$.

4.7.7 Conditions de mesure

Par défaut, les décentrages des zones de tolérance doivent être pris en compte lors de la vérification des pièces.
 Dans certains cas, un nota dans les conditions de mesure peut préciser que les décentrages ne sont pas pris en comptes:

Exemple de conditions de mesure : « Décentrage des zones de tolérance non pris en compte avant peinture ».

4.7.8 Décalage libre de la zone de tolérance

Définition : Le modificateur OZ permet de déformer la zone de tolérance en décalant la zone de tolérance avec un offset libre δ (Figure 64).

Les décalages des surfaces offset définissant la zone de tolérance sont :

- $t/2 + \delta$.
- $-t/2 + \delta$.

Lorsque la surface spécifiée est une surface composée, la valeur de δ est identique pour toutes les surfaces de la composition.

Ce modificateur n'est défini que pour les plans et les surfaces complexes avec un sens matière. (Le modificateur n'est pas utilisable avec un axe ou une surface médiane).

REGLE : La spécification est respectée s'il existe une valeur de δ , telle que la surface réelle soit dans la zone de tolérance de largeur t , centrée sur la surface offset de δ .

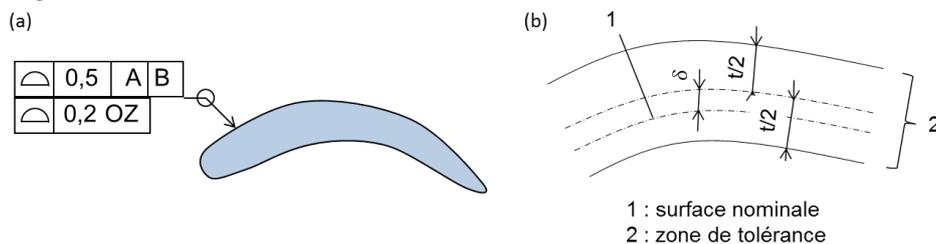


Figure 64 - Décalage libre de la zone de tolérance

NOTE 1 : Le principal intérêt d'une spécification avec OZ est de définir un défaut de forme apparent plus sévère qu'un défaut de forme tout en exploitant toute la zone de tolérance de position. Il est donc souvent associé à une spécification de position de la surface complexe qui est centrée sur la surface nominale.

NOTE 2 : Le modificateur OZ ne doit pas être utilisé pour un plan simple, ni pour des plans coplanaires, ni pour une surface de révolution. Il est nécessaire d'utiliser une spécification d'orientation.

4.8 Décalage de la surface nominale

4.8.1 Principe

Le décalage d'une surface correspond à un ajout ou un retrait de matière sur la surface nominale. Ce n'est pas une modification du modèle nominal qui est géré par un ensemble de paramètres et de contraintes.

La surface du modèle nominal peut être décalée soit par offset, soit par translation. Le décalage de la surface nominale peut être nécessaire notamment dans trois cas :

- Au cours du développement d'un produit, il est parfois nécessaire de modifier le modèle nominal (ajout de matière ou recentrage du nominal après calcul d'une chaîne de cotes). Cette démarche peut être effectuée en 2 étapes :
 - o Définition du décalage de certaines surfaces (sans changer le nominal).
 - o Mise à jour du modèle nominal à une date ultérieure.
- Il peut être nécessaire d'avoir une double définition de la pièce pour distinguer la géométrie avant et après dépôt d'une peinture ou d'un revêtement. Le modèle nominal décrit la pièce avant peinture. Le décalage du nominal est positif pour représenter le dépôt de peinture.
- Certains processus de fabrication génèrent un écart entre la surface réalisée et le modèle nominal (retrait en fonderie, écart en fabrication additive...). Le modèle nominal peut être utilisé pour piloter le moyen de production. Les surfaces nominales décalées sont utilisées pour définir les zones de tolérances de la pièce réalisée.

Le modèle modifié est pris en compte pour définir la référence et les systèmes de références et pour construire les zones de tolérance de toutes les spécifications.

4.8.2 Indicateur de décalage d'une surface nominale

Définition : l'indicateur de décalage de la surface est défini par une flèche placée directement sur la surface. La flèche est dirigée hors matière et est de préférence normale à la surface en ce point.

- La valeur de la translation de la surface dans la direction de la flèche est indiquée après Tr (Figure 65a).
- La valeur de l'offset de la surface est indiquée après Uz (Figure 65b).

Les valeurs peuvent être positives ou négatives

La translation et l'offset peuvent être cumulés (Figure 65c).

NOTE 1 : il n'y a qu'une seule flèche par surface. La flèche ne peut pas être placée sur un axe ou une surface médiane.

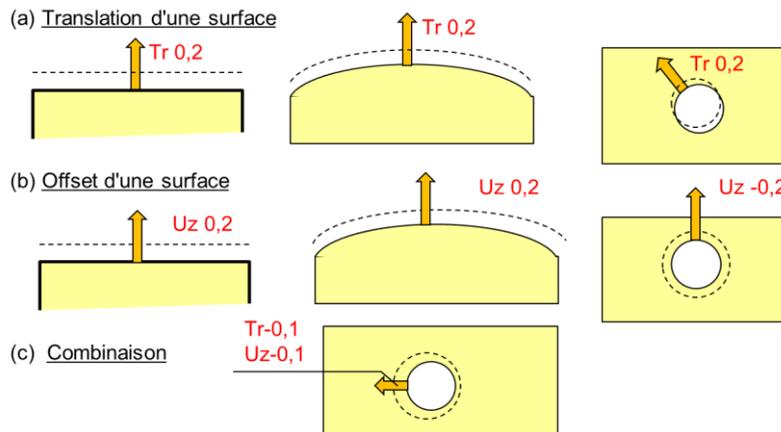


Figure 65 - Indication d'une translation ou d'un offset d'une surface

La valeur du décalage doit être placée à côté de la flèche, éventuellement relié à la flèche par une ligne de rappel. La direction de la translation est donnée par la flèche. L'angle peut être affiché sous forme encadrée. (Figure 66).

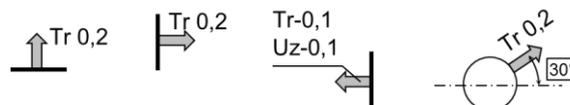


Figure 66 - Ecriture de l'indicateur de décalage

NOTE : Les déplacements des surfaces nominales doivent garder la cohérence du modèle, sans générer de trous, d'escalier ou de disparition de surfaces. Il n'est pas possible de décaler uniquement une zone partielle d'une surface nominale par ce moyen. Il ne peut y avoir qu'un seul indicateur de décalage par surface.

Le décalage d'une surface nominale ne génère pas de décalage d'autres surfaces nominales. Cette propriété suppose que chaque surface du modèle nominal est définie dans un repère unique, indépendamment des autres surfaces. (Le modèle n'est pas défini par des contraintes entre surfaces).

4.8.3 Déplacement quelconque d'une surface simple ou quelconque

La surface n'est pas modifiée, mais simplement déplacée selon les 6 degrés de liberté.

L'indicateur de décalage est positionné en un point P de la surface nominale. Le déplacement est décrit par 2 vecteurs (Figure 67) :

- Le premier vecteur décrit la translation de la surface exprimée au point P d'application de l'indicateur de décalage.
- Le second vecteur décrit les rotations (en radians) à appliquer à la surface.

Ces composantes sont exprimées dans le repère du modèle nominal

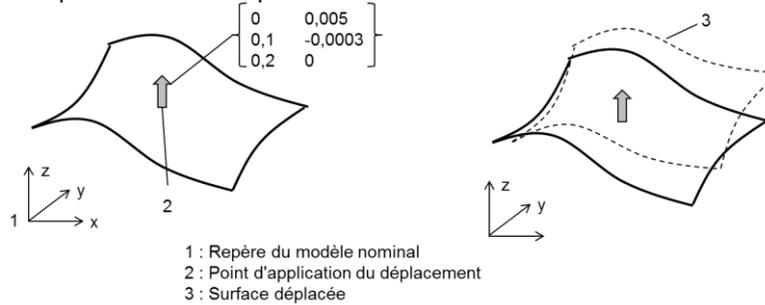


Figure 67 - Déplacement quelconque sur une surface quelconque

NOTE : cette méthode est également applicable aux plans et aux surfaces de révolution.

4.8.4 Déplacement simultané de plusieurs surfaces nominales

Les surfaces à déplacer sont désignées par un ensemble d'indicateurs de référence et sont considérées comme une seule surface nominale à déplacer (Figure 68).

Cette indication est possible pour tous les types de surfaces.

- Figure 68a : cylindres coaxiaux
- Figure 68b : surface complexe.
- Figure 68c : ensemble de surfaces complexes.

L'indicateur de décalage de surface comporte la liste des surfaces à déplacer séparées par une virgule.

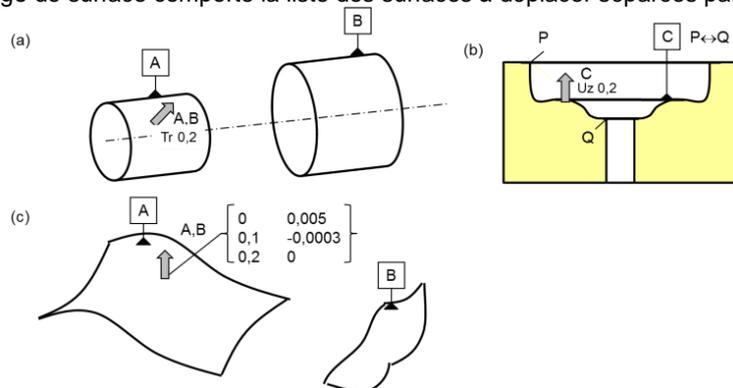


Figure 68 - Déplacement global d'un ensemble de surfaces

Note : Il n'est pas possible de tenir compte des spécifications éventuelles appliquées aux surfaces pour établir des liens implicites entre les surfaces.

4.8.5 Conditions de mesure

Par défaut, les décalages du nominal doivent être pris en compte pour définir les références et les zones de tolérance.

Dans certains cas, un nota dans les conditions de mesure peut préciser que les décalages ne sont pas pris en comptes:

Exemple de conditions de mesure : « Décalage du nominal non pris en compte avant peinture ».

4.8.6 Mise à jour du modèle nominal

Le déplacement d'une surface du modèle nominal peut être réalisé par ajout ou retrait de matière, ou bien par modification des paramètres du modèle. De telles modifications doivent être réalisées avec précautions et sous le contrôle du concepteur, car sous l'effet des contraintes, le déplacement d'une surface peut générer le déplacement d'autres surfaces, en particulier les congés ou chanfreins adjacents à la surface modifiée.

Le concepteur doit définir les déplacements à effectuer sur les surfaces voisines d'une surface déplacée afin d'assurer la cohérence de la pièce.

Lors de la mise à jour du modèle, tous les indicateurs de décalage de surfaces nominales et les UZ des décentrages sont supprimés.

4.9 Spécification composite

4.9.1 Définition d'une spécification composite

Définition : une spécification composite impose aux surfaces spécifiées une double condition en définissant les zones de tolérance de position et d'orientation par rapport aux mêmes surfaces nominales. Le cas échéant, le modèle nominal est positionné par rapport au système de références pour que les surfaces réelles soient si possible simultanément dans toutes les zones de tolérance.

Une spécification composite est une seule spécification représentée sur 2 lignes, sans trait séparateur entre les symboles de spécifications, avec le cas échéant un système de références unique.

NOTE : une spécification composite permet de limiter les défauts d'orientation d'une surface à l'intérieur de la zone de tolérance de position, même si le système de références laisse des mobilités résiduelles. L'objectif est de maîtriser l'influence des porte-à-faux pour calculer la résultante d'une chaîne de cotes 3D.

La Figure 69 comporte une spécification composite et une spécification de forme.

La spécification composite impose que les 3 axes réels soient simultanément dans les zones de tolérance de position $\varnothing 0,2$ et dans les zones de tolérance d'orientation $\varnothing 0,05$ par rapport au même nominal.

La spécification de rectitude est indépendante de la spécification composite.

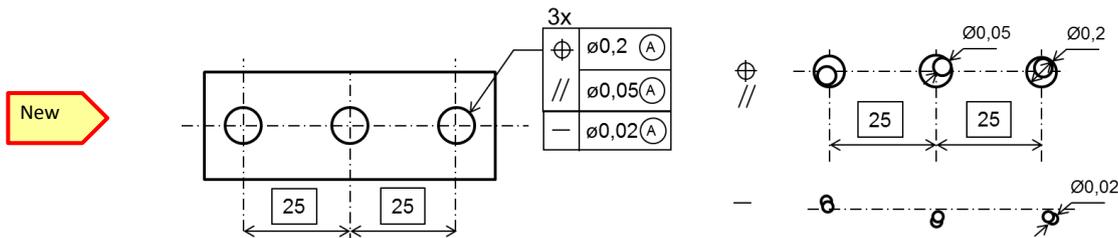


Figure 69 - Spécification composite sur un groupe de trous.

4.9.2 Spécification composite avec système de références commun

REGLE : dans une spécification composite, le système de références est obligatoirement commun. En cas de mobilité résiduelle, le modèle nominal est identique pour la position et pour l'orientation.

La Figure 70 comporte une spécification composite.

- Le système de référence A | B laisse une mobilité résiduelle en rotation autour de B.
- Le modèle nominal peut être orienté autour de B.
- Les zones de tolérance de position $\varnothing 10,2$ sont centrées sur les axes nominaux.
- Les zones de tolérance d'orientation $\varnothing 10,1$ sont construites centrées sur les axes nominaux puis peuvent être translatées indépendamment l'une de l'autre, dans toutes directions perpendiculaires aux axes nominaux.

L'orientation du modèle nominal et les deux translations des zones de tolérance d'orientation doivent être déterminées pour placer si possible des 4 axes réels des 4 alésages dans les 4 zones de tolérance.

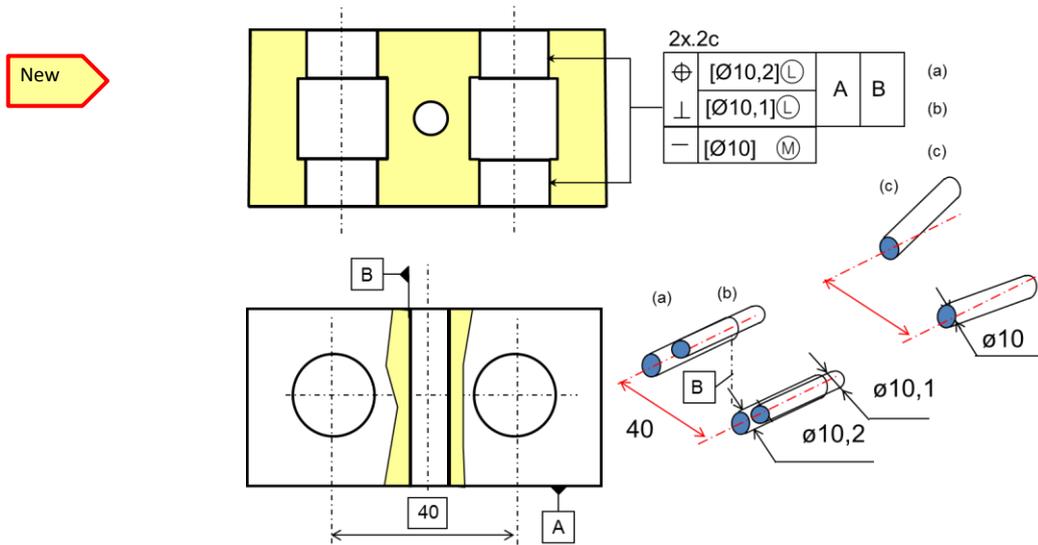


Figure 70 -Spécification composite avec un système de références commun

5. Spécification en zone projetée

5.1 Règles d'écriture des spécifications en zone projetée

5.1.1 Règles de description de la plage de projection

Généralement, la plage de projection est indiquée par le symbole \textcircled{P} .

Si l'élément spécifié ou l'élément de référence comporte plusieurs projections, ces projections sont notées $\textcircled{P_1}$ $\textcircled{P_2}$

La plage de projection est représentée dans le prolongement de la surface, limitée par un trait fin à double points. Dans un environnement numérique, la plage de projection peut être représentée par une surface, une ligne ou un point.

Si besoin, la plage de projection peut être identifiée par un nota avec le nom de la surface spécifiée suivi du symbole \textcircled{P} . Ex : A \textcircled{P} : projection de la surface A

NOTE : l'ensemble des surfaces à projeter dans une projection doit être regroupé dans une seule surface (avec une seule lettre), éventuellement à l'aide de zones partielles portant la même lettre pour pouvoir utiliser cette surface pour définir une référence. (L'écriture sous la forme (A-B) \textcircled{P} n'est pas possible pour éviter la confusion avec une référence sur un groupe hétérogène).

Pour le prolongement d'un axe, l'étendue de la plage de projection \textcircled{P} est toujours indiquée à droite du symbole.

Si la plage de projection est réduite à un point, la plage est indiquée par un point. Le symbole \textcircled{P} est seul.

La plage de projection doit être positionnée par rapport à un plan perpendiculaire à l'axe, tangent à la face adjacente de la pièce du côté de la partie projetée (hors chanfrein d'entrée). Si la distance n'est pas nulle, la distance est indiquée par une cote encadrée qui ne peut pas être située à droite du symbole \textcircled{P} . (Si nécessaire, il faut la décaler).

La projection d'une surface peut imposer un contour complexe représenté dans une vue spécifique.

5.1.2 Règles de description de l'élément tolérancé

Dans un groupe, il suffit de décrire l'élément tolérancé en zone projetée dans un seul élément du groupe.

La flèche (ou les flèches) issue du cadre de tolérance désigne la surface à projeter. Si besoin, le nom de la projection peut être indiqué au-dessus du cadre.

Si l'élément tolérancé ne comporte qu'une seule projection, le symbole \textcircled{P} est indiqué à droite de la tolérance.

Si l'élément tolérancé comporte plusieurs projections, avec la même dimension de zone de tolérance, les symboles $\textcircled{P_1}$ $\textcircled{P_2}$ sont indiqués à droite de la tolérance.

Si l'élément tolérancé comporte plusieurs projections, avec une zone de tolérance concaténée, la zone est

C & D

$\textcircled{\oplus}$ $\textcircled{\varnothing}$ 0,3 $\textcircled{P_1}$ & $\textcircled{\varnothing}$ 0,2 $\textcircled{P_2}$ | A | B

exprimée sous la forme

5.2 Spécification en zone projetée

5.2.1 Décalage de la plage de projection

Dans la Figure 71a, la partie fonctionnelle de la tige est décalée de 4mm par rapport à la face de la pièce. La dimension théorique exacte de 4 positionne la plage de projection \textcircled{P} .

Dans la Figure 71b, la partie fonctionnelle du tube commence à l'intérieur de l'alésage. La dimension théorique exacte de 10 positionne le début de la plage de projection \textcircled{P} .

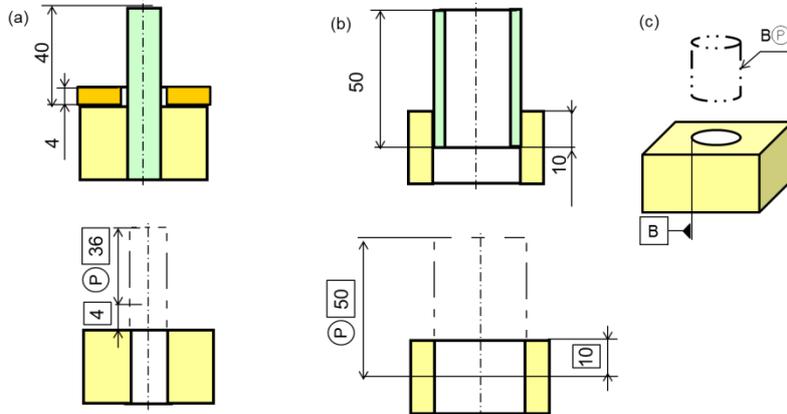


Figure 71- Projection d'un cylindre

5.2.2 Plage de projection ponctuelle

Dans la Figure 72a, la plage de projection doit représenter le point de rotulage du roulement. La zone projetée est de longueur nulle.

La Figure 72b indique que la longueur projetée est ponctuelle.

Dans la configuration de la Figure 72c, le symbole \textcircled{P} est décalé par rapport à la cote encadrée.

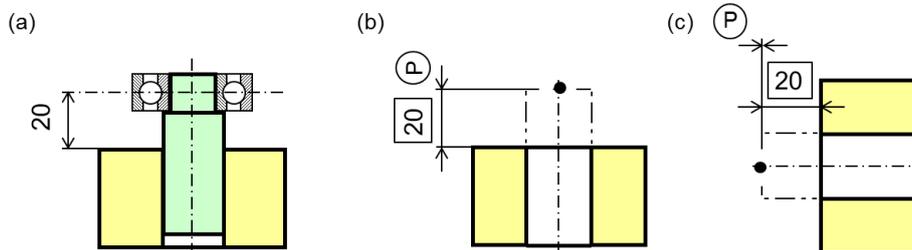


Figure 72 - Plage de projection ponctuelle

5.2.3 Projection d'un plan

Le contour de la zone à projeter est représenté en vue de dessus. La surface est associée par la méthode des moindres carrés.

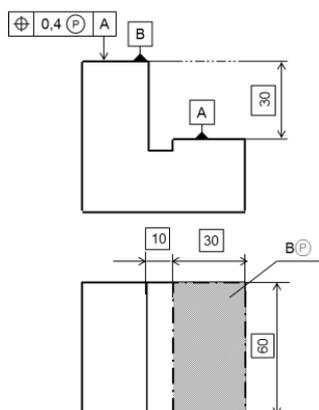


Figure 73 - Projection d'un plan

5.2.4 Projection d'une surface réglée

Une surface réglée est une surface définie par le déplacement d'une droite dans l'espace. Une surface prismatique est une surface réglée.

La surface nominale associée à la surface réelle est prolongée suivant les droites de la surface réglée dans la zone projetée (elle ne peut pas être projetée dans les autres directions).

Dans la Figure 74a, le contour de la plage projetée est défini dans le modèle nominal directement sur la surface spécifiée.

Dans la Figure 74b, le contour de la plage projetée est décrit sur un plan sensiblement parallèle à la surface. Le contour est projeté sur la surface spécifiée selon la direction normale au plan.

La surface nominale est associée à la surface réelle spécifiée par la méthode des moindres carrés.

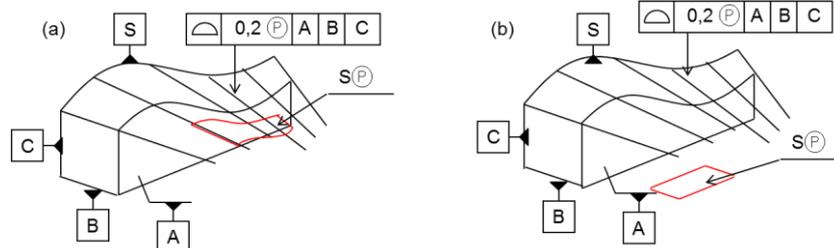


Figure 74 - Projection d'une surface réglée

5.3 Projection de plusieurs surfaces

5.3.1 Projection unique de 2 alésages coaxiaux

La Figure 75a comporte une tige centrée dans 2 alésages. La plage fonctionnelle dépasse des deux côtés. La projection est modélisée par un cylindre associé par les moindres carrés aux deux alésages.

La Figure 75b n'a qu'un seul symbole \textcircled{P} dans le cadre de tolérance. Il n'y a donc qu'une seule projection. Le cadre de tolérance est relié aux deux alésages spécifiés. Par défaut, les deux alésages sont considérés comme une surface composée. La projection porte donc sur les deux alésages associés en une seule opération. Facultatif : Le compteur 2c indique que ces deux surfaces forment une surface composée.

La Figure 75c désigne la surface spécifiée C par deux zones partielles C1 et C2. La plage de projection est éventuellement désignée par un nota C \textcircled{P} . Le commentaire C au-dessus du cadre de tolérance désigne la surface spécifiée à projeter en une seule opération.

NOTE : La Figure 75c permet si besoin de définir une référence C \textcircled{P} sur la partie projetée dans un système de références.

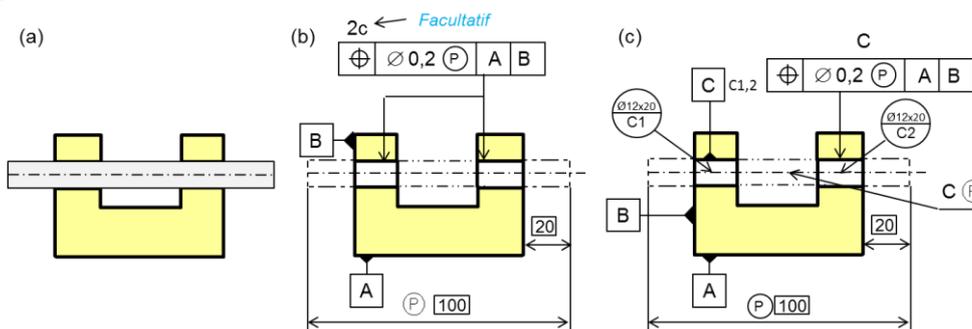


Figure 75 - Projection de 2 cylindres coaxiaux

5.3.2 Zone de tolérance composée de projections

La Figure 76a illustre un guidage assuré par 2 pions coaxiaux. La zone de guidage est la projection de l'alésage qui porte le pion.

Dans la localisation Figure 76b, les surfaces spécifiées sont les deux alésages C et D. La deuxième case du cadre de tolérance comporte une zone de tolérance obtenue par concaténation :

- Un cylindre $\text{Ø}0,3$ doit contenir la projection du cylindre C dans la zone projetée P1.
- Un cylindre $\text{Ø}0,2$ doit contenir la projection du cylindre D dans la zone projetée P2.

Ces deux cylindres sont centrés sur l'axe nominal. Le modèle nominal est associé au système de références A|B.

Il y a deux projections.

Si les tolérances sont identiques, (P1) et (P2) sont simplement reportés à droite de la tolérance. Le commentaire au-dessus du cadre permet d'associer (P1) à C et (P2) à D.

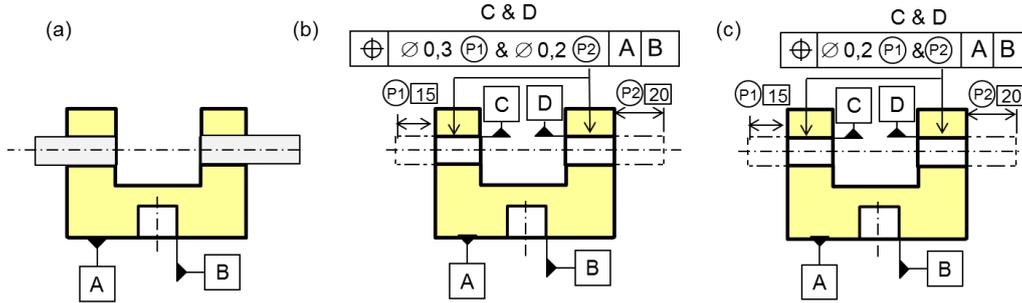


Figure 76 - Liaison assurée par 2 pions coaxiaux

5.4 Extension du principe de projection

Il est possible de projeter toute surface dont on peut prolonger la ligne représentative :

- Axe d'une surface de révolution
- Surface médiane de deux surfaces symétriques
- Secteur cylindrique ou torique...

Les surfaces spécifiées sont associées par la méthode des moindres carrés. L'élément tolérancé est la ligne représentative de la surface dans la plage de projection.

Il est également possible de simuler un assemblage en posant un calibre sur la ou les surfaces spécifiées. Ce principe est défini par le concept d'élément de contact défini dans la partie 3.

6. Spécifications de forme

6.1 Symboles complémentaires de forme et de battement

Les spécifications de forme sont destinées à garantir la qualité du contact entre les pièces dans une liaison ou des contraintes d'aspect ou aérodynamiques d'une surface fonctionnelle.

Les spécifications de battement cumulent les défauts de forme et de position pour des pièces en rotation.

Forme		Battement	
Désignation	Symbole	Désignation	Symbole
Rectitude	—	Battement circulaire	↗
Circularité	○	Battement total	↗↘
Planéité	▭		
Cylindricité	∅		
Forme d'une ligne quelconque	⤿		
Forme d'une surface quelconque	⤿		

Figure 77 - Symbole de forme et de battement

6.2 Spécification de forme des surfaces

6.2.1 Définition de la zone de tolérance de forme

La zone de tolérance est définie par une ou deux surfaces offsets de la surface nominale. La zone peut ensuite être librement déplacée pour que tous les points de la surface spécifiée soit si possible dans la zone de tolérance.

6.2.2 Planéité d'un plan

Tous les points du plan doivent être contenus entre 2 plans distants de t

NOTE : la planéité peut être appliquée à une surface réelle (Figure 78a) ou à une surface médiane (Figure 78b). Une spécification de planéité ne peut être appliquée qu'à un plan ou à une surface composée de plans coplanaires.

Application : garantir le contact entre deux faces planes primaires

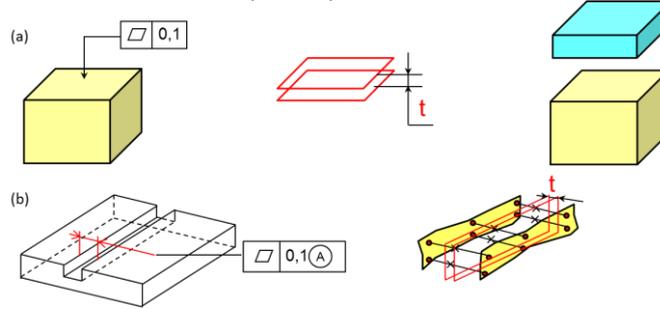


Figure 78 - Planéité d'un plan

6.2.3 Forme d'une surface quelconque

Tous les points de la surface doivent être contenus entre deux surfaces offsetées avec un offset $+t/2$ et $-t/2$.

NOTE : la spécification de forme peut être appliquée à une surface réelle, à une surface composée (Figure 79a) ou à une surface médiane (Figure 79b).

Application : garantir l'esthétique ou la qualité aérodynamique de la surface.

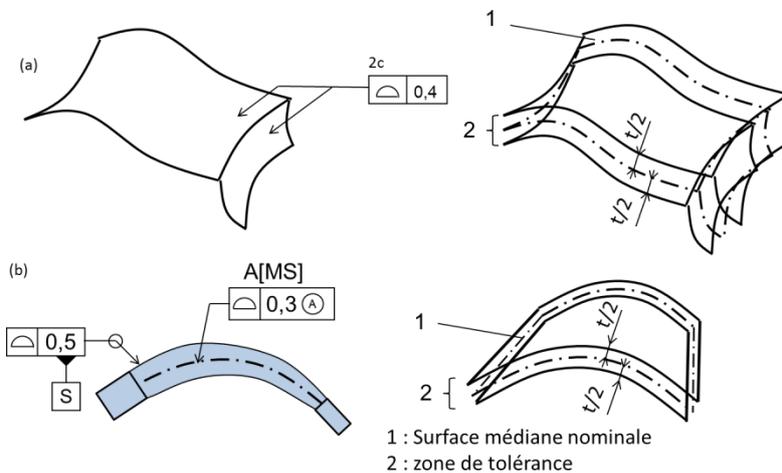


Figure 79 - Forme d'une surface quelconque

6.2.4 Défaut de forme apparent d'une surface

Tous les points de la surface doivent être contenus entre deux surfaces offsetées, la différence des offsets étant égale à la tolérance (Figure 80). (Les valeurs absolues des deux offsets peuvent être différentes).

NOTE : Le modificateur OZ permet de décentrer les surfaces offsetées par rapport à la surface nominale.

Application : garantir l'esthétique d'une surface, quelles que soient ses dimensions

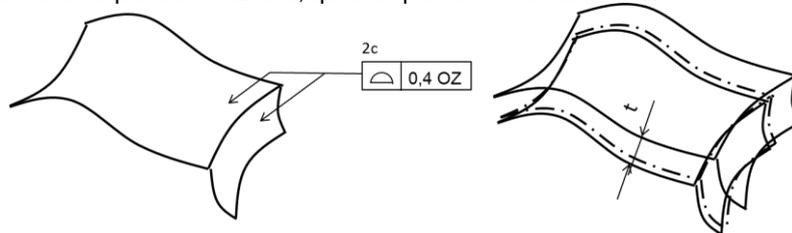


Figure 80 - Forme apparente sur une surface quelconque

6.2.5 Cylindricité d'un cylindre

Tous les points de la surface doivent être contenus entre deux cylindres coaxiaux dont la différence de rayon est égale à la tolérance (Figure 81).

NOTE 1 : la cylindricité est le défaut de forme apparent du cylindre.

NOTE 2 : une spécification de cylindricité ne peut être appliquée qu'à un cylindre ou à des cylindres coaxiaux et de diamètres nominaux identiques

Application : garantir l'esthétique d'un cylindre ou la qualité d'un film d'huile dans un palier.

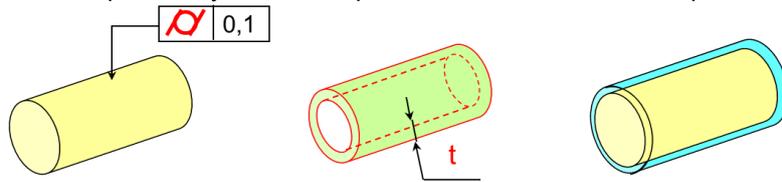


Figure 81 – Cylindricité d'un cylindre

NOTE : Cette spécification est souvent remplacée par une rectitude au maximum de matière pour garantir la montabilité de la surface.

6.3 Spécification de forme de l'axe d'une surface

6.3.1 Rectitude d'un axe rectiligne

Définition : l'axe réel de la surface doit appartenir à un cylindre de diamètre t

NOTE : cette spécification peut s'appliquer aux cylindres, à toutes surfaces de révolution et toutes surfaces ayant un axe rectiligne tel que défini en section 2 ainsi qu'à toutes surfaces composées avec des axes coaxiaux.

Applications : rectitude pour le guidage d'un flux d'air, alignement de portées cylindriques.

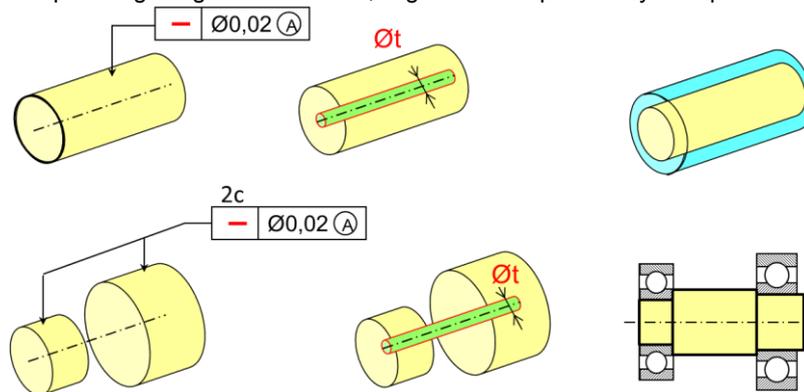


Figure 82 - Rectitude de l'axe d'une surface de révolution

6.3.2 Forme de l'axe d'une surface quelconque

Définition : l'axe réel de la surface doit être dans la zone de tolérance définie par la surface offset de l'axe nominal avec un offset $t/2$.

NOTE 1 : tous les points de l'axe doivent être à une distance maxi de $t/2$ de l'axe nominal.

NOTE 2 : cette spécification peut s'appliquer à toute surface ayant un axe tel que défini en section 2.

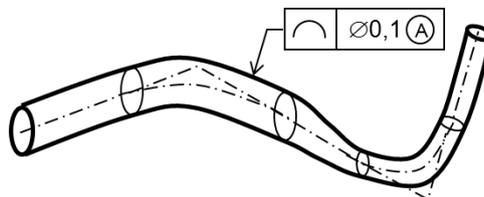


Figure 83 - Forme de l'axe d'une surface

6.4 Spécification de forme d'une ligne d'une surface

6.4.1 Spécification de forme des lignes

Définition : Chaque ligne réelle est obtenue par intersection de la surface réelle et d'un plan d'intersection. La ligne réelle doit appartenir à la zone de tolérance de la surface complète, en autorisant un balançage uniquement selon les degrés de liberté du plan d'intersection.

NOTE 1 : Les plans d'intersection sont implicitement définis dans le modèle nominal associé à la surface complète.

NOTE 2 : La dénomination « spécification de ligne d'une surface » est un abus de langage. En pratique, il est très difficile de définir avec précision la position et l'orientation de la ligne réellement fonctionnelle, d'identifier l'orientation de la ligne à mesurer sur la surface réelle et de mesurer les points rigoureusement sur cette ligne. La définition permet en fait d'identifier des points « au voisinage de la ligne » en mesurant l'écart des points par rapport à la surface nominale dans la direction normale à la surface. Avec cette méthode, l'algorithme de détermination du défaut forme d'une ligne est le même que pour la surface complète. Cette souplesse de définition apporte une incertitude négligeable que l'exigence fonctionnelle car l'écart en un point sera quasi le même que l'écart d'un point voisin. Sinon, cela signifierait que la cotation n'est pas robuste.

NOTE 3 : Cette section définit les spécifications de forme des lignes. L'approche est identique pour les spécifications de lignes en position et en orientation, en positionnant le modèle nominal sur le système de références de la spécification.

NOTE 4 : Lorsqu'une ligne est fractionnée par un trou ou une excroissance, les différentes parties de la ligne sont considérées comme une seule ligne réelle à placer, si possible dans une seule zone de tolérance.

6.4.2 Rectitude des lignes d'un plan

Définition : Les lignes à spécifier sont décrites par une zone partielle définie par un segment glissant entre les deux lignes P et Q. Les plans d'intersection sont perpendiculaires au plan nominal et passent par le segment glissant. La ligne réelle doit être contenue entre deux plans distants de la tolérance, perpendiculaires aux plans d'intersection.

NOTE 1 : Pour identifier les lignes P et Q, le modèle nominal est associé à la surface spécifiée plane complète, puis par exemple à l'aide des surfaces du système de références principal ou de surfaces adjacentes aux plans. (Cette incertitude n'a quasi aucune influence sur le résultat)

Application : garantir le contact entre la génératrice d'un cylindre et un plan

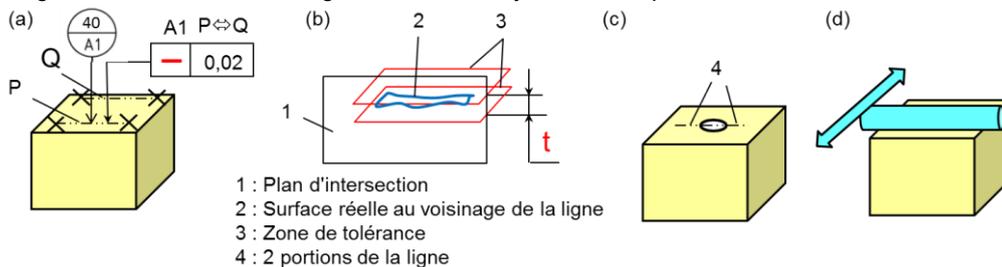


Figure 84 - Rectitude des lignes d'un plan

NOTE 2 : la surface réelle mesurée étant très étroite, le balançage de la surface associée doit se faire en utilisant uniquement les mobilités dans le plan d'intersection (une translation et une rotation dans le plan d'intersection). La zone de tolérance est donc perpendiculaire au plan d'intersection.

NOTE 4 : Dans la Figure 84c, la surface spécifiée est unique (le plan supérieur). L'élément tolérancé est une ligne glissante sur la surface. Lorsque la ligne est fractionnée par un trou, l'ensemble des portions de lignes est considéré comme une seule ligne à placer si possible dans la zone de tolérance.

6.4.3 Forme des lignes d'une surface

Définition : Les lignes à spécifier sont décrites par une zone partielle glissante A1 définie par une ligne courbe P obtenue par intersection de la surface avec un plan, puis une seconde ligne Q définie par intersection de la surface avec un plan parallèle au premier (Figure 85).

Les plans d'intersection sont parallèles au plan contenant la courbe P. La ligne réelle doit être contenue entre dans la zone de tolérance de forme de la surface avec un balançage limité aux déplacements du nominal dans le plan d'intersection (2 translations et une rotation).

NOTE 1 : Pour identifier les courbes P et Q et l'orientation des plans d'intersection, le modèle nominal est associé à la surface spécifiée complète. S'il y a des mobilités résiduelles, le balançage est complété par exemple à l'aide

des surfaces du système de références principal ou de surfaces adjacentes aux plans. (Cette incertitude n'a quasi aucune influence sur le résultat)

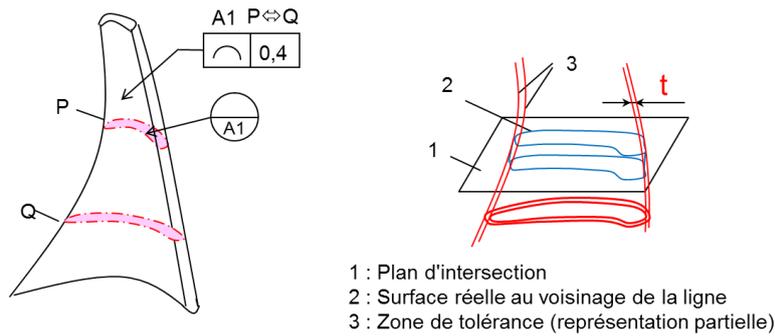


Figure 85 - Forme des lignes d'une surface

6.4.4 Défaut de forme apparent des lignes d'une surface

La spécification de forme est identique à celle de la Figure 85 en ajoutant le modificateur OZ.

Dans chaque section, la somme des offsets est égale à la tolérance. Le décentrage est indépendant d'une section à l'autre.

6.4.5 Circularité des sections d'un cylindre ou d'une surface de révolution

Définition : La circularité est une spécification des lignes dans des plans d'intersection perpendiculaires à l'axe du cylindre ou de la surface de révolution, sur toute la longueur de la surface. La ligne réelle doit être contenue entre dans la zone de tolérance de forme de la surface avec un balançage limité aux déplacements de la surface nominale dans le plan d'intersection (2 translations) et un offset de la surface. Le balançage et l'offset sont indépendants dans chaque section (Figure 86a).

La circularité peut être limitée à une portion de surface décrite par un cercle glissant entre 2 cercles désignés par P et Q (Figure 86b).

Application : garantir la qualité du contact avec un joint.

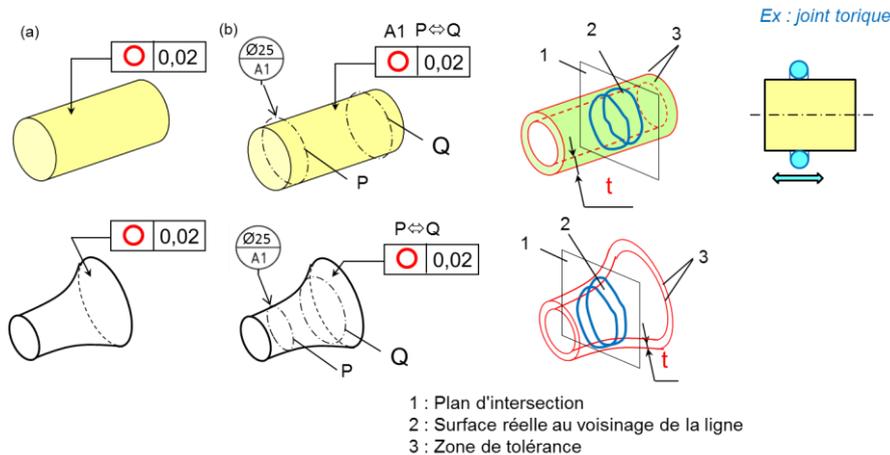
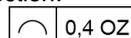


Figure 86 - Circularité d'un cylindre ou d'une surface de révolution

NOTE 1 : l'emploi d'une spécification de forme d'une ligne avec OZ est équivalent, car le décalage de la zone de tolérance par OZ est indépendant dans chaque section.



6.4.6 Rectitude des génératrices d'un cylindre ou d'un cône

Définition : La rectitude des génératrices est une spécification des lignes dans des plans d'intersection passant par l'axe du cylindre ou du cône. La ligne réelle doit être contenue dans la zone de tolérance de forme de la surface avec un balançage limité aux déplacements de la surface nominale dans le plan d'intersection (2 translations et une rotation). Le balançage est indépendant dans chaque section (Figure 86a).

Dans la Figure 87b, les sections à spécifier sont décrites par une zone partielle glissante définie par un segment glissant entre les deux segments P et Q.

Application : garantir la qualité du contact du cylindre ou du cône avec un plan tangent ou un autre cylindre (roulement à rouleaux).

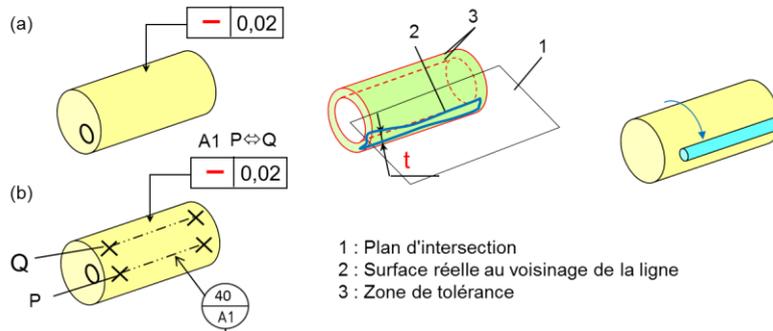


Figure 87 – Rectitude des génératrices d'un cylindre

6.4.7 Forme des génératrices d'une surface de révolution

Définition : La forme des génératrices est une spécification des lignes dans des plans d'intersection passant par l'axe de la surface de révolution. La ligne réelle doit être contenue dans la zone de tolérance de forme de la surface avec un balançage limité aux déplacements de la surface nominale dans le plan d'intersection (2 translations et une rotation). Le balançage est indépendant dans chaque section (Figure 88).

Dans la Figure 87b, les sections à spécifier sont décrites par une zone partielle linéique limitée par les points P et Q. La spécification de forme du profil est exigée pour toutes les positions de la zone partielle glissante entre les deux points P et Q, c'est-à-dire sur un tour complet.

Note : la portion de surface réelle identifiée au voisinage de la ligne doit être dans la zone de tolérance.

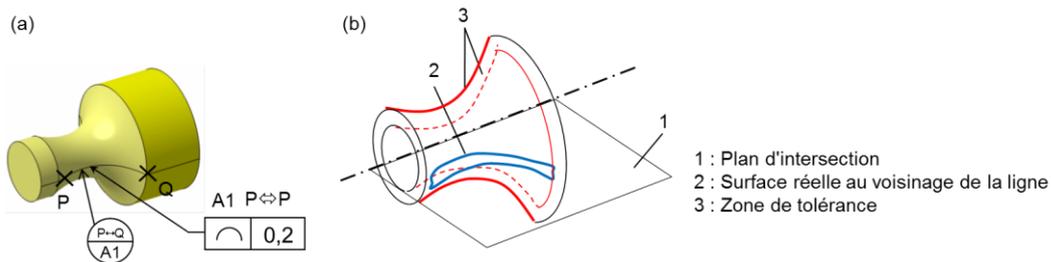


Figure 88 - Forme des génératrices d'une surface de révolution

NOTE : si le modificateur OZ est placé à droite de la tolérance, la valeur du décalage de la zone de tolérance est indépendante dans chaque section.

6.5 Battement

6.5.1 Domaine d'emploi du battement

Le battement est dédié aux pièces tournantes par rapport à un axe de référence.

Définition : L'axe de référence pour le battement est défini dans le modèle nominal par l'axe nominal de la surface spécifiée. Le modèle nominal est positionné par le système de références.

Le plus souvent, le système de références définit une liaison cylindrique ou de révolution nominale coaxiale à l'élément spécifié. Il est toutefois possible de définir un battement par rapport à tous les types de système de références avec éventuellement des modificateurs. La zone de tolérance est centrée sur l'axe nominal de la surface spécifiée. La référence peut éventuellement être définie sur la surface spécifiée elle-même pour des applications particulières.

Avec un battement total, toute la surface spécifiée doit être dans une zone de tolérance unique.

Avec un battement circulaire, chaque section doit être dans une zone de tolérance du même type, mais indépendamment pour chaque section.

NOTE 1 : le battement circulaire est utilisable par exemple lorsque la pièce en appui est mobile sur la surface spécifiée ou lorsque que la fonction est indépendante pour chaque section. Il est très difficile de mesurer des points idéalement sur la ligne intersection. En pratique, les points sont mesurés sur la surface réelle au voisinage de la ligne idéale.

NOTE 2 : Le battement est le cumul du défaut de forme et de la coaxialité, mais est indépendant de la distance de la surface réelle à la surface nominale.

NOTE 3 : Le battement se distingue d'une spécification de position par rapport à l'axe, car il laisse variable la distance de la surface à l'axe de rotation. Pour les surfaces simples, le battement est proche d'un défaut de position de surface quelconque par rapport à l'axe du système de références, avec un modificateur OZ.

Application : gorge de poulie, surface de glissement d'un joint

6.5.2 Battement radial

Définition : Le battement total radial (Figure 89a) impose que la surface réelle soit comprise entre deux cylindres centrés sur l'axe de de référence, dont la différence de rayon est égale à la tolérance.

Définition : Le battement circulaire radial (Figure 89b) est une spécification des lignes intersection de la surface spécifiée et des plans perpendiculaires à l'axe de de référence. Chaque ligne réelle doit être comprise entre deux cylindres centrés sur l'axe de référence, dont la différence de rayon est égale à la tolérance (Les rayons de ces cylindres sont indépendants d'une section à l'autre).

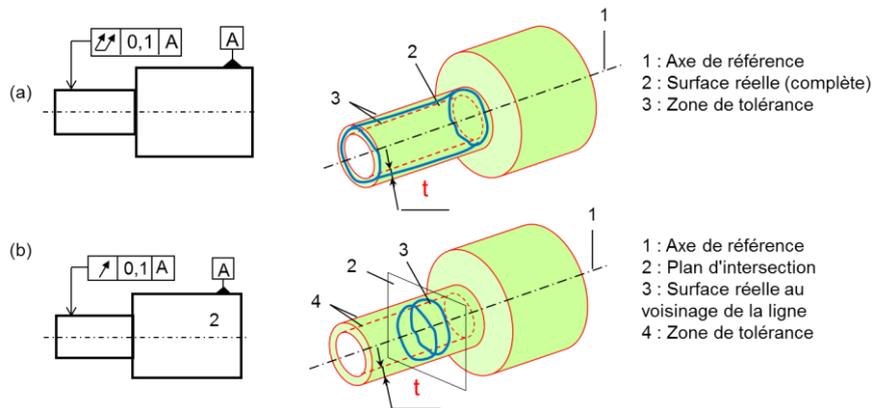


Figure 89 - Battement circulaire et total radial

6.5.3 Battement axial

Définition : Le battement total axial (Figure 90a) impose que la surface réelle soit comprise entre deux plans perpendiculaires à l'axe de de référence distants de la tolérance.

Définition : Le battement circulaire axial (Figure 90b) est une spécification des lignes intersection de la surface spécifiée et de cylindres centrés sur l'axe de de référence de rayon variable. Pour chaque section, la surface réelle doit être comprise entre deux plans perpendiculaires à l'axe de référence distants de la tolérance (Les positions de ces plans sont indépendantes d'une section à l'autre).

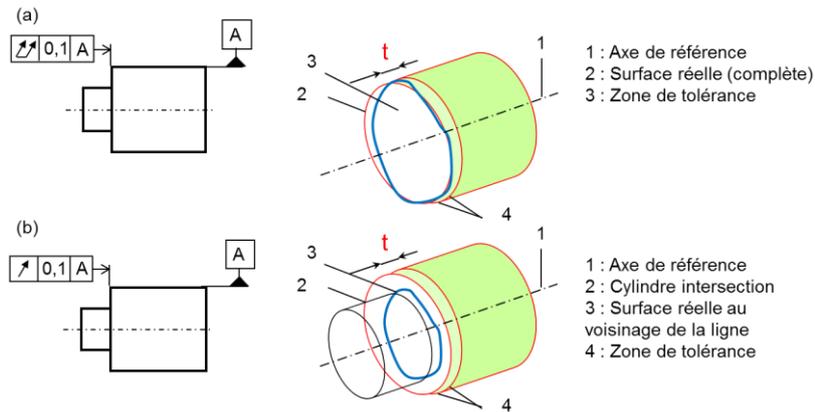


Figure 90 - Battement circulaire et total axial

NOTE 1 : le battement total axial est rigoureusement équivalent à une perpendicularité.

NOTE 2 : En battement total, la variation couvre toute la surface. En battement circulaire, la variation couvre chaque ligne séparément. Le battement simple autorise donc des défauts de forme supplémentaires.

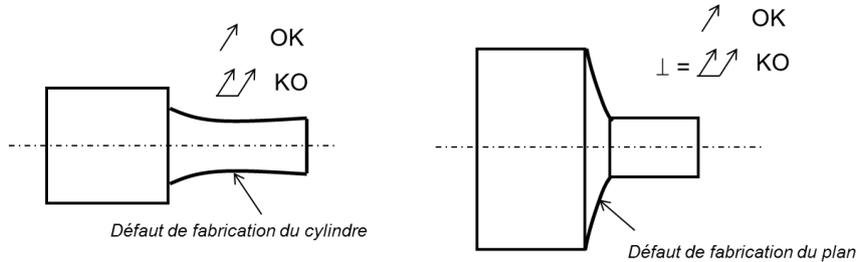


Figure 91 - Comparaison du battement circulaire et total

6.5.4 Battement sur une surface de révolution

Définition : Le battement total (Figure 92) impose que la surface réelle soit comprise dans la zone de tolérance centrée sur l'axe de référence. La zone de tolérance est obtenue en deux étapes :

- La génératrice nominale de la surface dans le plan passant par l'axe de référence peut être traduite radialement et axialement d'une valeur quelconque.
- La zone de tolérance est générée par rotation autour de l'axe de référence de deux lignes offsets de la génératrice décalée avec des offsets de $+t/2$ et $-t/2$.

La surface spécifiée complète doit appartenir à la zone de tolérance.

NOTE 1 : la flèche issue du cadre de tolérance est de préférence normale à la surface.

NOTE 2 : le battement total se distingue d'une spécification de position de surface quelconque avec OZ, car la génératrice est traduite (sans déformation). Le modificateur OZ déforme la génératrice en appliquant un offset.

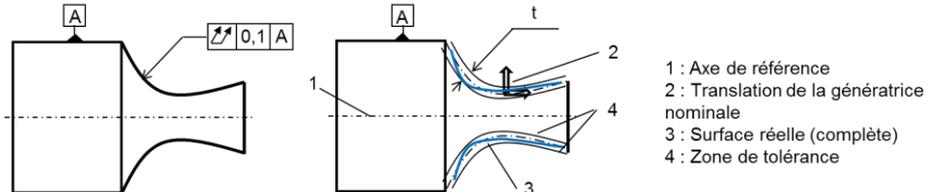


Figure 92 - Battement total sur une surface de révolution

Définition : Le battement circulaire (Figure 93) est une spécification des lignes intersection de la surface spécifiée et de plans perpendiculaires à l'axe de référence. Pour chaque section, la ligne intersection doit appartenir à la zone de tolérance définie comme pour le battement total. Les translations radiales et axiales de la génératrice sont indépendantes d'une section à l'autre.

NOTE : la flèche issue du cadre de tolérance est de préférence normale à la surface.

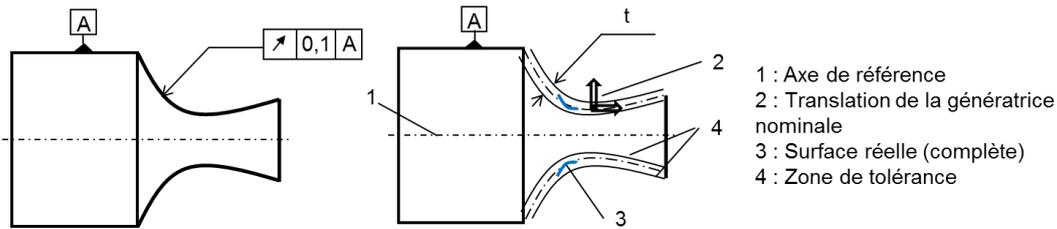


Figure 93 - Battement circulaire sur une surface de révolution

6.5.5 Battement dans une direction donnée sur une surface de révolution

Dans la Figure 94, la spécification de battement a été complétée par un indicateur de direction indiquant que la direction de mesure est inclinée à 75° par rapport à la référence A. La différence avec un battement classique est que la zone de tolérance n'est pas obtenue par des surfaces offset de la génératrice nominale mais par translation de la génératrice nominale.

Définition : Le battement total (Figure 94) impose que la surface réelle soit comprise dans la zone de tolérance centrée sur l'axe de référence. La zone de tolérance est obtenue en deux étapes :

- La génératrice nominale de la surface dans le plan passant par l'axe de référence peut être traduite radialement et axialement d'une valeur quelconque.
- La zone de tolérance est générée par rotation autour de l'axe de référence de deux lignes identiques à la génératrice décalée de $+t/2$ et $-t/2$ dans la direction fixée par l'indicateur de direction.

La surface spécifiée complète doit appartenir à la zone de tolérance.

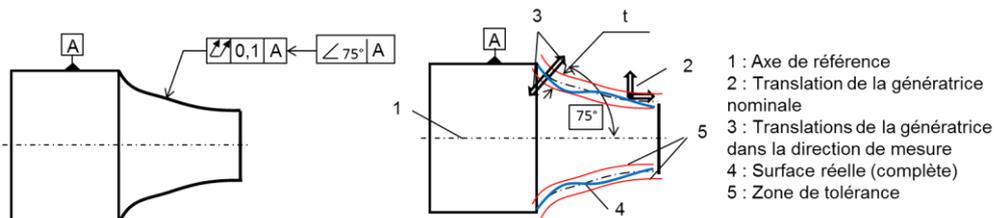


Figure 94 - Battement avec indicateur de direction

Le battement circulaire est une spécification des lignes intersection de la surface spécifiée et de plans perpendiculaires à l'axe. Pour chaque section, la ligne intersection doit appartenir à la zone de tolérance définie comme pour le battement total. Les translations radiales et axiales de la génératrice sont indépendantes d'une section à l'autre.

7. Congé et chanfrein

7.1 Congés et chanfreins nominaux

7.1.1 Congé

Un congé nominal est la surface générée par une sphère de rayon R tangente aux surfaces adjacentes (Figure 95a).

Pour une position donnée de la sphère, le plan d'intersection est formé par les deux normales aux points de contact avec les surfaces. Ces normales sont concourantes au centre de la sphère. (Figure 95b).

Le plan d'intersection est aussi perpendiculaire à l'arête fictive formée par le lieu des centres de la sphère. La trace du congé dans ce plan d'intersection est un cercle de rayon R.

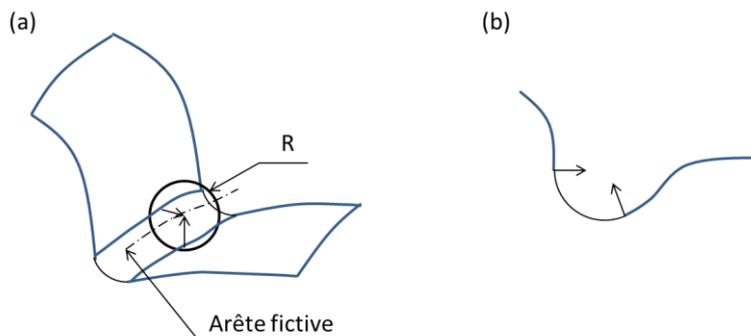


Figure 95- Définition d'un congé

La définition est identique pour un congé intérieur et extérieur matière.

Le congé de raccordement entre 3 surfaces est défini de la même façon, éventuellement en considérant un autre congé comme surface adjacente.

7.1.2 Chanfrein

Un chanfrein nominal est la surface générée par une droite qui coupe les deux surfaces adjacentes en formant un segment de longueur constante C (Figure 96a).

Pour une position donnée de la droite, le plan d'intersection est formé par les deux normales aux points d'intersection de la droite avec les surfaces adjacentes. Pour cela, l'orientation de la droite doit être définie de sorte que ces deux normales soient concourantes. La droite appartient à ce plan et forme un segment de longueur C.

Lorsqu'il n'y a pas d'indication angulaire, le segment doit être perpendiculaire à la bissectrice des deux normales (Figure 96b).

Lorsqu'un angle α est indiqué par rapport à une des surfaces adjacentes, le segment est orienté en faisant l'angle α constant avec la ligne tangente à cette surface (Figure 96c).

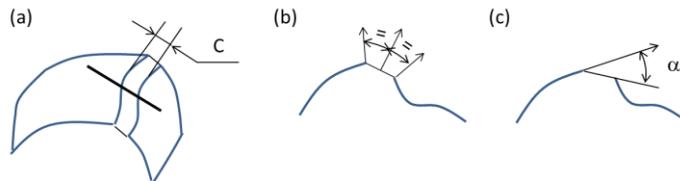


Figure 96 - Définition d'un chanfrein

NOTE : les chanfreins ne répondant pas à ces définitions doivent être définis dans le modèle nominal.

7.2 Spécification d'un congé ou d'un chanfrein

7.2.1 Surface classique

Les surfaces de raccordement classiques sont définies dans des plans d'intersection par un segment (chanfrein) ou un arc de cercle (congé). (voir partie 1, chapitre 6.2).

La surface de raccordement peut ne pas être représentée dans le modèle nominal.

Les spécifications Figure 97a et b sont équivalentes pour un congé.

Les spécifications Figure 97c, d et e sont équivalentes pour un chanfrein normal à la bissectrices des tangentes aux surfaces adjacentes.

Les spécifications Figure 97f, g et h sont équivalentes pour un chanfrein incliné d'un angle donné par rapport à l'une des faces. Lorsque le chanfrein n'est pas représenté, la flèche doit être normale à la face prise comme référence pour orienter le chanfrein.

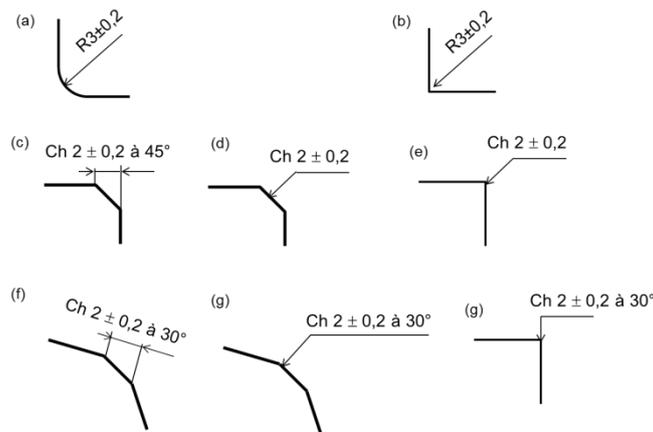


Figure 97 - Spécification des congés et chanfreins simples

7.2.2 Définition d'un congé de raccordement spécifique

La surface peut être définie en CAO par un profil nominal quelconque et évolutif. Dans ce cas, la spécification est définie par $N \pm t/2$. N désigne le profil nominal défini sous forme numérique.

Dans la Figure 98a, le profil nominal est tangent aux surfaces adjacentes. Lorsque le profil n'est pas tangent aux surfaces adjacentes (Figure 98d), le profil est complété par une portion de chacune des surfaces adjacentes.

Les deux courbes limites sont définies avec des offsets $+t/2$ et $-t/2$ du profil nominal (Figure 98b et e). La zone de tolérance est définie par l'espace compris entre les courbes offsets tangentes aux lignes adjacentes (Figure 98c et f).

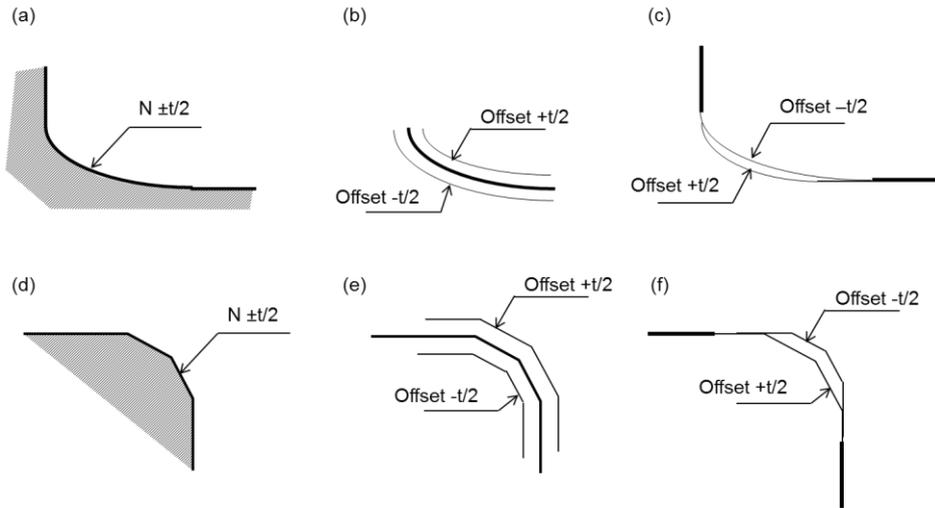


Figure 98 – Surface de raccordement définie sous forme numérique

7.3 Coin

Définition : un coin est une surface de raccordement entre trois surfaces adjacentes.

Lorsque les trois surfaces de raccordement qui convergent sur le coin ont la même concavité, la spécification de congé sous la forme $R.. \pm ...$ impose une zone de tolérance entre deux sphères de rayons maxi et mini tritangentes aux surfaces adjacentes (Figure 99a).

Lorsque les trois surfaces de raccordement qui convergent sur le coin n'ont pas la même concavité, la spécification de congé sous la forme $R.. \pm ...$ impose une zone de tolérance définie par l'espace compris entre le congé de rayon maxi et le congé de rayon mini tangents aux surfaces adjacentes en considérant le congé comme une surface adjacente (Figure 99b et c).

Il n'y a pas nécessairement de coin entre les 3 surfaces (Figure 99c). Les deux congés forment une arête.

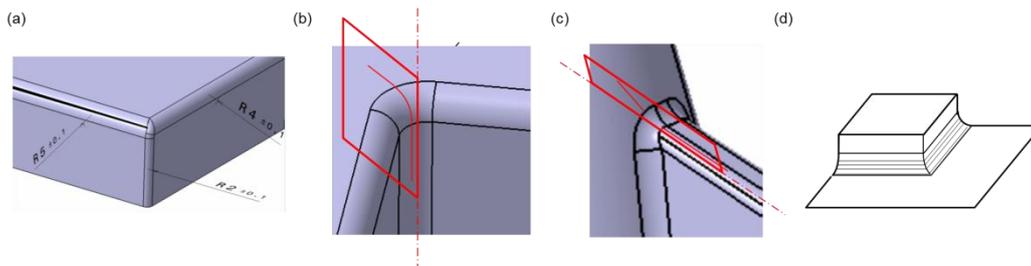


Figure 99 - Coin entre trois surfaces

7.4 Propagation des spécifications de congés et de chanfreins

Lorsqu'un groupe fonctionnel comporte une répétition de N entités identiques comportant N surfaces de raccordement identiques, la spécification de congé ou de chanfrein peut être complétée par l'indication Nr qui est équivalente à la recopie de la spécification sur chacun des éléments du groupe fonctionnel (Figure 100a).

L'indication 2r peut être utilisée pour des surfaces de raccordement symétriques appartenant à des entités symétriques par rapport à un plan de symétrie.

Lorsque le symbole comporte une double flèche perpendiculaire à la ligne repère signifiant « propagation », la spécification se propage automatiquement à toutes les arêtes voisines de type identiques ayant au moins un point d'intersection commun, sauf si une autre spécification de congé ou de chanfrein est imposée (Figure 100b).

Le type est considéré identique dans les cas suivants :

- La concavité est identique (arête intérieure ou extérieure),
- La surface de raccordement est représentée avec les mêmes paramètres (même rayon ou même valeur de chanfrein).

Lorsque 2 lettres (ex P et Q) sont placées aux extrémités de la flèche, la propagation d'applique uniquement sur l'arête qui relie les points P et Q (Figure 100c).

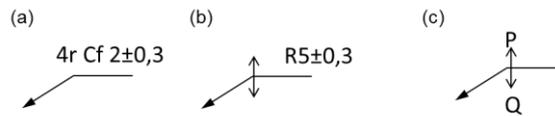


Figure 100 - Duplication implicite de la spécification sur les éléments d'un groupe

Lorsqu'un coin se trouve placé entre 3 congés, par défaut, le coin est considéré spécifié avec le rayon maxi égal au plus grand des rayons maxi et le rayon mini avec le plus petit des rayons mini.

- (1) Chanfrein entre l'alésage et le plan supérieur (le chanfrein n'est pas représenté dans le 3D).
- (2) Chanfrein entre le plan et le cône. L'angle de 30° est défini par rapport au plan.
- (3) Congé entre le plan et le flanc de la nervure, dupliqué sur les 2 côtés de la nervure.
- (4) Chanfrein entre l'alésage et le plan, dupliqué sur les 4 alésages.
- (5) Congé sur tous les raccords extérieurs de la pièce
- (6) Congé sur tous les raccords intérieurs autour du cône et de la nervure

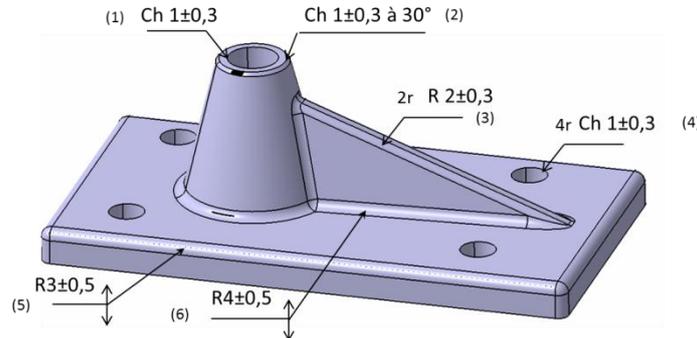


Figure 101 - Spécification avec propagation

7.5 Congé et chanfrein évolutifs

Dans un congé, le rayon peut varier linéairement entre 2 points identifiés sur l'arête intersection des deux surfaces adjacentes. Le rayon est toujours défini dans le plan normal à cette arête.

La Figure 102a présente un congé dont le rayon qui varie linéairement entre les points P et Q.

- Avec la spécification Figure 102b, le rayon varie, mais la tolérance est constante.
- Avec la spécification Figure 102c, le rayon et la tolérance varient linéairement.

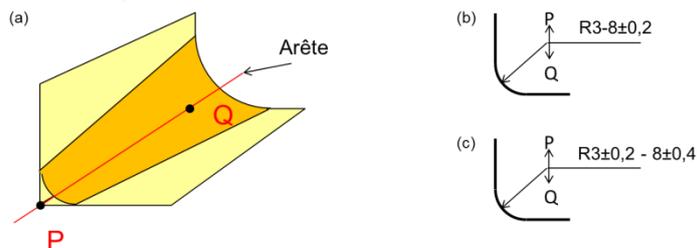


Figure 102 - Congé évolutif

NOTE : s'il est nécessaire de prolonger la définition du congé au-delà des points P et Q, la valeur du congé est constante et égale à la valeur en P ou Q.

Le chanfrein peut varier linéairement entre 2 points identifiés sur l'arête intersection des deux surfaces adjacentes. Le chanfrein est toujours défini dans le plan normal à cette arête.

La Figure 103a présente un chanfrein dont la valeur varie linéairement entre les points P et Q.

- Avec la spécification Figure 103b, le chanfrein varie, mais la tolérance est constante.
- Avec la spécification Figure 103c, le chanfrein et la tolérance varient linéairement.

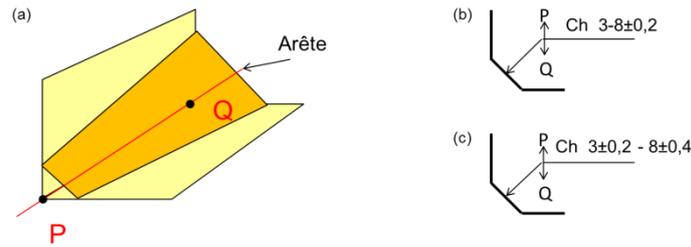


Figure 103 - Chanfrein variable

NOTE : s'il est nécessaire de prolonger la définition du chanfrein au-delà des points P et Q, la valeur du congé est constante et égale à la valeur en P ou Q.

8. Spécification au voisinage des arêtes

8.1 Bavures et cassage d'angle

8.1.1 Exploitation des spécifications des arêtes

Définition : Une arête est une ligne intersection entre deux surfaces contiguës non tangentés.

NOTE 1 : Un chanfrein entre un cylindre et un plan perpendiculaire est limité par 2 arêtes

Pour associer une référence ou pour vérifier une spécification, la pièce doit être ébavurée pour éliminer toutes les parties saillantes au voisinage des arêtes extérieures. Cela signifie qu'une spécification quelconque ne peut pas être refusée en raison d'une bavure.

Par contre, une pièce peut être refusée si une bavure dépasse les limites indiquées par une spécification d'arête.

Le critère d'ébavurage est laissé à l'appréciation de la production ou du métrologue.

Si la spécification d'arête comporte une longueur limite d'altération, valeur c , en cas de présence de bavure ou de cassage d'angle, la partie altérée est exclue pour l'évaluation des spécifications des surfaces ou pour définir une référence, dans la limite de l'étendue définie par le paramètre c .

NOTE 2 : à titre d'exemple, une petite bosse sur une arête due à un choc peut être évaluée selon la spécification des arêtes pour refuser ou non la pièce. Cette bosse doit ensuite être retirée avant de faire la métrologie des autres spécifications. Si la bosse est trop étendue pour être considérée comme une bavure, elle n'est pas supprimée et doit être identifiée comme tout défaut de forme.

NOTE 3 : Si l'arête ne comporte pas de spécification, les bavures et les cassages d'angles sont admis, sans limites. La longueur d'altération de la surface est indéterminée, mais la métrologie des autres surfaces doit toujours être effectuée après ébavurage.

Les spécifications d'arête définissent les limites acceptables pour les bavures et les cassages d'angle, soit avant ébavurage, soit après ébavurage.

NOTE 4 : cette distinction permet de spécifier une pièce en sortie de machine (avant ébavurage), puis après l'opération d'ébavurage (pour valider la qualité de l'ébavurage). En conséquence, le métrologue ne doit pas ébavurer la pièce avant d'évaluer la bavure.

8.1.2 Spécification symétrique des arêtes

Définition : La spécification d'une arête est représentée par deux traits perpendiculaires, reliés à l'arête spécifiée par un trait de rappel. La spécification pour une arête simple perpendiculaire à la vue est représentée :

- Figure 104a pour un contrôle avant l'opération d'ébavurage.
- Figure 104b pour un contrôle après ébavurage (Le trait supplémentaire symbolise une lime, pour supprimer la bavure).

La zone de tolérance est une zone locale définie sur l'arête réelle. Les limites des zones de tolérance sont données par 1, 2 ou 3 nombres séparés par «-».

- a : Valeur maximale de la bavure
- b : Valeur maximale du cassage d'angle (facultative)
- c : Longueur maxi d'altération de la surface (facultative).

Les trois valeurs sont positives ou nulles.

- Une valeur nulle pour a interdit toutes bavures (excès de matière). Ex : $0 - 0,3 - 2$
- Une valeur nulle pour b interdit tout cassage d'angle (manque de matière). Ex : $0,2 - 0 - 2$

- L'absence de valeur a supprime la limite sur la bavure admissible. Ex : - 0,3 – 3
- L'absence de valeur b supprime la limite sur la profondeur du cassage d'angle admissible. Ex : 0,2- - 3
- L'absence de valeur c supprime la limite sur l'étendue de la bavure ou du cassage d'angle. Ex : 0,2 – 0,3

La zone de tolérance est définie localement au voisinage de l'arête intersection. Le modèle nominal est associé localement et simultanément aux surfaces adjacentes de l'arête par les moindres carrés, sur une surface restreinte non définie dont l'étendue peut être de l'ordre de 3 fois la valeur c et sur une largeur suffisamment faible pour avoir un défaut de forme négligeable sur cette surface restreinte (Figure 104c). La zone de tolérance est définie par les surfaces offset des surfaces nominales avec un décalage a , côté extérieur matière et b , côté intérieur matière. La zone de tolérance est limitée à l'étendue c mesurée perpendiculairement à l'arête (Figure 104d).

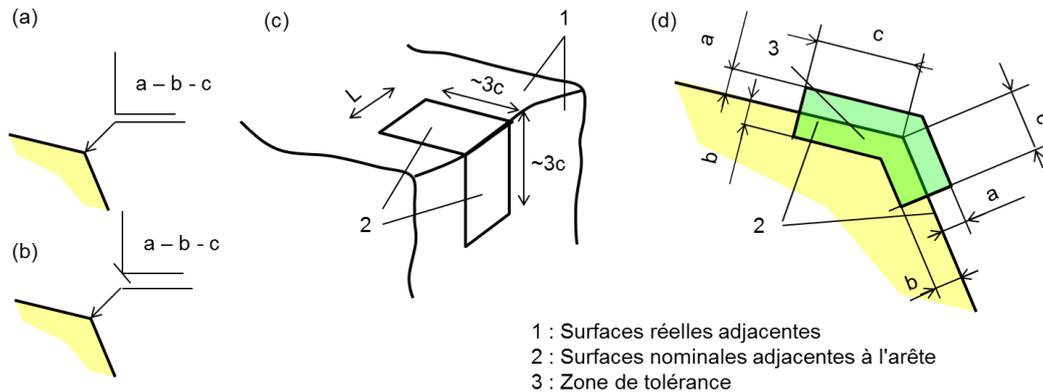


Figure 104 - Spécification symétrique d'une arête

La Figure 105a indique la représentation lorsque l'arête intersection est sensiblement perpendiculaire à la vue. La flèche est orientée de préférence selon la bissectrice de l'angle, côté extérieur matière.

La Figure 105b indique la représentation lorsque l'arête intersection est dans un plan parallèle à la vue. La flèche pointe de préférence au milieu de l'arête. La flèche est placée côté extérieur matière. Pour une arête rectiligne, la flèche fait de préférence un angle sensiblement à 45° par rapport au segment. Lorsque la spécification s'applique à toutes les arêtes d'un contour visible dans la vue, le symbole « O » tout autour doit être placé sur le trait de repère.

En 3D, la spécification est de préférence définie dans un plan perpendiculaire à l'arête Figure 105c. Dans cette vue, la représentation est similaire à la Figure 105a.

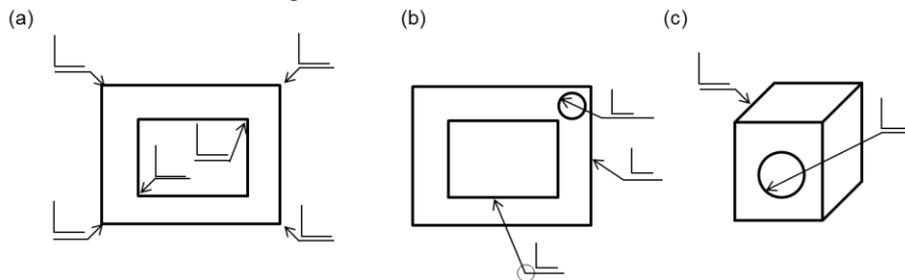


Figure 105 - Représentation des spécifications symétriques des arêtes

La Figure 106 présente des exemples de bavures et cassages d'angle admissibles.

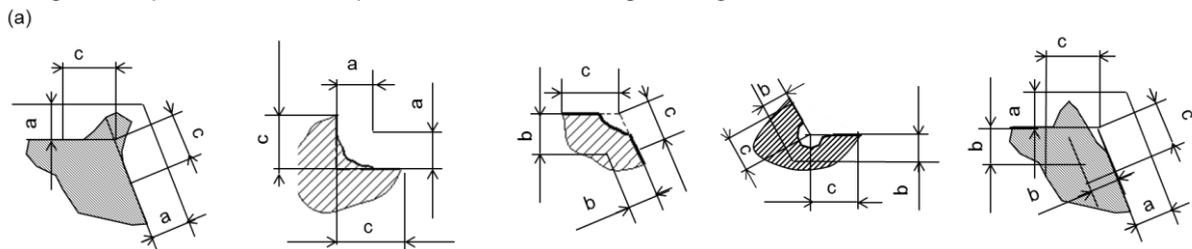


Figure 106 - Limitation des bavures et des dégagements maxi

La Figure 107a n'est pas acceptable car la bavure dépasse la zone de tolérance. L'étendue maximale c n'est pas respectée.

La Figure 107b est spécifiée avec $b = 0$. Le cassage d'angle n'est pas acceptable.

Dans la Figure 107c la bavure est conforme car elle respecte la zone de tolérance d'étendue c . La bosse à gauche de la zone de tolérance doit être considérée pour la spécification de la surface adjacente. Il y a une difficulté d'appréciation pour savoir si la bosse fait partie ou non de la bavure. En pratique, la condition doit être respectée pour tous les plans d'intersection. La bavure peut être rejetée dans une autre section.

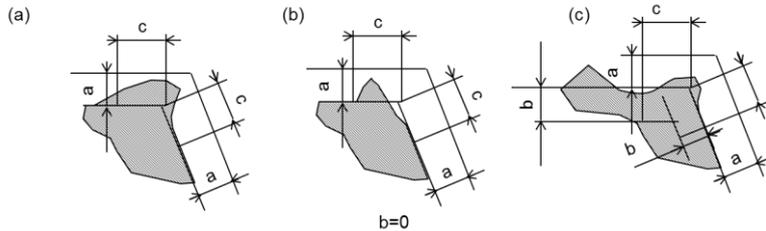


Figure 107 - Arête particulière

8.1.3 Spécification non symétrique des arêtes

Pour une spécification non symétrique de l'arête, les valeurs sont indiquées à droite des extrémités des deux traits. La flèche issue du symbole doit être perpendiculaire ou à défaut sensiblement perpendiculaire à la surface dont les valeurs sont indiquées à droite du trait horizontal.

Les Figure 108a et Figure 108b illustrent la zone de tolérance de la spécification lorsque les valeurs sont différentes pour les deux côtés de l'arête.

Les Figure 108c et Figure 108d décrivent la zone de tolérance de la spécification lorsque seule une surface sur le côté de l'arête est spécifiée. (Il n'y a pas de contrainte pour l'autre surface).

NOTE 1 : La flèche donne la direction des dimensions a_1 et b_1 .

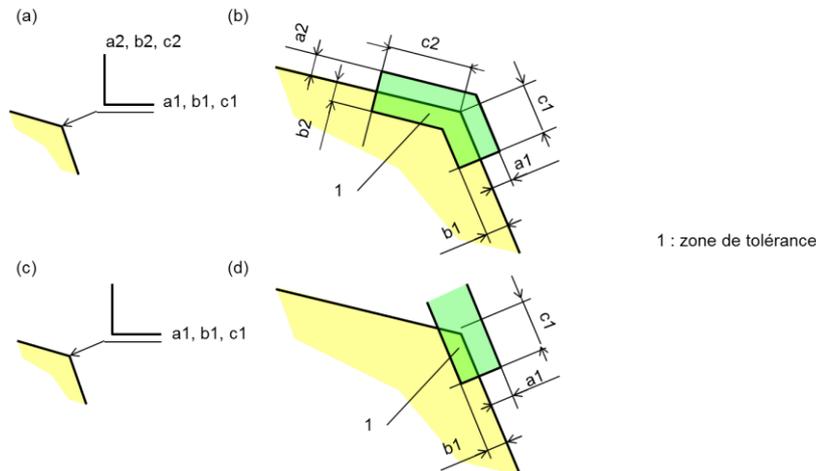


Figure 108 - Spécification non symétrique des arêtes

NOTE 2 : Le principal intérêt des spécifications non symétriques est de permettre d'imposer une bavure nulle sur une des surfaces adjacente de l'arête.

La Figure 109 indique la représentation pour une arête avec la flèche sensiblement perpendiculaire à la surface dont les valeurs sont indiquées à droite du trait horizontal du symbole.

Pour un contour, les valeurs indiquées à droite du trait horizontal du symbole correspondent aux surfaces perpendiculaires à la vue.

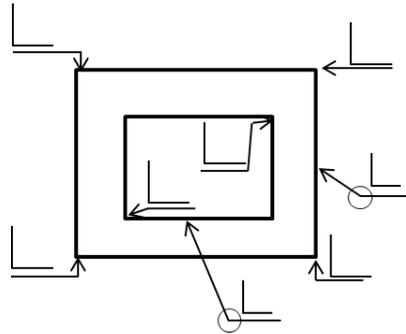


Figure 109 - Représentation des spécifications non symétriques

8.2 Conformité d'une spécification au voisinage d'une arête

8.2.1 Conformité d'une face

Pour éviter les difficultés de définition des limites de la surface spécifiée au voisinage du contour extérieur et des contours intérieurs de la face et pour permettre la mesure de chaque surface indépendamment des autres surfaces, la surface réelle tolérancée est restreinte par défaut à une distance $d = 0,5$ mm des arêtes avec les surfaces réelles adjacentes. Cette distance est appelée « l'éloignement ».

Si la surface adjacente est un chanfrein, l'arête est la ligne intersection du chanfrein réel avec la surface spécifiée réelle.

Si besoin, l'éloignement d peut être modulée dans les conditions de mesure en fonction de l'étendue de la surface (voir section 10.1.2).

Si besoin, il est possible de spécifier une zone restreinte particulière. Inversement, si la zone réellement utilisée pour la mesure et l'association est différente, il est nécessaire de décrire cette zone dans le procès verbal de mesure.

La pièce doit être ébavurée, il ne doit pas y avoir de partie saillante au voisinage des arêtes. Une spécification d'arête peut être définie (voir section 8.1)

NOTE 1 : L'éloignement d est défini localement en fonction de l'arête la plus proche pour éviter les défauts de forme de la face voisine et les défauts locaux de l'arête. L'incertitude sur la position précise de cette limite à 0,5 mm des bords doit avoir une influence négligeable sur le résultat. Dans le cas contraire, cela signifierait que la cotation n'est pas très robuste.

NOTE 2 : Le même éloignement s'applique également pour identifier un élément de référence.

En cas de litige, la règle de conformité au voisinage de l'arête s'applique :

8.2.2 Conformité des spécifications au voisinage d'une arête

REGLE pour les spécifications de forme :

Lorsqu'il n'y a pas de spécification d'arête, la règle de conformité au voisinage de l'arête est la suivante :

Arête extérieure : tous les points doivent respecter les limites au maximum de matière des zones de tolérance de forme des deux surfaces et l'une ou l'autre des deux limites au minimum de matière.

Arête intérieure : tous les points doivent respecter les limites au minimum de matière des zones de tolérance des de forme deux surfaces et l'une ou l'autre des deux limites au maximum de matière.

Les règles sont identiques pour les spécifications d'orientation et de position.

NOTE : Si une des surfaces ne comporte pas de spécification de forme, cela signifie que la forme est imposée par la spécification d'orientation ou de position ou le tolérancement général.

Si une des surfaces ne comporte pas de spécification de d'orientation, cela signifie que l'orientation est imposée par la spécification de position. A défaut, la zone est supposée infinie.

La Figure 110 représente un dessin avec notamment trois plans formant une arête extérieure et une arête intérieure. Au voisinage de l'arête, toutes les spécifications des deux plans adjacents doivent être vérifiées.

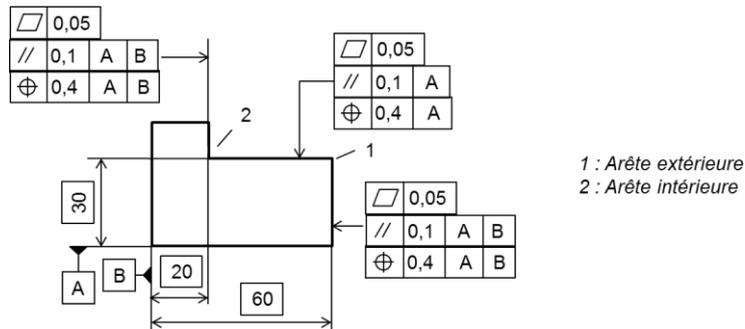


Figure 110 - Dessin de définition

La Figure 111 représente différents profils réels au voisinage de l'arête. Les zones de tolérance de forme sont contraintes par l'ensemble de chaque plan. Les zones ont été positionnées en négligeant les points situés à une distance d de l'arête inférieure ou égale à 0,5.

Les figures (a), (b) et (c) portent sur l'arête extérieure.

Le profil Figure 111a est satisfaisant, car tous les points sont dans l'une ou l'autre des zones de tolérance. Le point P est en dehors de la zone horizontale. Il ne respecte pas la limite \ominus , mais il appartient à l'autre zone de tolérance.

Le profil Figure 111b n'est pas satisfaisant car le point Q dépasse la limite au maximum de matière de la zone horizontale (bien qu'appartienne à la seconde zone de tolérance).

Le profil Figure 111c n'est satisfaisant car le point R dépasse les deux limites au minimum de matière des deux zones de tolérance.

NOTE : En cas de rejet de l'une des spécifications, pour rendre la règle de décision plus robuste, il faudrait tenter un nouveau balancement en intégrant tous les points P situés au-dessus de la zone de tolérance et tous les points R situés en dehors des 2 zones de tolérance, et ceci pour toutes les arêtes des contours intérieurs et extérieurs de la surface. Le processus devient itératif et complexe, pour traiter simultanément une face et ses voisines, car de proche en proche toutes les surfaces sont impliquées.

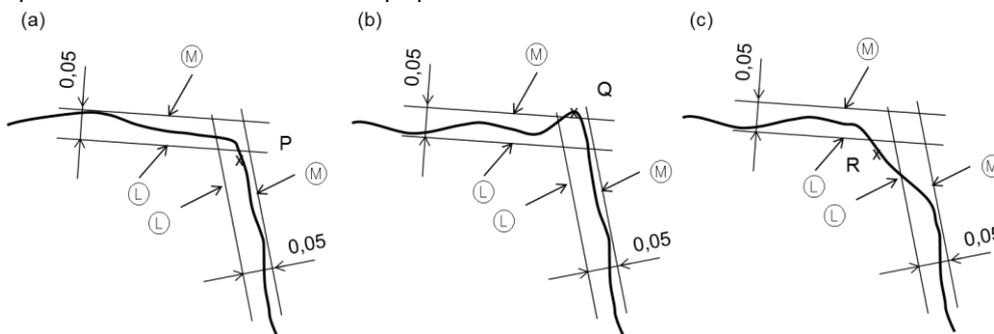


Figure 111 - Exemples de profils réels au voisinage de l'arête avec spécifications de forme

La Figure 112 représente les zones de tolérance de position sont centrées sur les surfaces nominales avec différents profils de pièces.

Les figures (a), (b) et (c) portent sur l'arête extérieure.

Le profil Figure 112a est satisfaisant, car tous les points sont dans les zones de tolérance.

Le profil Figure 112b n'est pas satisfaisant car certains points dépassent les deux limites au minimum de matière des deux zones de tolérance. (Le profil b est identique au profil a. Il a simplement été translaté).

Le profil Figure 112c n'est satisfaisant car il dépasse la limite au maximum de matière d'une zone de tolérance.

Les figures (d), (e) et (f) portent sur l'arête intérieure.

Le profil Figure 112d est satisfaisant, car tous les points sont dans les zones de tolérance.

Le profil Figure 112e n'est pas satisfaisant car certains points dépassent les deux limites au maximum de matière des deux zones de tolérance. (Le profil b est identique au profil a. Il a simplement été translaté).

Le profil Figure 112f n'est satisfaisant car il dépasse la limite au minimum de matière d'une zone de tolérance.

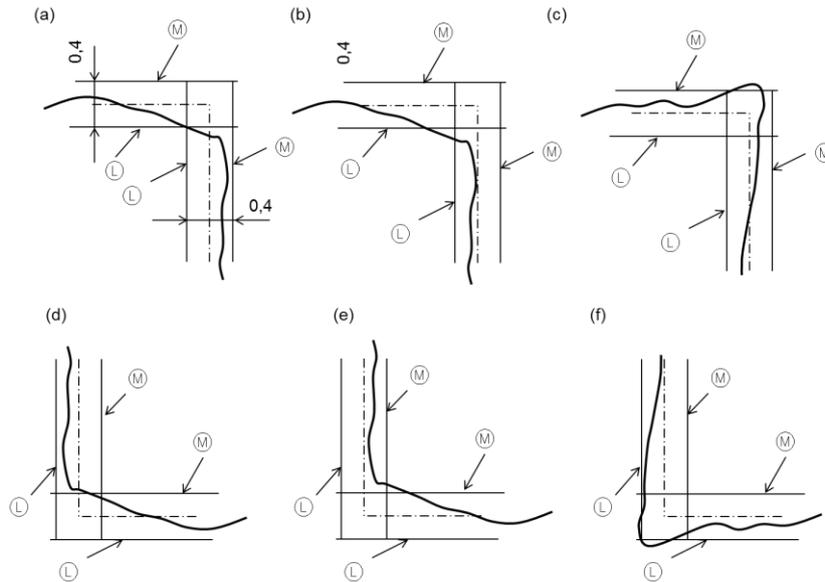


Figure 112 - Exemples de profils aux voisinages de l'arête avec spécifications de position

NOTE 1 : lorsque l'arête est spécifiée (voir chapitre 8), la zone de tolérance de l'arête constitue une zone de transition qui permet d'accepter tous les profils qui appartiennent à cette zone.

NOTE 2 : cette analyse montre qu'en toute rigueur, dans certains cas, il n'est pas possible de déclarer la conformité ou non d'une spécification sans prendre en compte la spécification de la surface voisine ou de l'arête.

8.3 Etendue d'une surface limitée par une arête

L'étendue d'une surface est définie par les arêtes de cette face. Les éléments spécifiés sont les arêtes identifiées par des traits de rappel non tangents aux surfaces adjacentes.

NOTE : La tolérance doit être large au regard de l'incertitude de mesure des points de l'arête.

Sur la Figure 113a, le trait de rappel porte sur directement sur l'arête. La direction de la cote indique la direction de mesure.

La Figure 113b ne convient pas car le trait de rappel est tangent à la surface et porte sur la face latérale (pas sur l'arête).

Pour indiquer l'arête entre deux plans en Figure 113c ou entre un plan et un cylindre en Figure 113d, en vue de côté, le trait de rappel est brisé avec une partie orientée sensiblement dans la direction de la bissectrice. En vue de dessus, le trait de rappel est également brisé avec un angle à 45°.

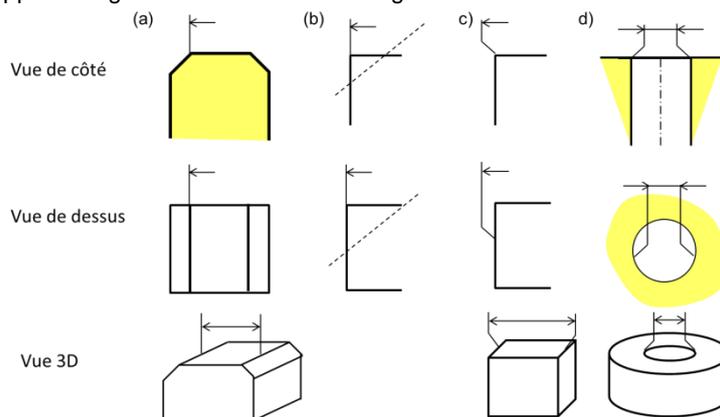


Figure 113 - Spécification entre arêtes

La Figure 114a représente une pièce prismatique. La cote représente la distance entre les deux arêtes nominale- ment parallèles appartenant à un plan. Toutes les distances locales entre les points des deux arêtes doivent être dans l'intervalle de tolérance.

New

La Figure 114b représente une pièce de révolution. La cote représente la distance entre les deux arêtes appartenant à un cylindre. Toutes les distances locales, mesurée selon les génératrices du cylindre, entre les points des deux arêtes doivent être dans l'intervalle de tolérance.

La Figure 114c représente un trou borgne. La cote représente la distance entre l'arête formée par l'intersection du cylindre et du cône et le plan supérieur. Cette cotation très courante n'est pas tout à fait correcte en raison du chanfrein supérieur. En effet, les distances locales ne peuvent pas être mesurées selon les génératrices du cylindre. En pratique, cette approximation ne pose pas de difficultés majeures.

Il serait théoriquement préférable d'adopter la cotation de la Figure 114d avec une référence sur le plan supérieur (éventuellement définie en zone partielle) et l'arête inférieure.

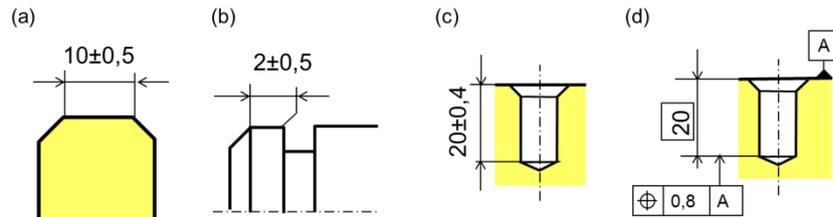


Figure 114 - Etendue d'une surface

La Figure 115 porte sur l'arête intersection du plan et du cylindre. Cette arête appartient au plan. Elle doit être telle que le cercle de diamètre 10 soit à l'intérieur de la matière.

Pour cet alésage, la zone de tolérance est à l'intérieur du cercle diamètre 10.

NOTE : Cette cotation est utilisée par exemple pour garantir une pression maximale sous la tête d'une vis passant dans le trou.

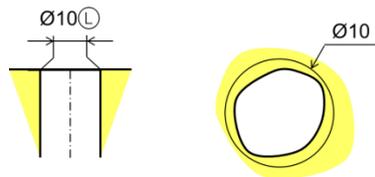


Figure 115 - Etendue au minimum de matière

9. Spécifications statistique

9.1 Exploitation

L'objectif de la cotation statistique est d'élargir les tolérances par rapport au pire des cas. Pour cela, il est indispensable de cumuler deux spécifications :

- Un tolérancement classique par zone de tolérance défini dans le cadre de tolérance. Il permet de dire si une pièce est acceptable ou non, autrement dit, si en installant cette pièce dans le mécanisme, le risque de défaillance pour le client reste acceptable. Cette spécification est notamment exploitée après un incident de production.
- Un tolérancement statistique de l'ensemble des pièces d'un lot défini à droite du cadre de tolérance, afin de maîtriser les productions. C'est le centrage des productions qui permet d'autoriser de manière exceptionnelle des pièces dans une zone de tolérance élargie.

NOTE : l'emploi d'un tolérancement statistique est coûteux. Les gains ne sont significatifs que pour des chaînes de cotes comportant au moins 5 maillons. Le gain réel n'est pas évident, car l'exigence de centrage reste très sévère.

9.2 Grandeur à mesurer

La difficulté est d'identifier la grandeur géométrique à mesurer sur chaque pièce pour calculer les moyennes et les écarts types. La Figure 116 illustre un assemblage avec une exigence fonctionnelle portant sur la hauteur H de la face supérieure.

La hauteur totale en F1 est donnée par la chaîne de cotes établie sur la droite d'analyse passant par le point F1 :

$$H1 = a1+b1+c1+d1+e1$$

Ces dimensions a1, b1... sont à mesurer pour chaque pièce de l'empilage sur la droite d'analyse passant par le point F1.

L'écart type et la moyenne de H1 sont donnés par les écarts types et les moyennes des dimensions a1, b1, c1...

Il faut donc mesurer la dimension a1 sur toutes les pièces du lot pour calculer la moyenne et l'écart type en a1. (idem en b1 pour la pièce b, etc..).

De même, la hauteur total en F2 est donnée sur une seconde droite d'analyse par :

$$H2 = a2+b2+c2+d2+e2$$

Il faut donc mesurer aussi a2 sur toutes les pièces du lot pour calculer la moyenne et l'écart type en a2.

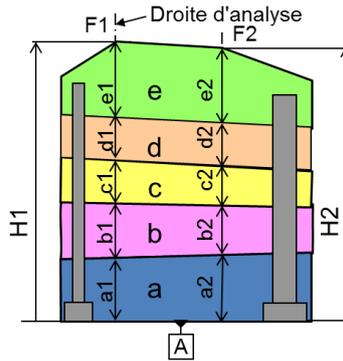


Figure 116 - Chaîne de cotes 1D

NOTE : Ce modèle élémentaire montre qu'il faut être capable de définir les mesures à effectuer sur chaque pièce d'un mécanisme et la relation de cumul donnant la résultante en fonction des mesures, pour pouvoir faire un calcul statistique. Cette relation est complexe, car elle est souvent tridimensionnelle. De plus, plusieurs caractéristiques de la même surface ou de la même pièce peuvent être influentes sur l'exigence. Il faut alors maîtriser les covariances.

Ce modèle peut contenir des mobilités dues aux jeux. Il faut intégrer dans la relation, le comportement du mécanisme suivant les procédures d'assemblages et l'orientation des efforts en cours de fonctionnement.

9.3 Etendue de la surface spécifiée

9.3.1 Spécification sans effet angulaire

La Figure 117 illustre le principe de cotation pour la pièce b de cet empilage. La zone partielle F1 est obtenue par intersection de la surface supérieure avec les différentes droites d'analyse.

La mesure de b1 sur chaque pièce du lot permet d'obtenir le décalage δ de la moyenne, l'écart type et l'inertie en b1 (cette inertie suppose une distribution uniforme de la moyenne dans un intervalle de tolérance de la moyenne):

$$I\mu = \sqrt{\sigma^2 + \frac{\delta^2}{3}}$$

Il faut calculer de même, les moyennes et les écarts types aux 4 coins de la surface spécifiée, car les distributions ne sont pas identiques. Ces distributions permettent éventuellement de définir le réglage à faire pour recentrer la production dans l'intervalle de tolérance.

Les caractéristiques statistiques sont reportées à droite de la spécification classique :

- <STI> $I\mu \leq \dots$: spécification de l'inertie du lot
- <STS> $|\delta| \leq \sigma \leq \dots$: spécification semi quadratique

La spécification porte sur la zone partielle F1 et comporte 2 parties :

- la localisation classique avec la tolérance de 0,3 permet de valider la conformité de chaque pièce.
- Le symbole <STI> qui indique que la tolérance a été calculée avec une méthode inertielle. Le lot de pièces est conforme l'inertie est inférieure ou égale à 0,043mm quel que soit le point de la surface spécifiée.

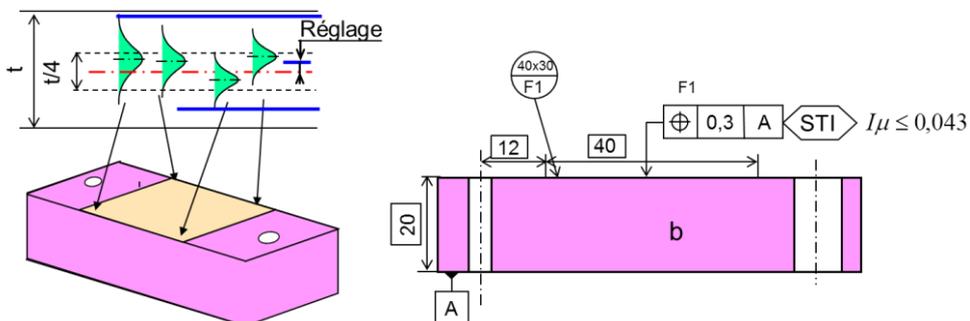


Figure 117 - Spécification statistique sans porte-à-faux

9.3.2 Spécification avec effet angulaire

Lorsque le problème est tridimensionnel, la droite d'analyse peut ne pas couper la surface. La valeur à mesurer est dans le prolongement de cette surface (Figure 118a) ou peut imposer de combiner l'effet des défauts de deux surfaces à l'aide d'un montage de contrôle spécifique qui dépend de chaque exigence (Figure 118b).

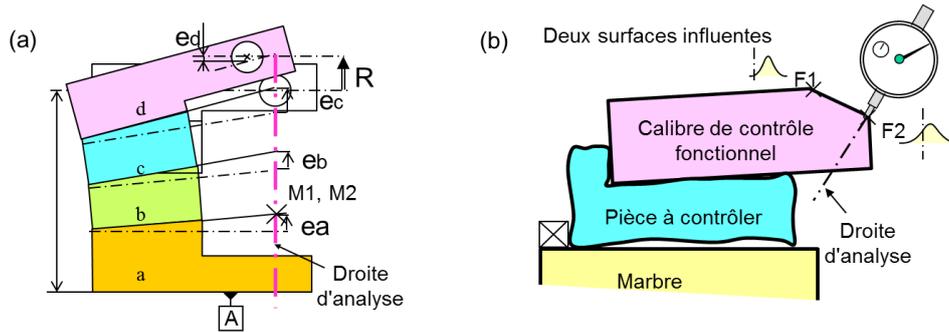


Figure 118 - Chaîne de cotes 3D

La zone partielle devient une zone projetée à l'extérieur de la face. La localisation est définie sur cette zone projetée. Les grandeurs statistiques sont calculées aux différentes limites de la zone projetée.

Dans la Figure 119, la zone projetée est limitée à un segment de droite. A chaque extrémité, σ est l'écart type des différentes hauteurs en ce point sur le lot de pièces. Le décalage δ du lot est l'écart de la moyenne par rapport à la dimension théoriquement exacte de 20 mm.

La Figure 119 indique que la tolérance a été calculée avec un critère semi-quadratique. Le lot est conforme si en tous les points δ est inférieur en valeur absolue à 0,038 et σ est également inférieur à 0,038.

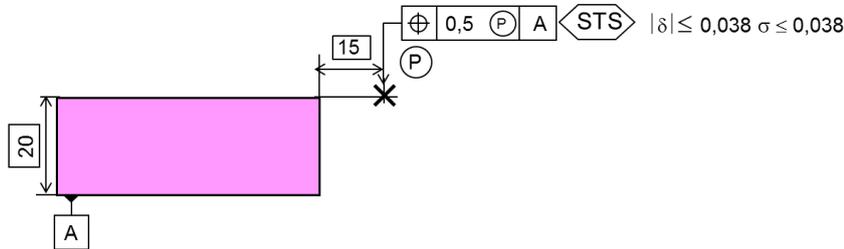


Figure 119 - Spécification statistique en zone projetée

10. Conditions de mesure

10.1 Indication des conditions de mesure

10.1.1 Principe

Les conditions de mesure peuvent être décrites au-dessus du cartouche et sous forme d'un tableau sous le titre « Conditions de mesure : ».

Les indications au-dessus du tableau sont les conditions générales de mesure. Elles s'appliquent à toutes les spécifications avec ou sans indication de conditions de mesure, sauf indication contraire dans le tableau.

10.1.2 Indication de l'éloignement de mesure

Par défaut, toutes les surfaces sont identifiées jusqu'à 0,5 mm de l'arête réelle de la face. Cet éloignement limite l'étendue des surfaces spécifiées ou des éléments de références pour s'écarter des défauts des arêtes (voir 8.2)

Cette valeur peut être modulée dans les conditions de mesure.

Exemple d'indication : Mesure jusqu'à 1mm des arêtes

Il est possible d'imposer un tableau dont les valeurs sont libres, en fonction de la plus grande dimension de la face :

Exemple d'indication :

Conditions de mesure :

Plus grande dimension de la face :	<10	[10-50[≥ 200
Eloignement	0,2	0,5	2

Figure 120 - Eloignement des mesures par rapport aux arêtes

Si une face particulière de la pièce nécessite une valeur spécifique d'éloignement, l'éloignement peut être défini dans les conditions de mesure.

10.1.3 Indication du filtrage

Il est possible d'imposer un filtrage pour toutes les surfaces dans les conditions de mesure.
Par défaut, le filtrage est supposé réalisé avec un palpeur de rayon mini 0,5 mm ou par un dispositif équivalent.

Ce rayon peut être modulé dans les conditions de mesure.

Exemple d'indication :

Mesure avec un palpeur sphérique de rayon 2mm mini.

Il est possible de définir tout type de filtrage..

Si une face particulière de la pièce nécessite un filtrage spécifique, ce filtrage peut être défini dans les conditions de mesure.

10.2 Mise en position de la pièce pour la mesure

10.2.1 Principe

Par défaut, la pièce est mesurée à l'état libre, simplement posée sur le moyen de mesure sans déformation. Si besoin ces conditions de mesure sont indiquées par Ⓢ ,

Des conditions de mesures spécifiques peuvent être imposées : mise en position particulière de la pièce, conditions de température ou de pression, densité de points, filtrage particulier ou mesure plus ou moins près des arêtes.

REGLE : les pièces peuvent être soumises plusieurs cotations :

- Toutes les spécifications avec le symbole Ⓢ sont à vérifier dans les conditions à l'état libre.
- Toutes les spécifications sans indication Ⓢ sont à vérifier dans les conditions par défaut : sauf indication contraire, les conditions par défaut sont les conditions définies par Ⓢ .
- Toutes les spécifications avec le symbole Ⓢ à droite de la spécification, impose à la pièce les conditions de mesure décrites au-dessus du cartouche.

Dans la Figure 121, la spécification (1) est à vérifier dans les conditions par défaut. La spécification (2) est à vérifier en respectant le protocole décrit dans les conditions de mesure Ⓢ . La spécification (3) est à vérifier à l'état libre et à l'état contraint Ⓢ . La référence F (4) est à identifier avec les conditions de mesure

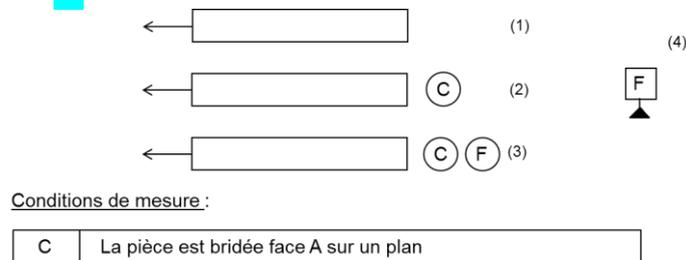


Figure 121 - Indication d'une condition de mesure

NOTE : Les conditions de mesure peuvent être multi physiques (déplacement imposé, effort imposé, pression, température...).

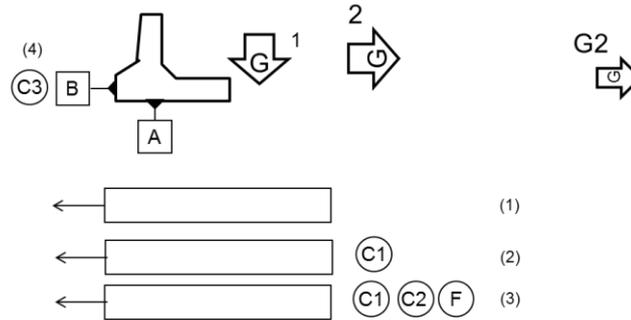
10.2.2 Conditions de mesure multiples

S'il y a plusieurs conditions de mesure, les conditions sont numérotées sous la forme C1, C2. Le nota à droite de la spécification précise la liste des conditions de mesure pour lesquelles la spécification doit être vérifiée. Cette liste peut comporter le symbole Ⓢ pour désigner l'état libre.

Le symbole « gravité » composé d'une flèche et de la lettre G peut être indiqué dans le modèle nominal pour imposer l'orientation de la pièce par rapport à la gravité (La flèche pointe vers le centre de la terre). Si plusieurs orientations sont demandées, les flèches respectives sont notées 1, 2...

Dans la Figure 122, les indicateurs de gravité G1 et G2 sont représentés dans le modèle nominal. La spécification (1) est à vérifier à l'état libre. La spécification (2) est à vérifier en respectant le protocole décrit dans les conditions de mesure C1. La spécification (3) est à vérifier 3 fois, respectivement avec les deux protocoles de mesure C1 et C2, ainsi qu'à l'état libre.

La référence B (4) doit être identifiée avec le protocole C3.



Conditions de mesure :

C1	la pièce est orientée selon la direction G1. Elle est bridée face A sur un plan.
C2	la pièce est orientée selon la direction G2. Elle est bridée face A sur un plan.
C3	Mesure jusqu'à 2 mm des arêtes

Figure 122 – Indication de conditions de mesure multiples

NOTE 2 : Le procès-verbal de mesure doit présenter le résultat de mesure d'une spécification pour chacune des conditions de mesure. Si le métrologue estime que le résultat ne sera pas influencé et ne fait pas toutes les mesures, le procès-verbal doit impérativement indiquer les conditions de mesure utilisée pour chaque résultat.

10.2.3 Tableau des conditions de mesure

Les conditions de mesure peuvent être structurées sous forme d'un tableau.

Les indications au-dessus du tableau s'appliquent à toutes les spécifications avec ou sans indication de conditions de mesure, sauf indication contraire dans le tableau

Les différentes lignes C1, C2, etc indiquent les conditions de mesure spécifiques.

Les conditions de mesure sur la ligne F précise les conditions de mesure à l'état libre. Elles ne doivent pas imposer de contraintes à la pièce, mais peuvent imposer des conditions annexes telles que le filtrage par exemple. Cette ligne est facultative s'il n'y a pas de condition particulière

Lorsqu'il y a un grand nombre de conditions de mesure (pression, température, effort, mise en positions), le L'indication Ci peut regrouper plusieurs conditions de mesure indiquée sous forme d'une matrice.

Dans la Figure 123, l'indication C5 impose la vérification des spécifications pour chacune des 3 conditions de mesure C1, C2 et C3.

Conditions de mesure :

Mesure avec palpeur de rayon mini 2mm, jusqu'à 1 mm des arêtes des faces

	C5	C6	C7	C8	
F					Pièce orientée selon la direction de gravité G1
C1	x				la pièce est bridée face A sur un plan, pression 30 bars
C2	x	x	x	x	la pièce est bridée face A sur un plan, pression 12 bars
C3	x	x	x		la pièce est bridée face B sur un plan, température 20°
C4		x	x		la pièce est bridée face B sur un plan, température 80°

Figure 123 - Matrice des conditions de mesure

Si nécessaire, les conditions de mesure par défaut peuvent être décrites en ajoutant une ligne dans le tableau, éventuellement en imposant des contraintes. Toutes les spécifications sans nota  ou  sont à vérifier dans ces conditions.

Par défaut	la pièce est bridée face B sur un plan avec 8 vis CHc M10
------------	---

Figure 124 - Condition de mesure par défaut spécifique

10.2.4 Pièce symétrique

Lorsqu'une pièce est parfaitement symétrique, sans indication contraire, toutes les spécifications doivent être vérifiées dans une seule des positions possible (la même position pour toutes les spécifications).

NOTE 1 : Un détrompeur peut être marqué sur la pièce avec un feutre pour indiquer le sens de conformité et de montage. Il peut être demandé au monteur de respecter cette orientation ou de retourner la pièce en cas de difficulté d'assemblage.

Dans le cas contraire, les conditions de mesures doivent indiquer le protocole de mesure (Figure 125).

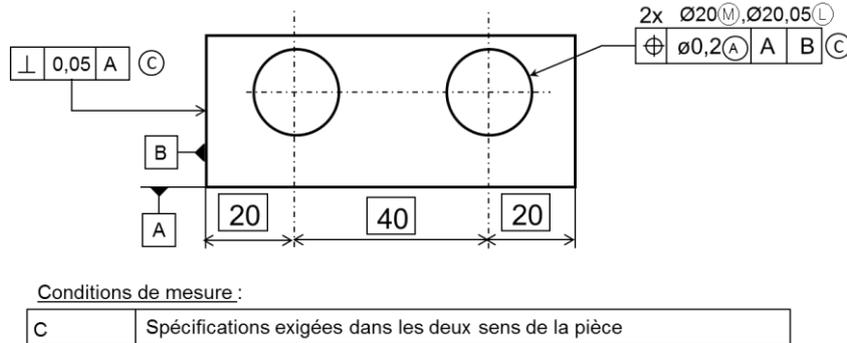


Figure 125 - Pièce symétrique

Cette indication peut être placée au-dessus du tableau si elle s'applique à toutes les spécifications.

NOTE 2 : Cette règle ne concerne pas les pièces de révolution avec un nombre infini de positions angulaires. La cotation doit prendre en compte la mobilité en rotation.

10.3 Pièce flexible

10.3.1 Définition des conditions de mesure

Le cas d'usage typique est une pièce peu rigide (ex : tube fin, pièce emboutie...) qui peut être livrée «tordue ou voilée» avec des défauts assez importants. Par contre, lors de son assemblage dans le mécanisme, cette pièce sera redressée. C'est dans ces conditions qu'elle devra assurer le bon fonctionnement du mécanisme et respecter la définition de la pièce.

La mesure est donc réalisée selon des conditions particulières qui reproduisent autant que possible la situation de la pièce en fonctionnement.

Pour limiter les contraintes lors du redressage, la pièce livrée doit également respecter des spécifications à « l'état libre ».

La Figure 126a présente une pièce peu épaisse et déformable.

Les spécifications (1) et (2) sont mesurées à l'état libre.

La spécification (3) est mesurée selon les conditions de mesure indiquées dans le cartouche. La pièce doit donc être mesurée fixée sur un montage de contrôle (Figure 126b). Le système de références A|B est construit sur le montage de contrôle avant de fixer la pièce.

New

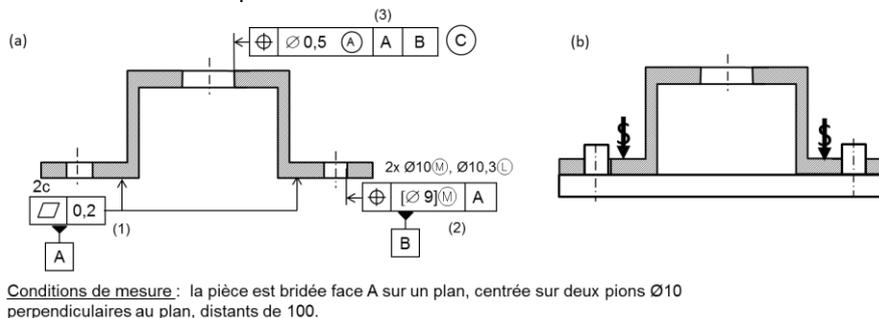


Figure 126 – Cotation d'une pièce peu rigide.

Les appuis peuvent être ponctuels et hyperstatiques. Les zones partielles peuvent être utilisées pour désigner les points de contact avec le montage de contrôle.

Dans la Figure 127, la spécification est mesurée selon les conditions de mesure C1 correspondant au montage Figure 127b, puis selon les conditions de mesure C2 correspondant au montage Figure 127c.

NOTE : Le système de références A|B est construit sur le montage de contrôle avant de fixer la pièce.

New

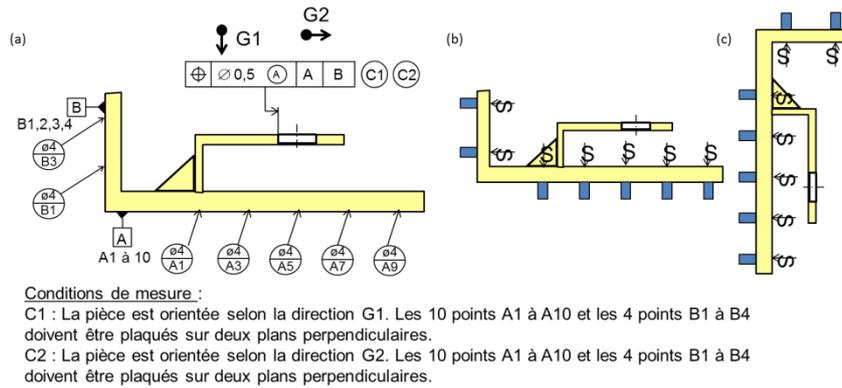


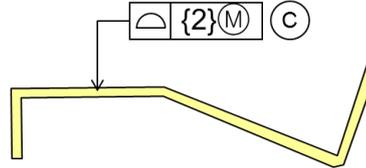
Figure 127 - Condition de mesure hyperstatique

10.3.2 Mesure « 0 » gravité

Pour certaines pièces longues, les conditions de mesures « 0 gravité » peuvent être envisagées. Cette mesure peut être approchée de diverses manières :

- Mesure par retournement de la pièce
- Par compensation de la déformation calculée par un logiciel de résistance de matériaux.

Dans la Figure 128, le tube est très déformable. Il faut le comparer au modèle nominal en compensant la gravité.



Conditions de mesure : mesure "0 gravité" par retournement

Figure 128 - Tube à mesurer en "0 gravité"

La Figure 129 illustre la technique de mesure. La pièce est fixée sur un montage isostatique 6 points avec un bridage ponctuel en face de chaque appui, pour limiter les contraintes. Chaque point de la pièce est mesuré dans le repère xyz dans les deux positions par retournement. La neutralisation de la gravité est obtenue en calculant le point moyen.

(Les déformations dues aux efforts de bridages doivent être minimisées car elles ne sont pas compensées).

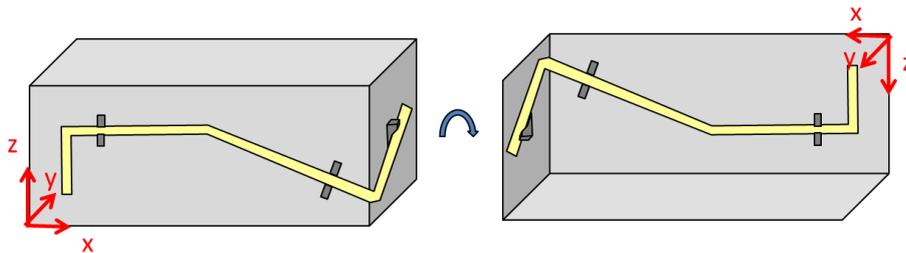


Figure 129 - Montage de compensation de la gravité par retournement

10.4 Redressement numérique

Définition : La pièce est mesurée à l'état libre. Le redressement numérique consiste à appliquer un champ de déplacements au nuage de points mesurés.

Le champ de déplacement et la fonction objectif sont décrits dans les conditions de mesure.

NOTE : Le redressement numérique peut être appliqué lorsqu'une pièce est déformable selon des modèles assez simples par exemple, une flèche ou un vrillage hélicoïdal, avec un nombre restreint de paramètres à déterminer en fonction de l'objectif du redressement. Le champ de déplacement peut aussi être imposé par un modèle élément fini, par exemple pour compenser les effets de la gravité.

La Figure 130a présente un profilé nominale rectiligne. La pièce réelle peut être vrillée (Figure 130b). La modèle de déformation est une hélice à pas constant avec un angle α sur la longueur L de la pièce (Figure 130c). L'objectif est de déterminer pour chaque pièce l'angle de vrillage α . En appliquant au nuage de points un vrillage

inverse, on obtient les écarts résiduels qui mettent en évidence les défauts locaux (Figure 130d) et permettent de vérifier l'ensemble des spécifications.

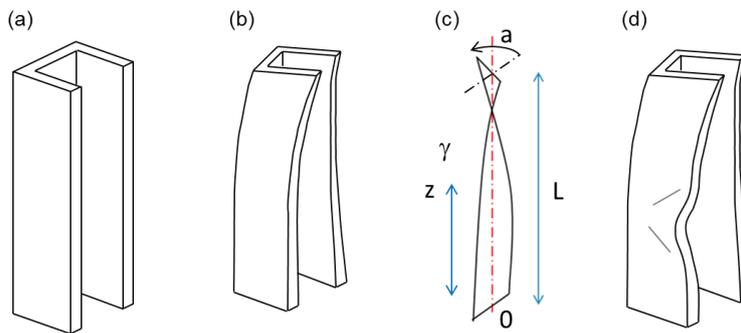


Figure 130 - Principe du redressage numérique

La cotation impose de définir un repère pour exprimer le champ de déplacement.

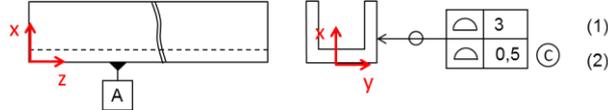
La Figure 131 représente un profilé de longueur $L=200$ mm. Les points M_i sont mesurés à l'état libre.

Les points du contour extérieur doivent respecter la spécification (1).

Les points du plan A sont isolés. Le balançage du plan est réalisé en ajoutant le champ de déplacement avec le critère des moindres carrés. Le paramètre a s'ajoute à la liste des inconnues du balançage.

La valeur d'angle d'hélice ainsi calculé caractérise la forme générale de la pièce.

Le champ de déplacement inverse est appliqué à tous les points de la pièce. Le nouveau nuage de points permet d'analyser toutes les spécifications mentionnant les conditions de mesure \odot , comme la spécification (2).



Conditions de mesure :

C1 : redressage numérique des points $M_i(x_i, y_i, z_i)$ de la pièce selon la relation :
 $dx_i = -a \cdot y_i \cdot z_i / 200$ et $dy_i = a \cdot x_i \cdot z_i / 200$ $dz_i = 0$.

L'angle a est déterminé pour minimiser la somme $S = \sum e_i^2$ pour tous les points M_i de la surface A (e_i est l'écart du point redressé $M'_i(x_i+dx_i, y_i+dy_i, z_i)$ au plan associé).

Figure 131 - Spécification avec un redressage numérique

10.5 Définition des conditions de contraintes

Il est possible d'appliquer un effort, une pression sur le mécanisme ou d'imposer un déplacement. Ces notions sont développées en partie 4 pour la spécification des mécanismes.

11. Représentation des spécifications

11.1 Représentation en tableau

Le modèle nominal doit comporter toutes les désignations des surfaces, les surfaces de construction, les zones partielles. Les spécifications étant indépendantes, elles peuvent être placées dans un tableau et triées dans un ordre quelconque.

NOTE 1 : seulement une partie des spécifications peuvent être reportées dans le tableau.

Le tableau est construit avec une spécification par ligne et les rubriques suivantes :

- Surface spécifiée : liste des repères de référence de la surface spécifiée indiquée sur le modèle nominal. Il peut y avoir plusieurs repères. Chaque surface doit être parfaitement identifiée sur le modèle nominal.
- Nombre d'éléments : indication du nombre d'éléments dans la collection n_x ; n_c , n_r , \odot , \circ .
- Etendue, partition : toutes les indications permettant de définir l'élément spécifié pour limiter ou fractionner l'étendue de la surface indiquée en colonne repère. (copie des informations habituellement au-dessus ou à droite de la spécification)
- Spécification : cadre de tolérance et annotation complémentaire
- Conditions de mesure : par défaut, la condition de mesure est à l'état libre. Sinon, liste des conditions de mesure à appliquer.
- Commentaire : information autre que la définition de l'élément spécifié

Spécifications complémentaires :

Surface spécifiée	Nombre d'éléments	Etendue, partition	Spécification	Conditions de mesure	Commentaire
A	4x	P→Q			
B			$\varnothing 30$ (M)		
C		C1,2			
C		C1,2		(C)	

Surface C limitée aux zones A1 et A2

Cadre de tolérance et plan d'annotation

Indication au dessus ou à droite du cadre de tolérance

Conditions de mesure :

C : Bridage en appui plan sur D.

Figure 132 - Représentation des spécifications en tableau

NOTE 2 : dans le cas d'une spécification portant sur une zone partielle, la colonne 1 « Surface spécifiée » désigne la surface support (un cylindre par exemple), alors que l'élément spécifié est limitée à une zone partielle (surfacique, linéique ou ponctuelle).

NOTE 3 : cette écriture élimine la possibilité de désigner une surface sous le cadre de tolérance. Cette limitation peut être compensée en reliant le cadre de référence à l'ensemble des surfaces par plusieurs flèches, en définissant des zones partielles avec le même nom ou en utilisant des références communes.

NOTE 4 : ce tableau peut être complété selon les besoins de l'entreprise, par exemple en indiquant le groupe fonctionnel spécifié, l'indice de criticité, la défaillance pouvant se produire en cas de non-respect de la spécification, les protocoles de contrôle statistique, etc..

NOTE 5 : Cette notation allège considérablement tous les dessins en évitant de faire des vues partielles. L'exploitation est aussi très pratique pour les différents métiers, en particulier les méthodes et le contrôle. L'affichage du tableau avec différents critères de tri, en particulier en fonction du groupe fonctionnel peut être très pratique.

11.2 Tableau des systèmes de références

De nombreuses spécifications sont définies par rapport au même système de références. Dans ce cas, le système peut être décrit une seule fois dans un tableau au-dessus du cartouche. Chaque système est nommé sous la forme DSxx (Datum System), xx étant le numéro du système de référence (Figure 133a).

REGLE : Les spécifications utilisant ce système (Figure 133b) sont écrites en substituant le système de références par son nom (Figure 133c).

Le système de références peut être réduit en indiquant le nombre de références après le /.

DS1 : système de références complet

DS1/1 : uniquement la référence primaire du système DS1

DS1/2 : Système de références construit uniquement avec la référence primaire et la référence secondaire

Si le tableau comporte des annotations complémentaires, ces annotations sont également propagées à toutes les spécifications.

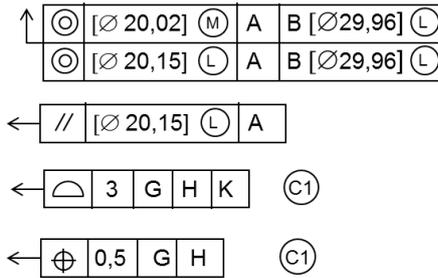
NOTE 1 : Cette notation ne fait que simplifier l'écriture. Les systèmes de références de chaque spécification sont indépendants les uns des autres, en particulier si le système de références laisse une mobilité résiduelle ou du flottement.

NOTE 2 : Les indicateur de déplacement de repère peuvent être inclus dans le tableau

(a) Systèmes de références

Nom du système	Description	Commentaire
DS1	A B [Ø29,96] (L)	
DS2	D E Ø0,05 (P)	
DS3	G H K (C1)	
DS4	⊕ [Ø0,2] (A) A B >< ⊥ P F	

(b)



(c)

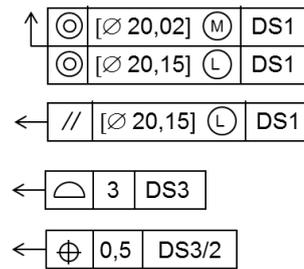


Figure 133 - Nom des systèmes de références

NOTE 3 : Cette notation permet principalement d'alléger l'écriture des spécifications. Il est alors très facile de modifier la valeur de la tolérance sur la référence dans le tableau. La modification est directement propagée à toutes les spécifications.

NOTE 4 : Cette notation des systèmes de références peut être exploitée dans un tableau de spécification (voir 11.1)

11.3 Hiérarchisation des caractéristiques

11.3.1 Caractéristiques produits

Définition : l'indicateur de hiérarchisation produit d'une caractéristique indique la criticité d'une spécification pour information.

- Indice 1 : Défaut pouvant entraîner la non montabilité du produit, affecter la sécurité de l'utilisateur ou une panne bloquant le produit.
- Indice 2 : Défaut tel qu'il peut entraîner le refus de prise en main du produit par le client ou entraînant une réparation lourde.
- Indice 3 : Défaut justifiant une réparation assez aisée ou non immédiate
- Indice 4 : Défaut non perçu ou admis par le client, n'entraînant pas de réparation.

NOTE 1 : l'indicateur de hiérarchisation n'a aucun rôle contractuel implicite. Il n'autorise en aucun cas une non-conformité de chaque pièce. Cette information peut être exploitée par les processus de dérogation.

NOTE 2 : la règle d'attribution de l'indice peut être adaptée par l'entreprise aux besoins du produit.

Sur les dessins de définition, l'indice de hiérarchisation sera placé à droite de chaque spécification. Il indique l'indice de criticité le plus faible de toutes les exigences impactées en cas de non-respect de la spécification. La criticité n'est pas forcément la même lorsque les limites maxi matière ou mini matière sont dépassées.



Figure 134 - Représentation de l'indice de hiérarchisation

Cet indice de hiérarchisation servira au gammiste pour déterminer la capacité nécessaire pour le moyen de production. Les spécifications d'indice 1 seront traitées avec beaucoup d'attention. Elles seront souvent placées sous contrôle à 100%. Les exigences d'indice plus faibles seront traitées plus rapidement, mais les spécifications doivent également être respectées mais avec un contrôle allégé.

11.3.2 Caractéristiques produit-process

Un indice de hiérarchisation process peut être ajouté sur les dessins de phase en fonction de l'indice de hiérarchisation produit et de la capacité du moyen de production.

La capacité du moyen de production peut être variable dans le temps suivant les réglages.

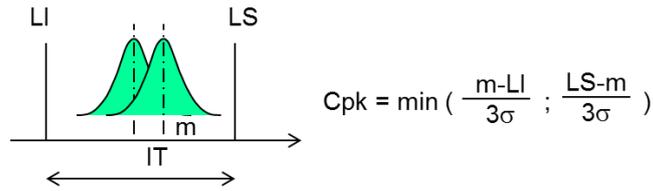


Figure 135 - Capacité du processus

Si le processus est stable, et si le moyen de production est très capable, il est possible d'alléger les contrôles. L'indice de hiérarchisation process peut être ajouté à droite de l'indice de hiérarchisation produit. Cet indice impacte directement le mode de surveillance de la production.

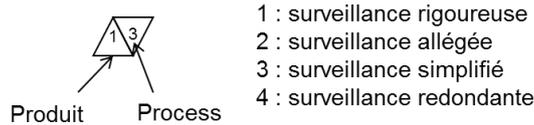


Figure 136 - Hiérarchisations produit-process

A titre d'exemple :

- Indice 1 : contrôle à 100%
- Indice 2 : contrôle toutes les 50 pièces.
- Indice 3 : contrôle périodique simplifié avec un moyen élémentaire pour détecter un incident de production.

L'indice 4 correspond par exemple à l'usinage de plusieurs surfaces par le même outil. Il suffit de valider le bon réglage de l'outil sur la surface ayant la tolérance la plus sévère. Les autres spécifications seront alors implicitement respectées. Il n'est pas nécessaire de faire un contrôle.

Dans tous les cas, le contrôle périodique hebdomadaire par exemple, porte sur l'ensemble des spécifications, quels que soient les indices process.

NOTE : En cas de redondance, il ne faut pas supprimer la spécification de fabrication du dessin de phase, car en cas d'incident, il faut clairement vérifier le respect ou non de la tolérance, pour permettre par exemple de faire si nécessaire une retouche sur la pièce.

L'indice process peut être déterminé à l'aide du diagramme suivant, en fonction de l'indice produit et de la capacité observée en production.

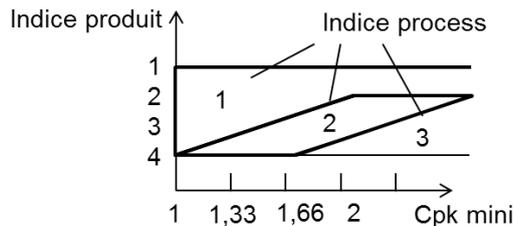


Figure 137 - Exemple de règle de choix de l'indice process

11.4 Modèle de données

La Figure 138 représente la répétition pour 2 motifs, d'un groupe de 3 éléments. Chaque élément est obtenu par concaténation de 2 alésages coaxiaux.

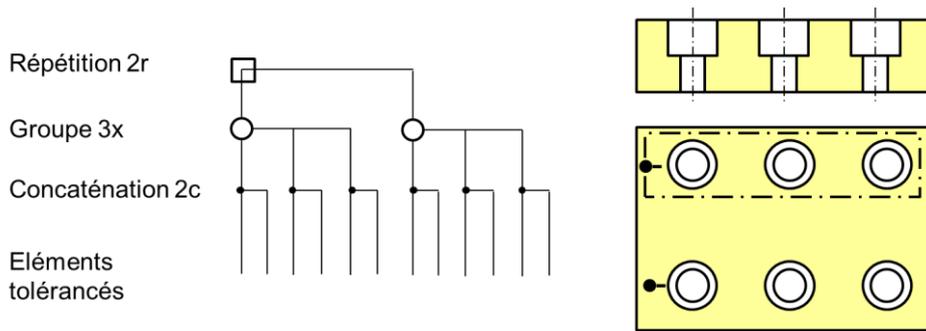


Figure 138 - Collection des éléments tolérancés

Les éléments tolérancés sont définis avec des opérations appliquées à des surfaces spécifiées.

La Figure 139 illustre quelques cas :

- (a) L'élément tolérancé est directement le plan spécifié
- (b) L'élément tolérancé est l'entité formée de deux plans pour une spécification au maximum de matière
- (c) L'élément tolérancé est l'axe réel de l'entité cylindrique formée par deux demi-cylindres constituant une seule surface.
- (d) L'élément tolérancé est la surface médiane de l'entité formée par deux plans.
- (e) L'élément tolérancé est l'axe conventionnel de l'entité formée par 4 cylindres
- (f) L'élément tolérancé est l'axe du cylindre associé au cylindre spécifié dans la plage projetée
- (g) L'élément tolérancé est l'axe du cylindre associé à l'entité formée par 2 cylindres spécifiés coaxiaux dans la plage projetée
- (h) L'élément tolérancé est l'axe de l'élément de contact cylindrique posé sur les 2 plans.

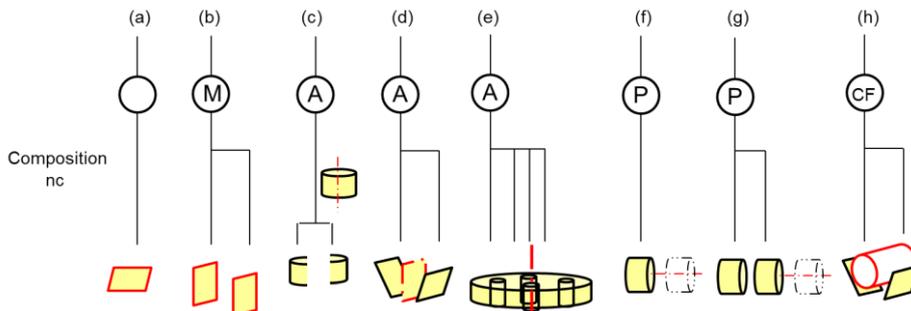


Figure 139 - Description des éléments tolérancés

La surface spécifiée décrite en bas de la Figure 139 permet d'identifier la nature de la surface, sa composition, ses paramètres intrinsèques (rayon) et sa position dans le repère nominal. Cette surface spécifiée peut être la surface complète ou un ensemble de surfaces restreintes de cette surface (Figure 140) :

- (a) La surface complète
- (b) Une ou plusieurs zones partielles
- (c) Une ou plusieurs zones partielles glissantes entre 2 limites.
- (d) Une zone partielle définie sur l'entité formée par plusieurs surfaces

NOTE : Il est important de pouvoir identifier à quelle surface support appartient une zone partielle.

Dans le cas (d), la zone partielle peut être obtenue comme intersection d'un contour projeté sur une entité constituée de plusieurs surfaces.

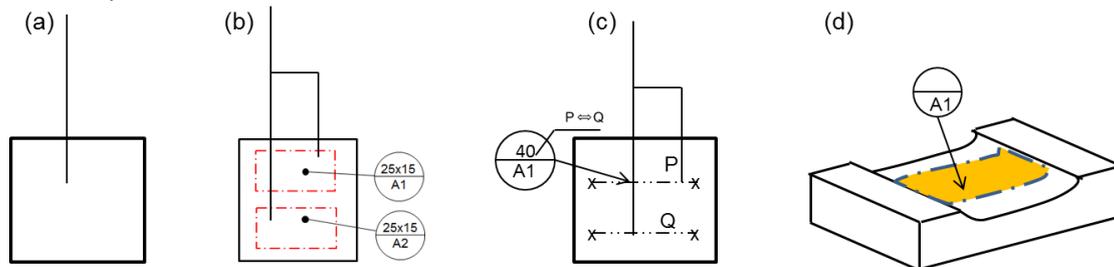


Figure 140 - Description des zones partielles

Annexe B : Applications

Spécifications complémentaires

SOMMAIRE

1.	Spécifications sous conditions de mesure	2
1.1	Spécification à l'état libre et sous condition de mesure.....	2
1.2	Référence définie sur les appuis.....	2
1.3	Référence définie hors des appuis.....	3
1.4	Spécification d'une tubulure sous conditions de mesure.....	3
2.	Zones partielles particulières	4
2.1	Spécification sur une zone glissante	4
2.2	Tronçon sur une surface complexe	5
2.3	Tronçon glissant suivant un axe non rectiligne	7
2.4	Spécification d'une ligne de crête.....	8
3.	Orientation d'un groupe de trous	8
3.1	Principe de cotation.....	8
3.2	Orientation d'un groupe de 2 entités en zone projetée.....	9
4.	Tolérancement général	10
4.1	Problématique	10
4.2	Optimisation du tolérancement général.....	11
4.3	Tolérancement des surfaces complexes	14
5.	Spécification des gorges.....	18
5.1	Position axiale d'une gorge à flancs droits	18
5.2	Battement et position d'une gorge à flancs inclinés	18
5.3	Position d'une gorge pour joint torique.....	19
5.4	Rainure de clavette	20
6.	Battement hors axe.....	20
7.	Orientation du système de références par la surface spécifiée	21
8.	Axe d'un groupe de trous.....	21
9.	Décentrage de la zone de tolérance	22
9.1	Décentrage d'une zone de tolérance	22
9.2	Décalage d'une surface nominale	23
9.3	Décentrage de toutes les zones de tolérance	24
10.	Répétition.....	24
10.1	Principe de répétition	24
10.2	Répétition avec surfaces composées.....	25
10.3	Constitution d'une référence commune sur des éléments de motifs	25
11.	Représentation des spécifications en tableaux.....	26
11.1	Principe	26
11.2	Cotation avec zone projetée	26

1. Spécifications sous conditions de mesure

1.1 Spécification à l'état libre et sous condition de mesure.

Les spécifications sans indication © ou avec l'indication (F) sont à contrôler à l'état libre.

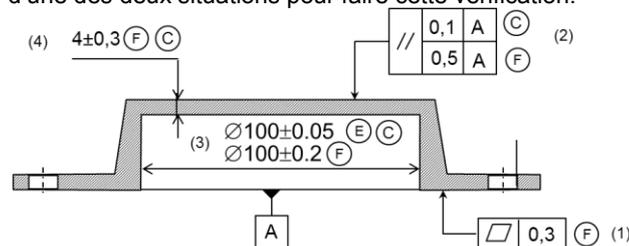
Les spécifications avec © sont à vérifier lorsque la pièce est dans les conditions de mesure fixées dans le cartouche.

NOTE : l'indication (F) est facultative si elle est seule. Le (F) seul permet de faciliter la lecture et d'enlever tous les doutes d'interprétation du dessin.

La planéité (1) est vérifiée à l'état libre.

Pour la spécification (2) dans les conditions de mesure, la référence A doit être établie sur le montage de mesure (les surfaces réelles ne sont plus accessibles lorsque la pièce est plaquée dans le montage).

La spécification d'épaisseur (4) doit être respectée dans l'état libre et dans l'état contraint. En pratique, cette épaisseur n'a aucune raison de changer. Le concepteur pourrait n'imposer qu'une seule vérification. Le métrologue peut aussi choisir d'une des deux situations pour faire cette vérification.



Conditions de mesure :

La pièce est plaquée face A sur un marbre avec 8 vis M6 placées dans les 8 trous périphériques. Le couple de serrage des vis est de 10 Nm.

Figure 1 - Spécifications dans les conditions de mesure et à l'état libre

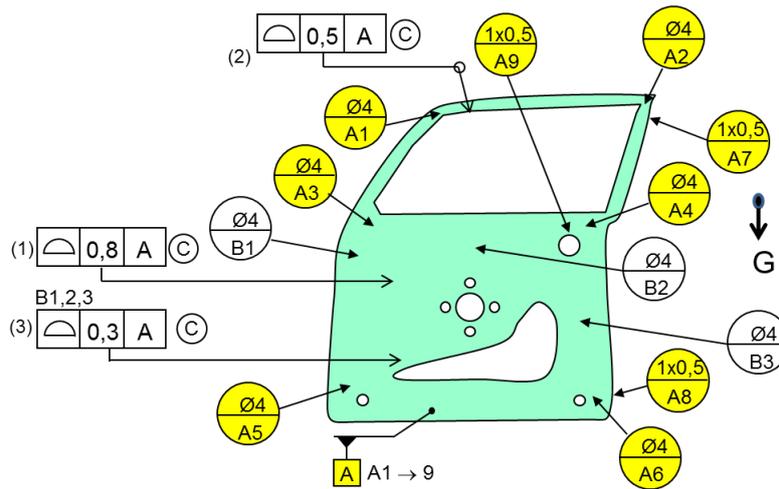
1.2 Référence définie sur les appuis

Dans cette Figure 2, la pièce doit être fixée de sorte que les 9 points A1 à A9 soient en positions nominales, par exemple en serrant la pièce sur un montage avec ces 9 points d'appui. (Ces 9 points redressent la pièce pour la rapprocher de sa forme nominale). De plus la pièce doit être orientée de sorte que le vecteur G indiqué dans le modèle nominal soit placé en position verticale.

NOTE 1 : Il est impossible de garantir que tous les points de chaque zone de contact Ø4 soient en position nominale, mais l'approximation est suffisante. Il serait possible de définir des appuis ponctuels, mais il devient difficile d'assurer un serrage sans générer de couple si l'effort n'est pas rigoureusement « en face » de l'appui.

La référence A bloque tous les degrés de liberté. Le modèle nominal A est associée directement aux faces d'appui du montage par les moindres carrés, avant installation de la pièce.

- La spécification de position (1) localise l'ensemble de la surface de la porte par rapport à A.
- La spécification de position (2) localise le contour intérieur de la porte par rapport à A.
- La spécification de position (3) localise uniquement quelques points de mesure au voisinage des points B1, B2 et B3.



Conditions de mesure : zones A1 à A9 en position nominale.
La pièce doit être orientée selon la gravité G.

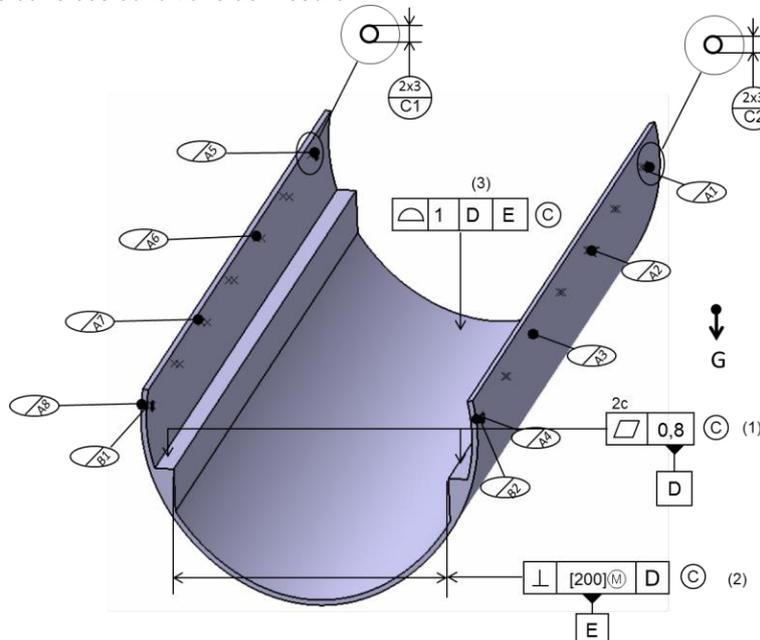
Figure 2 - Spécifications avec conditions de mesure

1.3 Référence définie hors des appuis

La barque représentée Figure 3 est déformable. Elle doit donc être mise en forme soit par appui dans un montage, soit par des actionneurs permettant de redresser l'ensemble de sorte que les conditions de mesure soient respectées. Schématiquement, les zones A1 à A8 imposent la rectitude de deux lignes sur les côtés de la pièce et leur écartement. Les deux zones partielles B1 et C1 se comportent comme une liaison centreur locating. De même pour B2 et C2. Les 4 zones B1, B2, C1 et C2 étant en position nominale, la mise en position est bien complète par rapport à un premier modèle nominal.

Les spécifications (2) et (3) imposent de définir un modèle nominal sur les éléments de références D et E lorsqu'ils sont dans les conditions de mesure.

La planéité en zone commune (1), la cote et perpendicularité (2), la spécification de position de surface complexe doivent être vérifiées dans ces conditions de mesure.



Conditions de mesure : zones partielles A1 à A9, B1, B2, C1, C2 en position nominale.
La pièce doit être orientée selon la gravité G.

Figure 3 - Mise en forme de la pièce sur des zones partielles

1.4 Spécification d'une tubulure sous conditions de mesure

La tubulure Figure 4a est souple, mais sa géométrie n'est pas influencée par la gravité. Lors de son assemblage, les deux calottes sphériques viennent se centrer dans des portées coniques d'angle 110° (Figure 4b) du mécanisme supposé rigide qui imposent une distance nominale de 100mm entre les centres des deux sphères. La tubulure est orientée par le doigt C qui est pincé entre deux lamelles élastiques.

La cotation est effectuée à l'état libre et selon les conditions des mesure.

Les spécifications (1), (2) et (3) sont spécifiées à l'état libre.

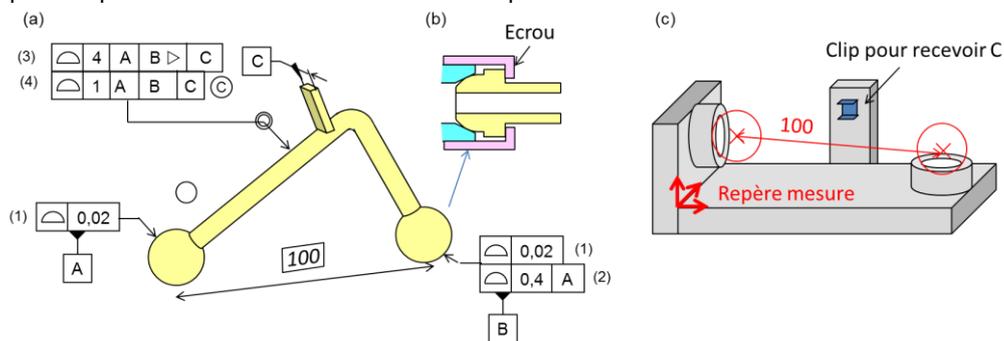
Les spécifications de forme (1) garantissent la qualité du contact de la sphère avec le cône de la pièce voisine.

La spécification de position (2) permet de maîtriser la distance entre les deux sphères, c'est-à-dire l'écart entre la pièce à l'état libre et la pièce assemblée pour limiter la déformation lors de la mise en place de la pièce.

La spécification (3) est construite avec le système de référence A|B|C car la distance de B à A est variable. Cette spécification impose un tolérancement général à l'état libre.

Pour la localisation (4), la pièce doit être mise en position dans un montage de contrôle qui reproduit le mécanisme dans lequel sera montée la pièce. Les éléments de référence étant au contact avec le montage, ils ne sont plus accessibles à la mesure. Le système de références doit être identifié dans un repère mesure avant la mise en place de la pièce en plaçant deux billes de rayon 10 mm dans les portées du montage. Le centre de chaque bille est identifié avec un critère des moindres carrés. Le montage est validé si la distance entre les centres est très proche de la valeur désirée de 100mm (l'écart induit une incertitude de mesure). Ces deux centres des deux billes simulent les références A et B. La référence C peut être identifiée sur le clip ou sur les surfaces C d'une pièce en place dans le montage.

La pièce est bridée dans le montage en contact avec les cônes et en plaçant la surface C dans le clip. Les surfaces spécifiées peuvent alors être identifiées dans le repère mesure.



Conditions de mesure: La pièce est bridée dans 2 cônes d'angle 90° tels que l'entraxe de 2 sphères Ø10 soit 100 mm. Elle est orientée sur C par un clips en position nominale.

Figure 4 - Système de références contraint

2. Zones partielles particulières

2.1 Spécification sur une zone glissante

2.1.1 Spécification dans toutes les directions

La planéité doit être vérifiée sur une zone partielle glissante en tous les points de la surface et dans toutes les direction de la zone partielle, même si l'étendue est incomplète, par exemple pour détecter un défaut local dû à la soudure.

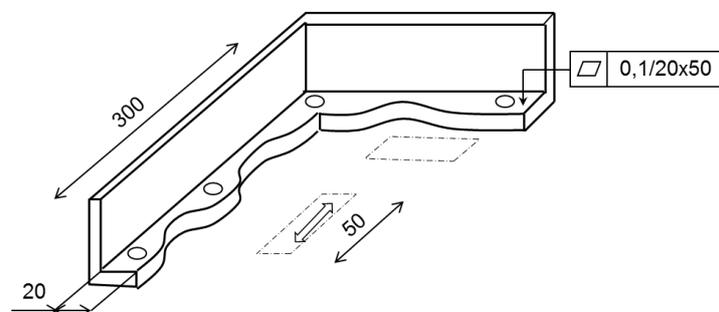


Figure 5 - Spécification sur une zone glissante

2.1.2 Zone plane glissante dans une direction

La Figure 6 comporte une planéité sur une zone partielle glissante. La zone partielle rectangulaire 40x2 est une portion du plan supérieur. La zone partielle est glissante entre les points P et Q, selon une translation de direction PQ. La planéité doit être respectée sur la portion de surface réelle, quelle que soit la position de la zone partielle entre P et Q.

La portion de surface réelle doit pouvoir être placée entre 2 plans parallèles distants de t .

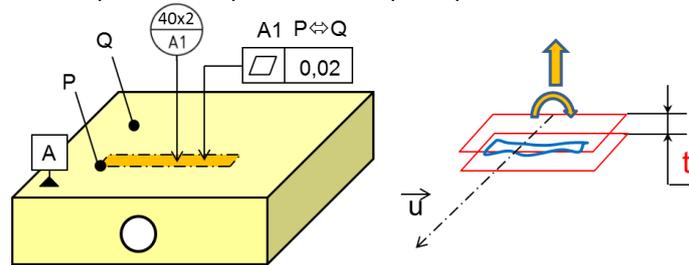


Figure 6 - Zone partielle glissante sur un plan

NOTE 1 : la surface plane seule ne suffit pas pour positionner la zone partielle. Si la spécification comporte un système de références, le modèle nominal est associé à ce système de références. S'il y a des mobilités résiduelles, le modèle nominal de la pièce est associé ensuite à l'ensemble de la surface spécifiée (ici le plan A). S'il y a encore des mobilités résiduelles, le modèle nominal est positionné avec le contour de la surface spécifiée ou toutes autres surfaces de la pièce qui permet de lever l'indétermination.

NOTE 2 : Cette écriture correspond à une spécification de rectitude des lignes lorsque la largeur de la zone partielle tend vers 0.

NOTE 3 : si la largeur de la zone est très faible (voisine du défaut de planéité), il est nécessaire d'associer dans un premier temps la surface plane nominale à l'ensemble de la surface réelle pour définir la zone de tolérance centrée sur ce nominal, entre deux plans distants de t . Pour chaque portion de surface, la zone de tolérance peut être traduite perpendiculairement au plan et orientée uniquement autour de l'axe \vec{u} , pour que la portion de surface soit si possible dans la zone de tolérance.

2.2 Tronçon sur une surface complexe

2.2.1 Tronçon glissant limité par des sections droites

La Figure 7a comporte une spécification de forme apparente sur une zone partielle glissante sur une surface complexe S. Une première zone partielle S1 est définie dans le modèle sur la surface nominale entre 2 plans parallèles de normale \vec{n} distants de 2 mm. Le point P appartient au plan supérieur. Un point Q est défini sur la même surface.

Cette zone partielle définit un tronçon de surface glissant par translation selon la direction \vec{n} .

La zone partielle en Q a été représentée (facultatif). Les limites de la zone sont des plans parallèles aux plans du tronçon en P. Le point Q appartient également au plan supérieur de cette zone partielle.

La spécification de forme comporte le modificateur OZ. La zone de tolérance est définie par rapport à la surface nominale complète. Elle est décentrée d'un offset δ libre. La zone est donc limitée par deux surfaces offsets avec des $\delta + t/2$ et $\delta - t/2$ (Figure 7b).

La difficulté est de caler la position axiale de chaque tronçon. La méthode d'association nécessite deux étapes :

- la surface nominale complète comprise entre P et Q est associée par les moindres carrés à la surface réelle. Pour une spécification avec référence, cette association est effectuée en respectant ce système de références.
- Pour chaque tronçon, la zone de tolérance complète peut être traduite dans le plan perpendiculaire à \vec{n} et orientée autour de \vec{n} , la valeur de δ peut être déterminée pour que la portion de surface réelle appartenant au tronçon soit si possible dans la zone de tolérance.

NOTE 1 : cette technique évite des décalages dans la direction \vec{n} entre la portion de surface réelle mesurée et la partie de la surface nominale qui définit la zone de tolérance.

NOTE 2 : si la distance entre P et Q est trop faible pour réaliser la première association et définir la direction \vec{n} , il peut être nécessaire d'étendre la zone à la totalité de la surface.

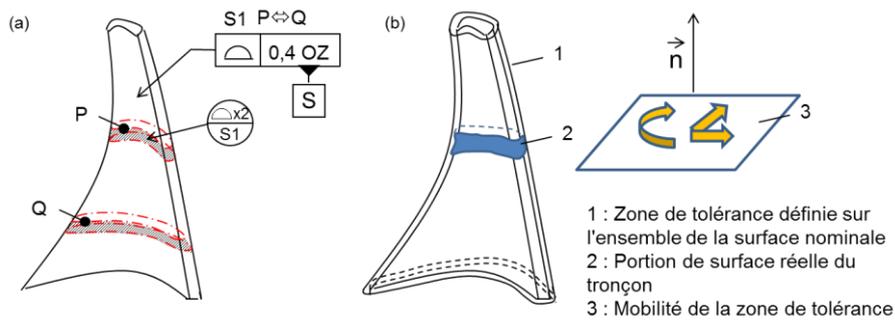


Figure 7 - Défaut de forme apparent glissant

NOTE : Cette écriture correspond sensiblement à une spécification de forme apparente de ligne quelconque lorsque la largeur de la zone partielle tend vers 0.

2.2.2 Tronçon fixe limité par deux surfaces quelconques

Dans la Figure 8, le tronçon S1 est limité par deux courbes appartenant à la surface nominale S. Un trait d'axe défini l'axe de la surface S (avec le nota S[AL] signifiant « axe linéique de S »). La difficulté est de caler la surface partielle dans la direction axiale de l'aube.

Le contrôle nécessite trois étapes :

- La surface nominale S complète est associée à la surface réelle, ce qui donne la position de l'axe conventionnel noté S[AL] (axe linéique de S de direction \vec{n}).
- La zone partielle est alors positionnée sur la surface nominale associée, ce qui permet d'identifier les points de la surface réelle qui sont dans cette zone partielle.
- Pour chaque tronçon, la zone de tolérance complète peut être translatée dans le plan perpendiculaire à \vec{n} et orientée autour de \vec{n} pour que la portion de surface réelle appartenant au tronçon soit si possible dans la zone de tolérance.

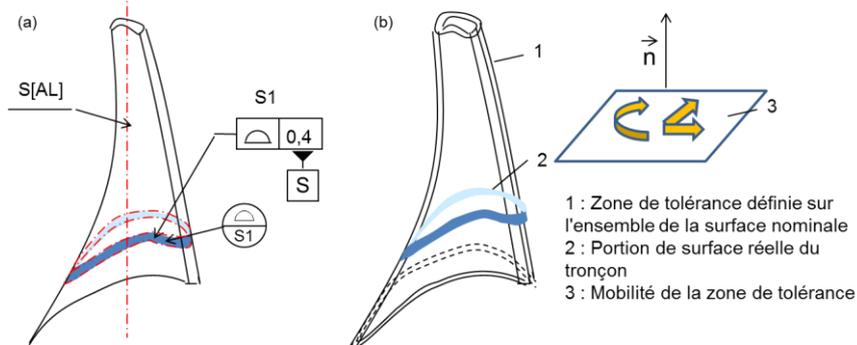


Figure 8 - Défaut de forme d'une ligne d'écoulement

2.2.3 Répétition de tronçons limités par des surfaces quelconques

La Figure 9 comporte 4 tronçons limités par 5 courbes. Les tronçons sont désignés comme des zones partielles par les lettres S1 à S4.

La spécification de forme est répétée pour chacun des 4 tronçons.

La signification est identique à la Figure 8. L'association est indépendante dans chaque tronçon.

NOTE : Les lignes courbes séparatrices des zones partielles peuvent être issues par exemple d'un calcul aérodynamique et peuvent être différentes des lignes iso paramétriques de la surface en en CAO.

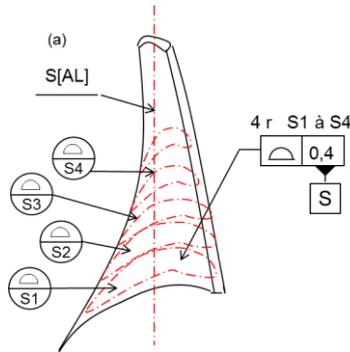


Figure 9 - Répétition sur une spécification de forme

2.2.4 Tronçon glissant limité par deux surfaces quelconques

La Figure 10 illustre un tronçon glissant entre les deux sections P définies par deux courbes passant respectivement par les points P et Q.

La surface doit être paramétrée pour pouvoir définir toutes les courbes iso paramétriques entre P et Q.

La largeur du tronçon est fixée à 2 mm. Cette largeur est défini par la différence d'abscisse curviligne le long de la courbe reliant les points P et Q.

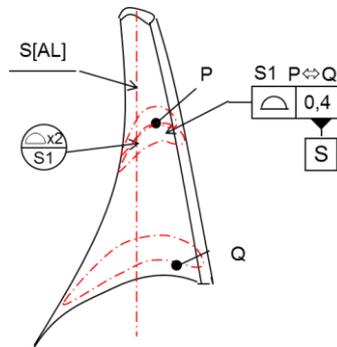


Figure 10 - Tronçon quelconque glissant

2.3 Tronçon glissant suivant un axe non rectiligne

La Figure 11a comporte un défaut de forme sur une zone partielle glissante dont chaque section est de révolution autour d'un axe non rectiligne. Une première zone partielle est définie dans le modèle sur la surface nominale La ligne P est un cercle perpendiculaire à l'axe. La ligne Q est également un cercle perpendiculaire à l'axe. La spécification de forme porte sur un tronçon de largeur 2mm glissant entre P et Q.

Chaque tronçon est défini par deux points de l'axe distant de 2mm, selon l'abscisse curviligne. Le tronçon est limité par deux plans perpendiculaires à l'axe en chaque point. La direction \vec{n} est la direction de l'axe au centre du tronçon (Figure 11b).

La zone de tolérance est définie par rapport à la surface nominale complète. Elle est limitée par deux surfaces offsets avec des $t/2$ et $-t/2$.

Pour chaque tronçon, la zone de tolérance complète peut être translatée dans le plan perpendiculaire à \vec{n} pour que la portion de surface réelle appartenant au tronçon soit si possible dans la zone de tolérance (Figure 11c).

NOTE : En pratique, la définition des tronçons n'a pas besoin d'être très rigoureuse. Il suffit de choisir le point de l'axe au centre du tronçon avec sa normale \vec{n} et d'identifier des points dans la zone partielle au voisinage du plan normal au plan moyen du tronçon dans une plage d'environ 2mm.

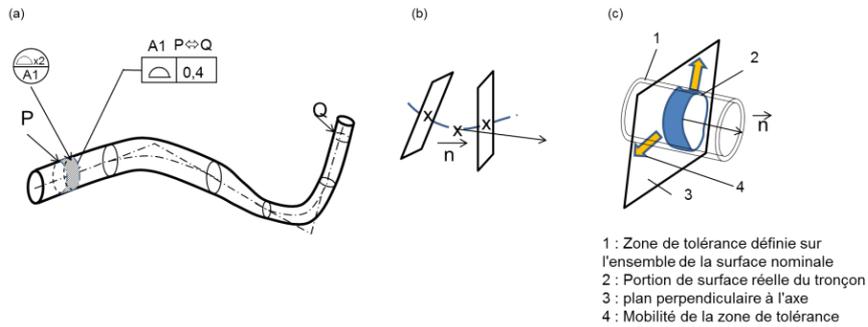


Figure 11 - Zone partielle glissante selon un axe non rectiligne

2.4 Spécification d'une ligne de crête

La Figure 12 comporte deux zones partielles définies sur deux lignes de crête.

Dans le modèle nominal, les deux lignes nominales A1 et A2 sont deux génératrices de deux cylindres d'axes parallèles définies dans un plan tangent aux deux cylindres.

Sur chaque bord de la pièce, la ligne de crête est définie avec les points de tangence de la surface réelle avec une droite parallèle au plan tangent aux deux cylindres.

Pour la planéité, les deux lignes de crêtes doivent pouvoir être placées entre deux plans distants de 0,5mm.

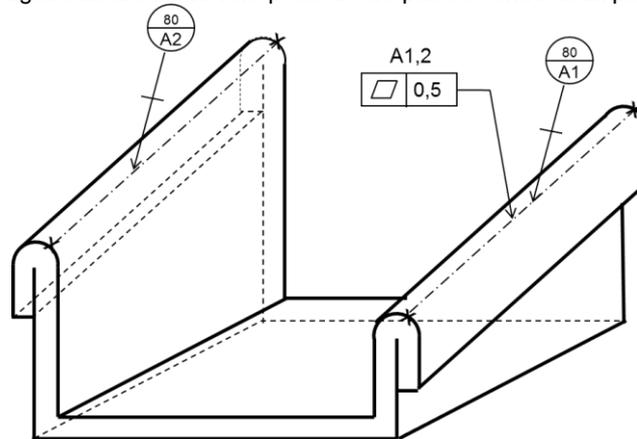


Figure 12 - Planéité de lignes de crête

3. Orientation d'un groupe de trous

3.1 Principe de cotation

Un groupe de trous forme une liaison prismatique qui bloque les 3 degrés de libertés en rotation (Figure 13) :

- 2 degrés Rx et Ry sont bloqués par chaque élément du groupe (flèche en bleu)
- La rotation Rz autour de l'axe est imposée par l'ensemble du groupe (flèche rouge).

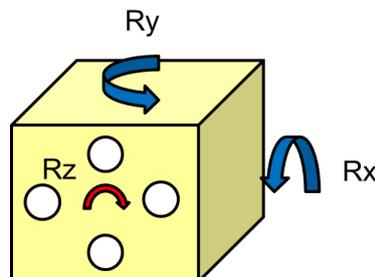


Figure 13 - Sens de l'orientation d'un groupe

La cotation d'un groupe peut être résumée par la Figure 14 :

Dans une chaîne de cotes 3D, pour maîtriser les effets angulaires, il faut ajouter une spécification d'orientation avec une tolérance plus sévère.

L'orientation (a) bloque bien les rotations Rx et Ry.

L'orientation (b) bloque les 3 rotation Rx,Ry,Rz en imposant une contrainte de distance sévère entre les trous. Cette spécification n'a d'intérêt que par rapport a un système de références.

L'orientation (c) bloque les 2 rotation Rx, Rz sans contraindre la distance sévère entre les trous..

L'orientation (d) bloque les 3 rotation Rx,Ry,Rz sans contraindre la distance sévère entre les trous.

NOTE 1 : Les spécifications (b), (c), (d) admettent sensiblement le même écart angulaire autour de z. Les spécifications (c) et (d) peuvent être délicates à écrire pour des entités qui ne sont pas de révolution.

NOTE 2 : La spécification (b) est facilement respectée si les alésages sont réalisés dans la même phase d'usinage. La position relative des trous ne dépend pas de la mise en position de la pièce.

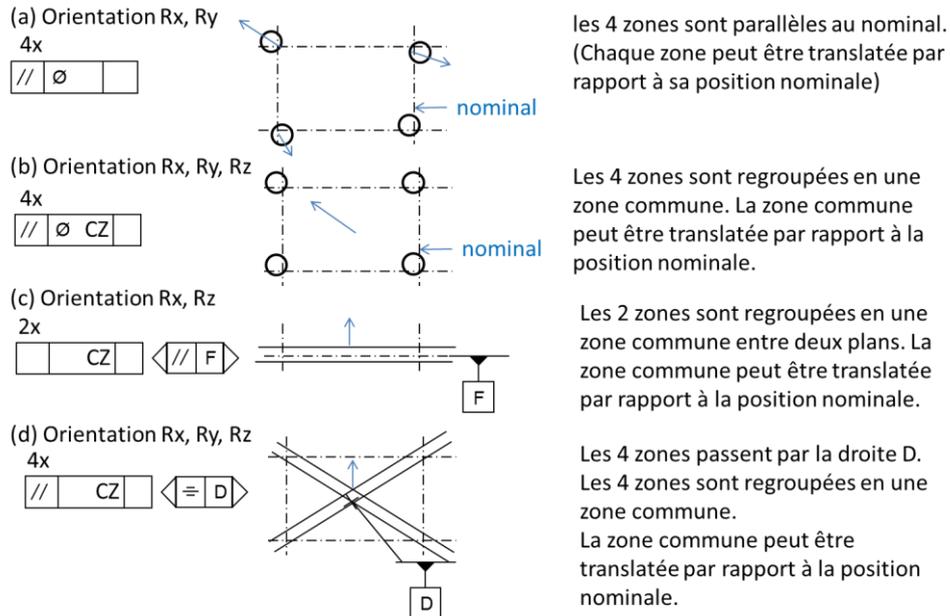


Figure 14 - Différents types de cotation d'un groupe.

3.2 Orientation d'un groupe de 2 entités en zone projetée

La Figure 15 comporte un système de références A | B | C et un tolérancement en zone projetée de deux alésages. Pour les spécifications (2), (3) et (4) :

- Le 2x indique un groupe de deux entités.
- Dans chaque entité, la surface spécifiée est un alésage Ø12, et l'élément tolérancé est le prolongement de l'axe de l'alésage, dans la plage P.

Pour la spécification (4) :

- Il n'y a pas de Ø pour la zone de tolérance. Dans le modèle nominal, le plan d'annotation F est parfaitement défini par les axes des trous nominaux. Le plan d'orientation est donc parallèle à F.
- Il y a deux zones de tolérance, une pour chaque élément tolérancé. Dans le modèle nominal, chaque zone de tolérance est limitée par deux plans distants de 0,04. Chaque zone est centrée sur le plan F. Le CZ regroupe les deux zones de tolérance en une seule zone commune pour tous les éléments tolérancés.
- Le modèle nominal est associé au système de références A | B ⊕ | C ⊕. Il est flottant.
- La spécification est une orientation. La zone de tolérance peut être translatée pour placer si possible des 2 éléments tolérancés dans la zone de tolérance.

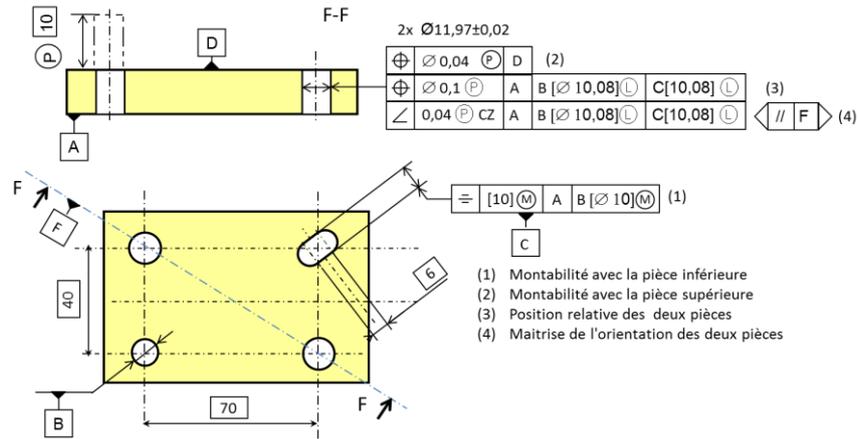


Figure 15 - Orientation en zone projetée

La Figure 16 et similaire à la Figure 15. Les éléments spécifiés sont directement les alésages.

Pour les spécifications (2), (3) et (4) :

- Le 2x indique un groupe de deux entités.
- Dans chaque entité, la surface spécifiée est l'alésage $\varnothing 12$.

Pour la spécification (4) :

- Dans le modèle nominal, le plan d'annotation F est parfaitement défini par les axes des trous nominaux. Le plan d'orientation est donc parallèle à F.
- Il y a deux zones de tolérance, une pour chaque élément toléré. Dans le modèle nominal, chaque zone de tolérance est limitée par un cylindre $\varnothing 12,12$ centré l'axe nominal.
- Le plan d'orientation F impose que chaque zone de tolérance $\varnothing 12,12$ puisse se déplacer librement entre deux plans distants de 12,12, parallèles à F et centrés sur l'axe nominal. Le CZ regroupe les deux paires de plans en une seule zone commune pour tous les éléments tolérés.
- Le modèle nominal est associé au système de références A | B (L) | C (L). Il est flottant.
- La spécification est une orientation. La zone de tolérance (formée par les deux plans contenant les deux cylindres $\varnothing 12,12$) peut être translatée perpendiculairement à F pour placer si possible des 2 éléments tolérés dans la zone de tolérance.

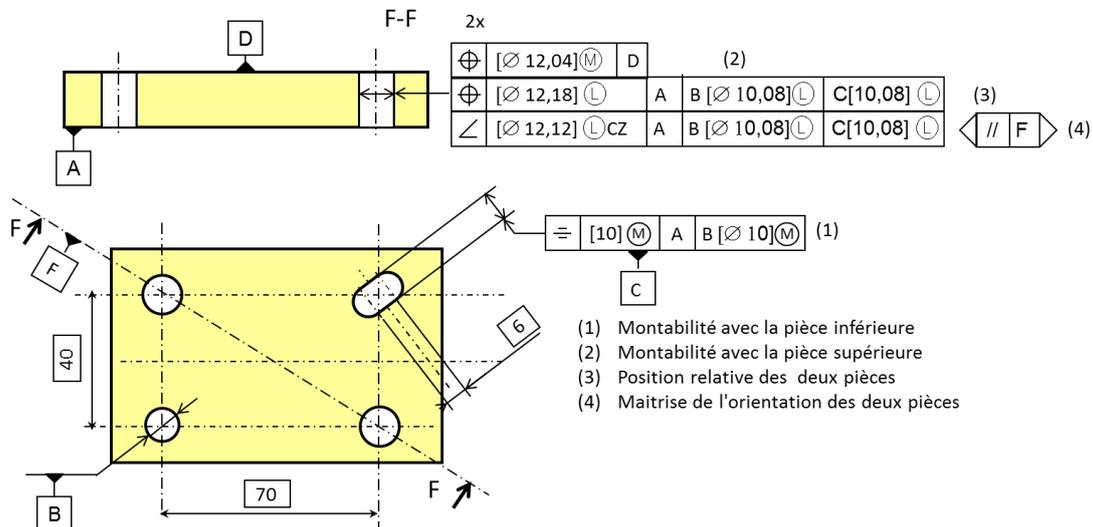


Figure 16 - Orientation au mini matière avec un plan d'orientation

4. Tolérancement général

4.1 Problématique

4.1.1 Fonction du tolérancement général

Le tolérancement général a pour but de spécifier avec une tolérance assez large l'ensemble des surfaces d'une pièce, dans le but de respecter principalement 3 exigences fonctionnelles :

- La conformité de la pièce au modèle nominal : respect de la forme générale, des dimensions et des épaisseurs de matière, en particulier pour maîtriser la fonction et la tenue mécanique de la pièce (déformations et résistance des matériaux)
- L'absence de collision de la pièce avec les pièces voisines
- La maîtrise de la masse

Toutes les exigences qui ne sont pas assurées avec ce tolérancement général imposent un tolérancement spécifique avec des tolérances plus sévères. Ainsi, la cotation des surfaces dites « fonctionnelles » impose de multiples spécifications en particulier sur les surfaces de contact avec les pièces voisines.

Le symbole \odot « Toutes les surfaces » constitue un groupe formé de l'ensemble des surfaces. Cet ensemble peut être restreint par un commentaire placé au-dessus du cadre.

Les dimensions des pièces peuvent être très importantes. Un tolérancement général « global » impose inévitablement une tolérance large qui ne permet plus de maîtriser des dimensions plus locales comme les épaisseurs de paroi.

NOTE : S'il est souhaité de laisser une tolérance très large sur une surface, plus large que la tolérance générale, il faut exclure cette surface du tolérancement général par un commentaire.

4.1.2 Aspect contractuel du tolérancement général

La vérification du tolérancement général sur la totalité des surfaces de la pièce ne peut pas être exigée dans un rapport de mesure.

Inversement, si sur une pièce le tolérancement général n'est pas respecté en un seul point, il est possible de refuser la pièce.

Cela implique que le fabricant choisisse un processus de fabrication capable de respecter le tolérancement général et effectue un contrôle limité qui garantisse que le tolérancement général sera respecté sur toutes les surfaces.

4.2 Optimisation du tolérancement général

4.2.1 Superposition des spécifications

La Figure 17 montre le cumul de plusieurs spécifications pour optimiser le tolérancement général.

L'indétermination de savoir si les surfaces A à H appartiennent ou non aux différentes parties de la pièce (extérieur, cavité..) n'a aucune importance, car ce sont des surfaces fonctionnelles qui sont spécifiées par ailleurs, avec des tolérances sans doute plus sévères. D'autre part, ces surfaces sont utilisées pour la plupart comme système de références pour positionner le tolérancement général. Le tolérancement général n'apporte donc aucune contrainte supplémentaire.

Les commentaires doivent être enrichis pour éviter toutes les ambiguïtés.

La spécification (1) s'applique à toutes les surfaces de la pièce (pas les axes ni les surfaces médianes) par rapport au système de références A|B|C, y compris pour les taraudages en considérant le cylindre portant le diamètre primitif.

La spécification (2) s'applique aux axes des alésages de diamètre nominal strictement inférieur à 10.5 et aux axes des taraudages par rapport au système de références A|B|C. La limitation du diamètre du cylindre permet d'éviter de propager cette spécification, par exemple à des parties cylindriques à l'intérieur du carter.

NOTE : en pratique, les trous et les taraudages sont très souvent des surfaces fonctionnelles qui imposent d'autres spécifications. Cette spécification générale est rarement utilisée.

Les spécifications (3), (4) et (5) s'appliquent respectivement aux surfaces extérieures et aux deux cavités indiquées par les flèches :

Les surfaces extérieures sont les surfaces qui peuvent être éclairées par une lampe placée à l'extérieur de la pièce. Les trous et les rainures qui débouchent sur ces surfaces sont exclus et ne sont pas traversés par la lumière.

Les surfaces intérieures sont les surfaces qui peuvent être éclairées par une lampe placée dans la cavité. Les trous et les rainures qui débouchent sur ces surfaces sont exclus et ne sont pas traversés par la lumière.

La pièce est positionnée dans son mécanisme par le système de références principal A|B|C. La spécification (3) a comme principal objectif de garantir la non interférence des surfaces extérieures avec les pièces voisines. La localisation d'une surface extérieure par rapport à A|B|C est en pratique le maillon d'une chaîne de cotes correspondant à une exigence de distance mini entre cette surface et la pièce voisine.

Dans la cavité de gauche, le mécanisme est guidé par les alésages DE et la face F. L'orientation est donnée par G. La spécification (4) a comme principal objectif de garantir la non interférence des surfaces de la cavité avec les pièces contenues dans cette cavité.

La spécification (6) est une spécification de forme qui s'applique à toutes les surfaces contenues dans un cube 50x50x50, quelles que soient la position et l'orientation du cube. La spécification est en zone commune, ce qui implique que toutes les zones de tolérances sont centrées sur le modèle nominal, le modèle nominal pouvant bénéficier de tous les degrés de liberté pour placer si possible les surfaces spécifiées dans les zones de tolérance. Cette spécification a une tolérance plus sévère que la spécification (1) qui s'applique à toute la pièce. Ainsi, localement, les distances entre les surfaces, les épaisseurs de matière sont bien maîtrisées.

La spécification (7) a une tolérance assez sévère pour permettre de refuser tous les défauts locaux. Cette spécification de forme s'applique à toutes les surfaces. Dans chaque surface, la spécification de forme doit être respectée dans un cercle de Ø5, (ou dans la projection d'un cercle Ø5 sur la surface), quelle que soit la position de cette zone glissante.

La spécification (8) permet d'imposer localement la forme et l'orientation de chacune des 8 nervures par rapport au plan P. Les surfaces spécifiées sont l'ensemble des surfaces de la pièce limitée par les lignes S et T qui ne sont définies que sur une seule nervure. Le symbole « entre » regroupe cet ensemble de surfaces en une surface composée. La répétition 8r est équivalente à la duplication 8 fois de la spécification sur les 8 nervures.

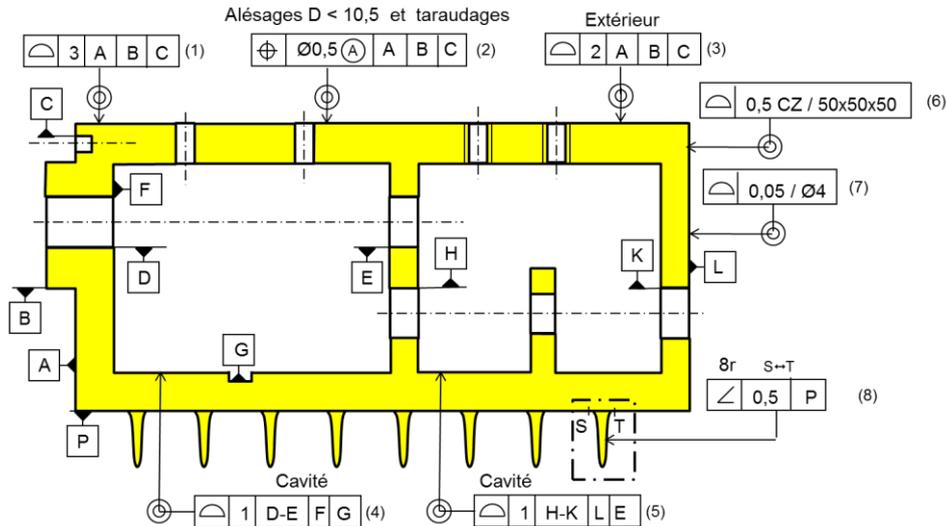


Figure 17 - Différentes formes de tolérancement général

Il est ainsi possible d'imposer de multiples possibilités d'imposer une tolérancement général d'une pièce, sans avoir à désigner toutes les surfaces. La difficulté résiduelle est de savoir par exemple si une poche profonde fait partie ou non des surfaces extérieures. En cas de doute, il est nécessaire d'affiner le commentaire pour limiter les surfaces spécifiées.

NOTE : Si le système de références laisse un degré de liberté en rotation, le modèle nominal peut être orienté pour placer si possible chaque surface spécifiée dans sa zone de tolérance.

4.2.2 Spécification de forme de toutes les surfaces

La spécification de forme de la Figure 18a s'applique indépendamment à toutes les surfaces de la pièce.

Le commentaire limite éventuellement les surfaces spécifiées, car il n'est pas judicieux d'imposer un défaut de forme sur le cylindre primitif d'un taraudage ou sur le fond d'un trou borgne.

La séparation des surfaces est naturelle, lorsqu'il y a une arête vive ou un congé, mais également lorsque les surfaces sont tangentes avec des rayons de courbures différents (Figure 18b). Deux faces adjacentes sont considérées comme une seule surface si dans tous les plans d'intersection perpendiculaires à l'arête commune, les lignes sont tangentes au point d'intersection, la courbure est dans le même sens et si le rayon de courbure est identique.

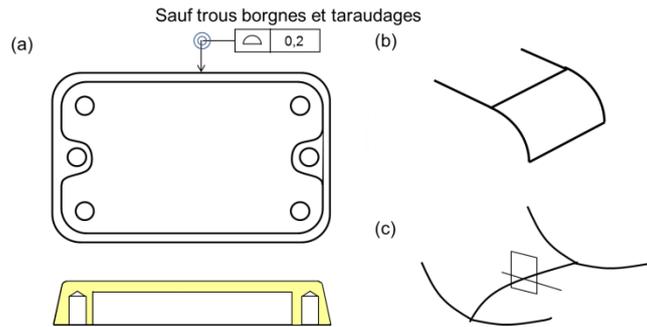


Figure 18 - Forme de toutes les surfaces

NOTE : en pratique, il est préférable de délimiter l'ensemble des surfaces spécifiées plutôt que d'exclure certaines surfaces.

4.2.3 Limitation des surfaces

La Figure 19 illustre des commentaires pour restreindre les surfaces spécifiées. La distinction peut être lue sur le modèle nominal ou sur la pièce réelle.

Les moyens numériques permettent de sélectionner un grand nombre de surfaces pour appliquer une spécification sur cet ensemble parfaitement défini. Le modèle numérique peut donc être parfaitement contractuel. Il est possible de visualiser cet ensemble en jouant sur la couleur affectée à la surface dans le modèle nominal Figure 19a.

La Figure 19b définit une partition des surfaces en surfaces usinées et surfaces non usinées (brutes) en plaçant le commentaire à droite des spécifications.

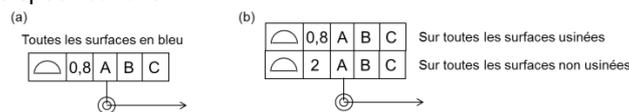


Figure 19 - Partition des surfaces par un commentaire

NOTE : lors de la spécification d'une pièce en avant projet, la notion de surface usinée ou non n'existe pas. Par contre, lorsque la pièce existe, le process a été défini et a été validé. Pour chaque surface, il est aisé de déterminer si la surface est brute ou a été usinée.

4.2.4 Volume englobant

La Figure 20 est constitué d'un groupe de surfaces. Pour chaque surface, la zone de tolérance est limitée par une surface offset de 2 mm de la surface nominale. Le modificateur CZ impose une position relative parfaite de ces différentes zones de tolérance, ce qui revient à imposer globalement une surface offset globale à l'ensemble des surfaces extérieure de cette pièce.

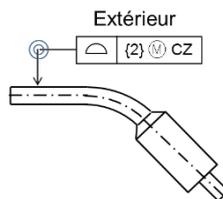


Figure 20 - Définition d'un volume englobant

4.2.5 Référence avec jeu

La pièce Figure 21 comporte un plan A et 2 alésages B. Il y a du jeu dans les alésages. Pour éviter les collisions avec les pièces voisines, il faut maîtriser la position des surfaces extérieures de la pièce. Pour optimiser le tolérancement, il est a priori intéressant de mettre la référence B au minimum de matière dans la spécification (2). Pour chaque point des surfaces spécifiées, le point spécifié et les éléments de références doivent être dans leur zone de tolérance.

Chaque surface étant positionnée par un système de références flottant, la position relative des surfaces n'est plus maîtrisée. Il faut ajouter d'autres contraintes, par exemple en imposant une spécification de forme en zone commune (3).

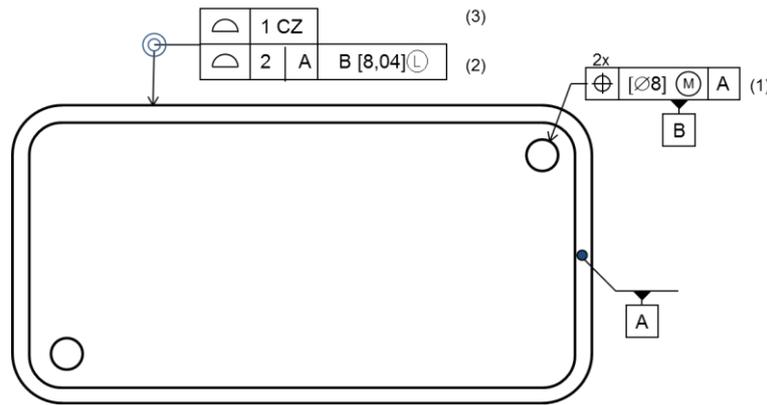


Figure 21 - Référence avec jeu

NOTE : Face à la difficulté de gestion de ces références au minimum de matière au regard de la fonction du tolérancement général, il est préférable de conserver un système de références sans modificateur.

4.3 Tolérancement des surfaces complexes

4.3.1 Principe

Il existe une grande diversité de spécifications pour répondre à de multiples besoins fonctionnels. Le concepteur doit donc sélectionner parmi les exemples ci-après, uniquement les spécifications dont il a besoin.

Le modèle numérique de la surface complexe doit être parfaitement défini dans un repère, avec la possibilité de déterminer la normale en chaque point. Toutes les données de zones partielles et les limites des surfaces sont définies dans ce modèle nominal.

Le modèle numérique doit être positionné sur la pièce réelle à l'aide du système de références de la spécification, ou, à défaut, de manière approchée à l'aide de 6 points formant un repère isostatique ou à l'aide de surfaces formant une liaison isostatique. Ce premier positionnement permet essentiellement de définir les limites des surfaces tolérancées par chaque spécification.

NOTE : une difficulté majeure est la définition des limites des zones restreintes sur lesquelles s'appliquent les spécifications. Dans un environnement CAO 3D, chaque spécification s'applique à une zone bien définie sélectionnée par le concepteur. Il n'y a donc pas d'ambiguïté. Par contre, la lecture sur un plan 2D est assez problématique, car les courbes limites des zones sont très difficiles à décrire.

4.3.2 Tolérancement de toutes les surfaces

La Figure 22a illustre une pièce de forme complexe qui comporte un système de références A|B|C.

Les 3 spécifications (1), (2) et (3) portent sur le groupe formé par l'ensemble des surfaces de la pièce, sauf la partie « socle ». La lettre V désigne cet ensemble des surfaces, (sauf le socle).

(1) Position de chaque surface du groupe par rapport à A|B|C. Cette spécification garantit notamment la position de chaque surface par rapport au milieu extérieur et la géométrie « globale » de la pièce.

(2) Spécification de forme en zone commune, de toutes les surfaces contenues dans une sphère de diamètre 50, quelle que soit la position de la sphère. Cette spécification garantit plus localement, la forme des surfaces et les épaisseurs des parois.

(3) La spécification a une tolérance assez sévère pour permettre de refuser tous les défauts locaux. Cette spécification de forme s'applique à toutes les surfaces. Dans chaque surface, la spécification de forme doit être respectée dans cercle de $\varnothing 4$, (ou dans la projection d'un cercle $\varnothing 4$ sur la surface), quelle que soit la position de cette zone glissante.

Dans la Figure 22b, il n'y a pas de système de référence. La lettre V désigne l'ensemble des surfaces de la pièce. La spécification de forme (4) s'applique à toutes les surfaces avec une zone de tolérance commune définie par deux surfaces offset du modèle nominal.

NOTE : ces 4 spécifications s'appliquent également aux surfaces intérieures de la pièce, s'il y en a, sauf si un commentaire précise « surfaces extérieures seulement ».

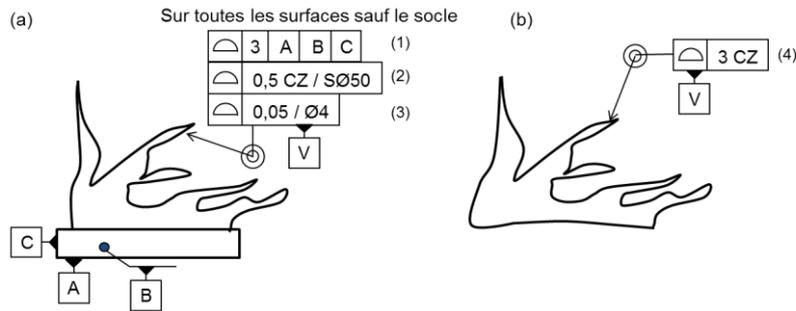


Figure 22 - Tolérancement général de toutes les surfaces

Ce tolérancement peut ensuite être complété par des spécifications sur des zones partielles à définir selon les besoins.

4.3.3 Tolérancement des parties allongées

Les spécifications suivantes peuvent s'appliquer lorsque la forme locale comporte une section fermée qui évolue perpendiculairement à une droite ou à une courbe. Le tolérancement englobe l'ensemble de la section.

La surface restreinte est définie dans le modèle CAO entre deux lignes désignées par P et Q (Figure 23). Le nom S est donné par le cadre de référence sous la spécification (1). Le commentaire $P \leftrightarrow Q$ au-dessus de la spécification limite la surface S à la portion de surfaces comprise entre ces deux lignes. S est considéré comme une surface composée.

Dans la Figure 23a, l'axe de S est représenté dans la CAO par une droite identifiée par S[SL].

Dans la Figure 23b, l'axe de S est représenté dans la CAO par une courbe identifiée par S[AL].

Dans les deux cas, le modèle nominal est associé à la surface réelle S par les moindres carrés, ce qui permet de positionner l'axe.

NOTE : la position de cet axe est imprécise au sens où les limites de la surface S sont incertaines. Cet axe ne peut donc pas servir comme référence. Par contre, la position est suffisante pour permettre de définir des tronçons de surface perpendiculairement à cet axe.

Pour une spécification de position ou d'orientation par rapport à un système de références, le modèle nominal est associé au système de référence. La zone de tolérance est définie par des surfaces offsets de la surface nominale.

En position, il faut que la surface réelle de la zone partielle soit dans la zone de tolérance.

En orientation, la zone de tolérance peut être translatée pour placer si possible la surface réelle de la zone partielle soit dans la zone de tolérance.

En forme, il n'y a pas de système de référence. Pour une spécification sur un tronçon de faible largeur glissant entre deux points, le modèle nominal est associé à l'ensemble de la surface spécifiée. La zone de tolérance est définie par les surfaces offsets de cette surface nominale. La zone de tolérance peut ensuite être déplacée librement dans le plan du tronçon, par deux translations et une rotation.

La spécification de forme (1) garantit la forme de l'ensemble de la surface S.

La spécification de forme (2) garantit un volume englobant maximum à cette surface S.

La rectitude de l'axe (3) et la spécification de ligne de l'axe (4) imposent de déterminer l'axe réel de chacun des tronçons identifié perpendiculairement à cet axe.

Les spécifications (5), (6), (7) et (8) s'appliquent à des tronçons identifiés entre des plans perpendiculaires à l'axe S[SL] ou S[AL], distants de 2mm au niveau de l'axe.

La spécification de forme apparente (5) définit une zone de tolérance avec un décalage par offset de la zone de tolérance, ce qui permet d'accepter des sections de tailles plus ou moins grande, mais avec une forme imposée. La surface réelle peut être vrillée, car la zone de tolérance peut être orientée librement autour de l'axe A.

La spécification de forme (6) n'a pas de OZ. La dimension de chaque section est donc contrainte.

La spécification (7) est une spécification d'orientation. Suivant le cas de la Figure 22a ou Figure 22b, le système de références sera A|B, ou V.

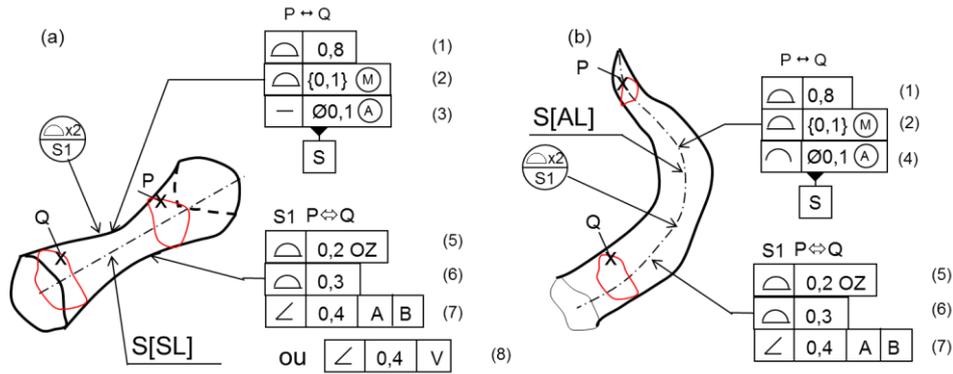


Figure 23 - Spécification des parties allongées

La Figure 24 définit la forme dans le sens longitudinal au voisinage des lignes intersections des plans d'intersection passant par l'axe S[SL] et de la surface S.
La zone partielle est limitée entre les lignes P et Q. La spécification de forme est imposée pour tous les plans d'intersections sur 360° autour de l'axe.

L'élément tolérance est identifié au voisinage de la ligne. La zone de tolérance peut être déplacée uniquement selon les degrés de libertés contenus dans le plan d'intersection (2 translations et une rotation).

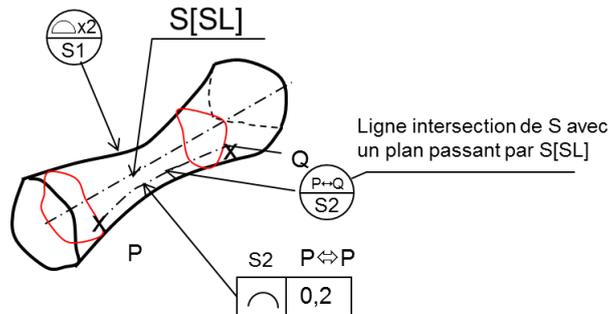


Figure 24 - forme des sections longitudinales

4.3.4 Tolérancement des bords et des extrémités des surfaces

La Figure 25a représente un bord d'une surface avec un rayon de courbure pouvant être assez petit.

La zone partielle V1 est limitée par les deux courbes K et L.

La spécification de forme (1) est appliquée à l'ensemble de cette zone partielle V1, ce qui limite en particulier le vrillage et la forme de l'arête fictive.

La zone partielle V2 est définie entre les lignes K et L, sur une largeur de 2mm.

Les spécifications (2) et (3) sont appliquées à cette zone partielle pour toutes les positions entre les points M et N.

La spécification de forme (2) limite le défaut de forme local le long de l'arête, indépendamment de l'orientation et du vrillage de la pièce.

La spécification d'orientation (3) permet de maîtriser l'orientation de la surface de la zone partielle, par rapport au système de références A|B.

La Figure 25b représente l'extrémité d'une surface avec un rayon de courbure pouvant être assez petit.

La zone partielle V3 est définie entre la ligne R et le point T.

La spécification de forme (4) s'applique à toute la zone restreinte.

La spécification de d'orientation (5) s'applique à toute la zone restreinte pour maîtriser l'orientation de cette extrémité.

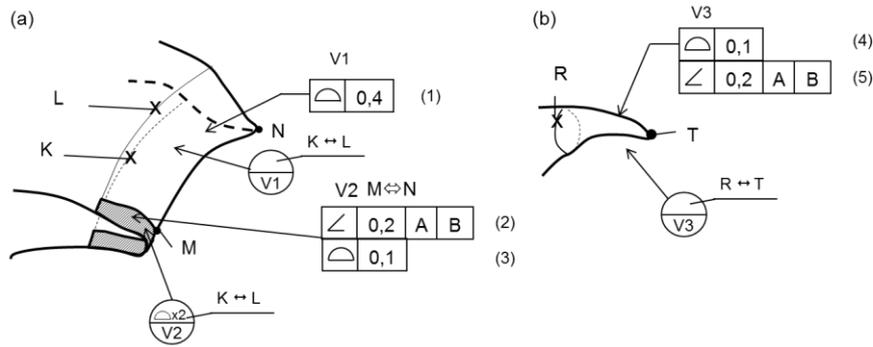


Figure 25 – Spécification des extrémités

4.3.5 Tolérancement des lignes de crête

Dans la Figure 26, la référence partielle porte sur une ligne de crête. Dans le modèle nominal, la ligne de crête est représentée (en trait mixte). En tout point de cette ligne nominale, dans le plan d'intersection perpendiculaire à l'arête, la droite tangente à la crête est la tangente à la surface nominale. La direction de la droite tangente est évolutive, mais l'évolution doit être assez lente en fonction de la position du point sur la crête.

Sur la pièce réelle, Dans ce plan d'intersection, le point M_i de la surface tolérancée est le point tel que la tangente à la surface réelle soit parallèle à la tangente à la crête nominale.

La spécification est une localisation des points de la ligne. L'écart de localisation est mesuré entre le point de l'arête nominale et le point de l'arête réel dans la direction normale à la surface nominale.

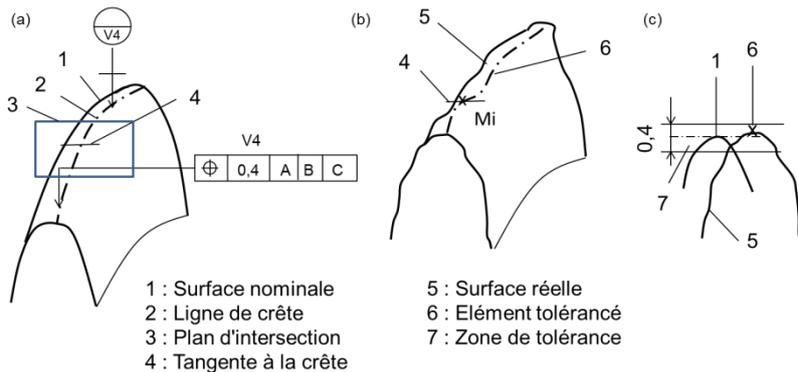


Figure 26 - Spécification des lignes de crête

4.3.6 Tolérancement des épaisseurs

La Figure 27a comporte deux zones partielles V5 et V6 limitées par les lignes P,Q, R et S. La spécification de forme porte sur ces deux zones partielles de V. Ces deux surfaces sont considérées comme une seule surface. L'ensemble des deux parties de la surface réelle étant simultanément dans la zone de tolérance, l'épaisseur de la surface est bien maîtrisée.

NOTE : la surface ayant une double courbure, la zone de tolérance est bien positionnée par rapport à la surface réelle, ce qui permet de valider cette spécification.

La Figure 27b comporte une épaisseur décroissante. Il est impossible de distinguer si la pièce n'est pas assez épaisse ou si elle est trop à gauche. Il faut une référence pour donner une position, soit le bord de la pièce soit une autre surface appartenant à la pièce, soit une référence.

La spécification (2) impose une zone de tolérance construite sur le modèle nominal positionné par rapport au plan F. L'épaisseur est bien maîtrisée.

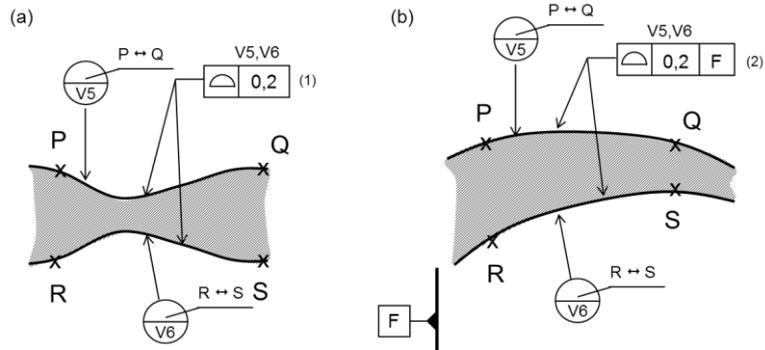


Figure 27 - Spécification des épaisseurs

5. Spécification des gorges

5.1 Position axiale d'une gorge à flancs droits

La localisation de la Figure 28 porte sur la surface médiane de la gorge. La surface médiane est le lieu des milieux des bipoints identifiés sur chaque face latérale de la gorge.

La zone de tolérance est formée par deux plans distants de 0,05. Cette zone est centrée sur la surface nominale. Le modèle nominal est associé au système de référence A|B.

La spécification est vérifiée si la surface médiane réelle est dans la zone de tolérance.

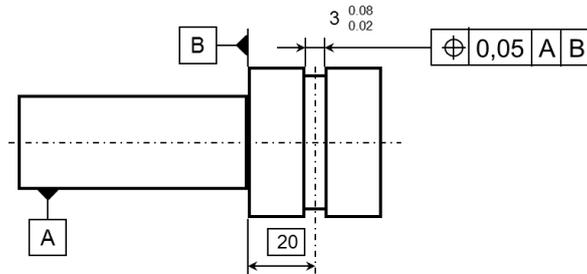


Figure 28 - Localisation d'une gorge

5.2 Battement et position d'une gorge à flancs inclinés

La Figure 29 représente une poulie. La courroie porte sur les flancs de la gorge et pas au fond.

La zone partielle A1 est limitée par un cercle diamètre 30, centré sur l'alésage B.

La planéité (1) s'applique uniquement à cette zone partielle A1.

Le cadre de référence A placé sous cette planéité désigne la référence A constituée de la zone partielle A1.

La perpendicularité (2) de la surface B impose à l'alésage réel une zone de tolérance $\varnothing 10 \text{ (M)}$ perpendiculaire à A

La spécification (3) porte sur la surface composée des deux flancs et du fond de la gorge. L'axe de références est l'axe de la gorge défini dans le modèle nominal. Le modèle nominal doit être associé à l'élément de référence A par le critère minimax. Le modèle nominal peut glisser sur le plan A pour que l'alésage réel B respecte, si possible, la zone de tolérance $\varnothing 10,05 \text{ (L)}$ centrée sur l'axe nominal de B. Il y a encore une mobilité résiduelle.

La surface nominale spécifiée est définie par deux cônes et un cylindre centrés sur l'axe de référence. La génératrice de cette surface de révolution est donc formée par un segment parallèle à l'axe de référence et deux droites inclinées de 75° par rapport à cet axe. Cette génératrice peut être translatée dans les deux directions (Figure 29b). La zone de tolérance est formée par deux lignes offsets de la génératrice avec un décalage de +0,05 et -0,05, puis par rotation de ces lignes autour de l'axe de référence.

La vérification de la spécification impose de déterminer les deux translations de la génératrice et la mobilité permise par la référence B au minimum de matière pour placer, si possible, la surface réelle spécifiée dans la zone de tolérance.

NOTE : l'association du fond de la gorge avec les flancs dans la même zone de tolérance évite que la courroie touche le fond de la gorge. Cette spécification de battement limite bien la largeur au fond de la gorge mais ne donne aucune contrainte de position axiale de la gorge, ni de diamètre au fond de gorge ou sur les flancs de la gorge.

Le diamètre (4) permet de maîtriser le fond de gorge et implicitement les flancs liés au fond de gorge par le battement.

La localisation (5) localise la surface médiane réelle de la gorge. La surface nominale est associée à la surface réelle complète constituée des points des deux flancs coniques, ce qui positionne la surface médiane nominale. Cette surface nominale est partitionnée en carreaux. Chaque carreau définit la normale à la surface nominale au centre du carreau ainsi qu'un tronçon limité par les normales à la surface médiane nominale passant par les points du contour du carreau. Pour chaque tronçon, la surface nominale est associée à la surface réelle avec uniquement les points du tronçon, en autorisant une mobilité en translation selon la normale à la surface médiane nominale. La surface médiane réelle du tronçon est la portion de la surface nominale associée au tronçon entre les faces séparatrices des tronçons.

La surface médiane de la gorge est constituée de l'ensemble des surfaces médianes des tronçons. Cette surface médiane doit être comprise dans la zone de tolérance formée par deux plans distants de 0,2. Cette zone est centrée sur la surface nominale à 10 mm de A.

NOTE 1 : cette construction complexe peut être simplifiée en palpant un point de chaque côté de la gorge, sensiblement face à face pour associer la surface nominale de la gorge par les moindres carrés en autorisant une translation parallèle à A. Le plan médian de la surface associé doit être dans la zone de tolérance.

NOTE 2 : Le centre d'une bille placée dans la gorge donne une très bonne approximation de la surface médiane de la gorge aux points de contact.

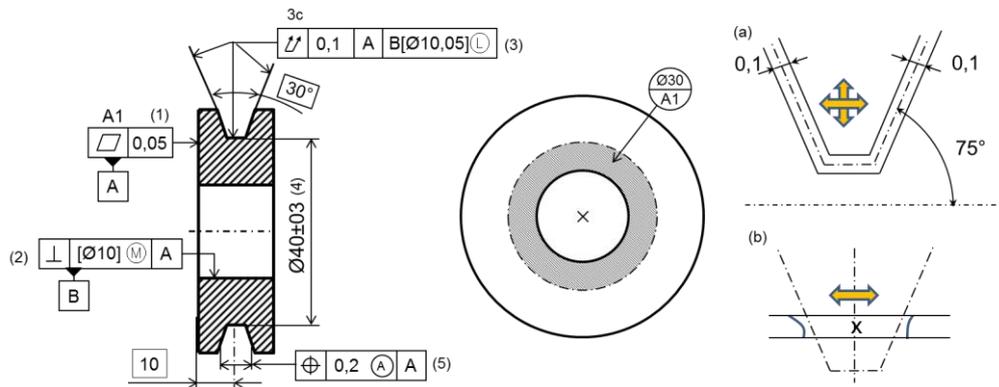


Figure 29 - Battement et position d'une gorge

5.3 Position d'une gorge pour joint torique

La Figure 30 représente une gorge pour joint torique. L'arbre portant cette gorge tourne autour d'un axe représenté par la référence A (1). La position axiale de l'arbre est imposée par la référence B représentée par (2).

La spécification de position de surface quelconque (3) porte sur la surface composée des deux flancs de gorge coniques et du cylindre de fond de gorge. La zone de tolérance est définie par les surfaces offset de ces surfaces nominales. La surface réelle de la gorge doit être dans la zone de tolérance.

NOTE : Avec cette spécification (3), la zone de tolérance est très large, ce qui est acceptable dans la direction axiale, mais trop large pour assurer la compression requise pour le joint.

La spécification de position de surface quelconque (2) est similaire à la spécification (3) avec une tolérance plus sévère. Par contre, le système de références A laisse une mobilité axiale dans la direction de l'axe A.

NOTE : la profondeur de la gorge et la forme de la gorge sont bien maîtrisée par (2), tout en laissant libre la position axiale de la gorge.

La spécification d'orientation (5) porte sur la ligne restreinte entre les points P et Q. Cette zone est lissante sur tout le tour de la pièce.

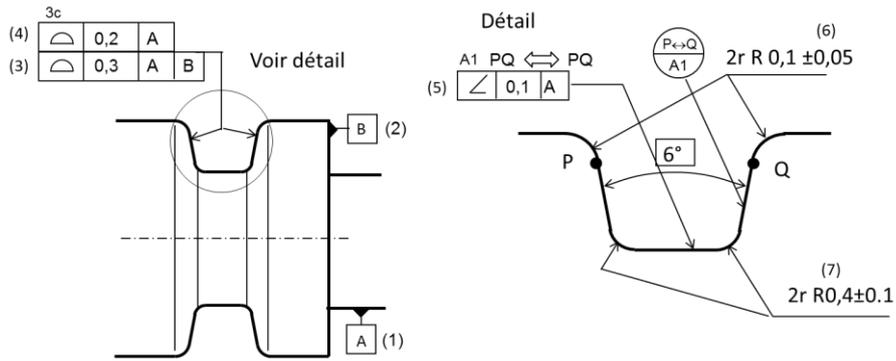


Figure 30 - Gorge pour joint torique

5.4 Rainure de clavette

La Figure 31 Présente un arbre prévu pour recevoir deux clavettes face à face. Les spécifications (1) et (2) sont indépendantes. Elles assurent le serrage mini et le serrage maxi de chaque clavette.

La symétrie (3) porte sur les deux paires de plans identifiées par les deux flèches. Chaque paire de plan est projeté respectivement dans les plages P1 et P2 (indépendamment de l'autre). Les zones de tolérance sont concaténées, c'est-à-dire que les deux surfaces médianes des deux rainures doivent se trouver entre deux plans distants de 0,2 et centrés sur A.

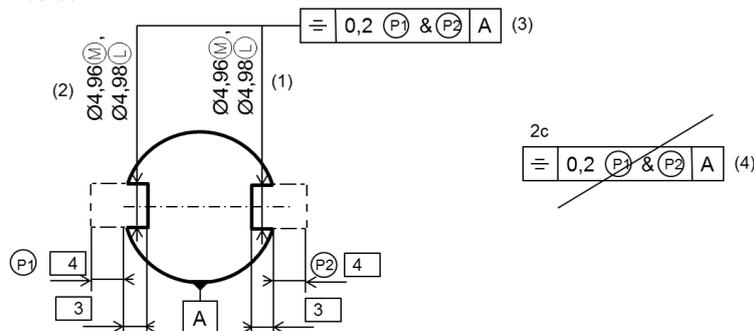


Figure 31 - Rainures de clavette

NOTE : la spécification (4) aurait été incorrecte, car elle imposerait de considérer les deux rainures comme une seule surface, ce qui implique une seule projection dans les zones P1 et P2.

6. Battement hors axe

Le battement de ce volant Figure 32 est défini autour d'un axe de référence défini dans le modèle nominal. La référence primaire est le cylindre nominal associé par les moindres carrés avec offset à l'élément de référence A. La référence secondaire est l'ensemble des deux plans nominaux B, associés par les moindres carrés avec offset aux deux surfaces réelles B. L'axe de référence du battement est décalé de 5 mm par rapport à l'axe nominal de A et dans le plan médian de B. Cet axe est donc parfaitement défini.

La surface spécifiée est un tore. Dans un plan d'intersection passant par l'axe de référence, la génératrice est un cercle de diamètre nominal. Ce cercle peut être translaté parallèlement et perpendiculairement à l'axe de référence. La zone de tolérance est définie par deux lignes offsets de +0,2 et - 0,2 de cette génératrice, puis par rotation autour de l'axe de référence. La spécification est vérifiée si la surface réelle spécifiée est dans la zone de tolérance.

Dans chaque motif, l'ensemble des 4 alésages s'appelle S. L'axe nominal de S défini par (2) est une droite au centre du groupe de 4 trous.

La localisation (3) porte sur le groupe formé par les 2 axes réels S. Dans chaque motif, l'axe réel S est défini avec les 4 alésages. Dans chaque tronçon défini par des plans perpendiculaire à l'axe nominal de S, on associe un tronçon nominal défini par 4 alésages de diamètre nominal en position parfaite sur le cercle de diamètre 80, par 2 translations et une rotation dans le plan perpendiculaire à l'axe, avec le critère des moindres carrés.

L'axe réel de S est formé par l'ensemble des axes des tronçons.

La localisation (3) est respectée si les deux axes réels des deux motifs peuvent être placés dans deux cylindres $\varnothing 0,3$ centrés sur les axes nominaux des motifs.

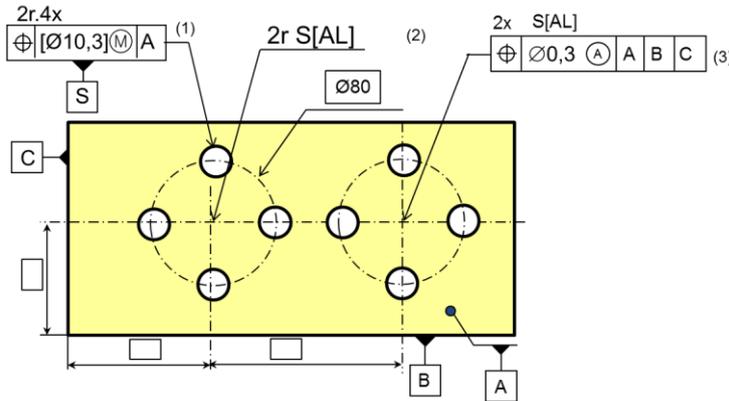


Figure 34 - Axe de groupes de trous

NOTE : cette localisation (3) impose la position des groupes de trous, sans imposer de contrainte angulaire des groupes de trous autour de S.

9. Décentrage de la zone de tolérance

9.1 Décentrage d'une zone de tolérance

La Figure 35a comporte une localisation (1) avec un décentrage de la zone de tolérance de 0,1.

La Figure 35b montre la zone de tolérance de la surface B par rapport à la pièce nominale (définie dans la CAO par exemple).

La Figure 35c illustre une pièce idéale avec des surfaces centrées sur les zones de tolérance. La surface réelle B est décalée de 0,1 par rapport à la surface nominale.

Les chanfreins de 2 mm sont également décalés, car la zone de tolérance du chanfrein est définie à partir de l'arête intersection des surfaces réelles B et C. La valeur du chanfrein n'est pas changée.

L'alésage est également décalé par rapport à A, mais reste à 12 mm de la référence B.

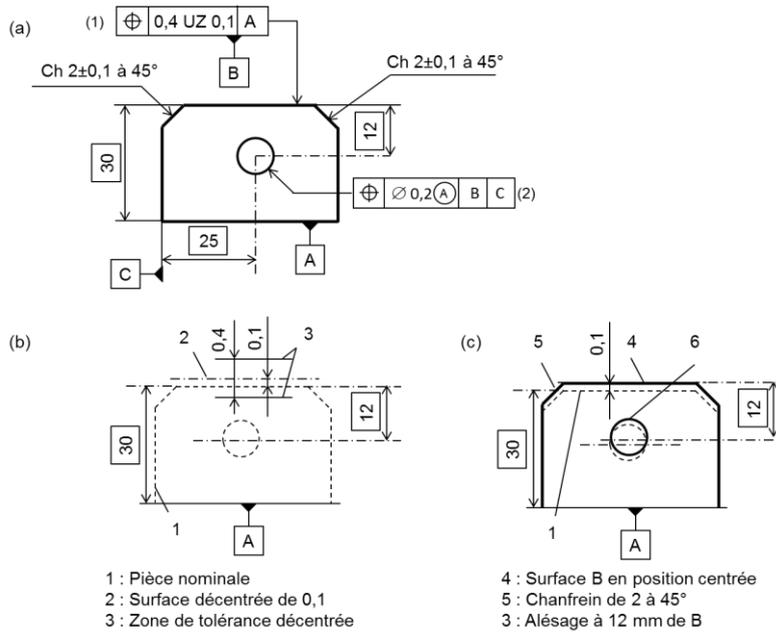


Figure 35 - Influence d'un décentrage d'une surface

NOTE : cet exemple montre que le décalage d'une zone de tolérance entraîne plusieurs surfaces.

9.2 Décalage d'une surface nominale

La Figure 36a représente la pièce nominale. Chaque surface du modèle nominal est supposée définie dans un repère unique, indépendamment des autres surfaces. (Le modèle n'est pas défini par des contraintes entre surfaces).

La Figure 36d indique que la surface B doit être translatée de 0,1 pour imposer un ajout de matière sur cette surface.

La Figure 35b illustre la localisation (1) et montre la zone de tolérance de la surface B centrée sur la surface décalée.

Les autres surfaces nominales ne sont pas changées.

La Figure 36c présente une pièce idéale avec des surfaces centrées sur les zones de tolérance. La surface réelle B est décalée de 0,1 par rapport à la surface nominale.

Les chanfreins nominaux augmentent et passent à 2,1. La distance entre l'alésage central et B passe à 12,1.

De ce fait, la cotation qui sera générée sur la pièce fera apparaître des chanfreins de 2,1 et une localisation à 12,1.

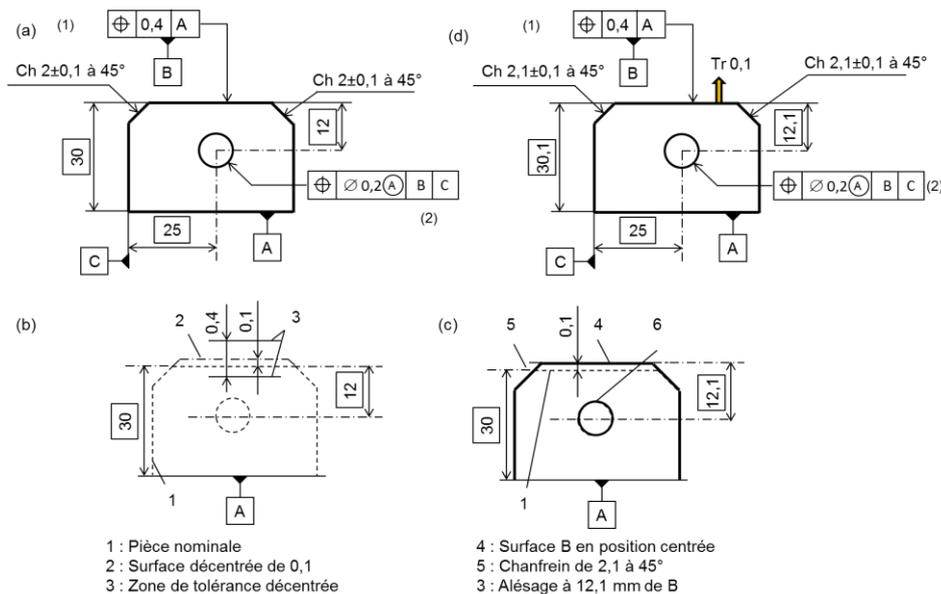


Figure 36 - Influence du décalage du nominal

9.3 Décentrage de toutes les zones de tolérance

La Figure 37 présente une pièce entièrement peinte avec une couche moyenne estimée à 0,05 mm. La surface de référence A est également peinte.

Le modèle nominal décrit la pièce non peinte. Le dessin de définition représente la pièce peinte avec un UZ de 0,05 sur toutes les surfaces.

La planéité (1) est exigée sur la surface peinte. Le décalage du nominal n'a aucune influence sur la définition.

Pour la localisation (2), le modèle nominal est positionné sur la pièce réelle en associant à l'élément de référence A une surface offset de 0,05 de la surface nominale A par le critère minimax. Avec cette technique, la plage de projection (P) reste définie dans le modèle nominal (Le dépassement fonctionnel est donc de 5,95 par rapport à la surface peinte).

La spécification (3) porte sur toutes les surfaces de la pièce. Le modèle nominal est positionné sur la pièce réelle en associant à l'élément de référence A une surface offset de 0,05 de la surface nominale A par le critère minimax. Toutes les zones de tolérances sont décentrées de 0,05, y compris pour la surface A. La surface réelle A sera donc bien centrée sur sa zone de tolérance.

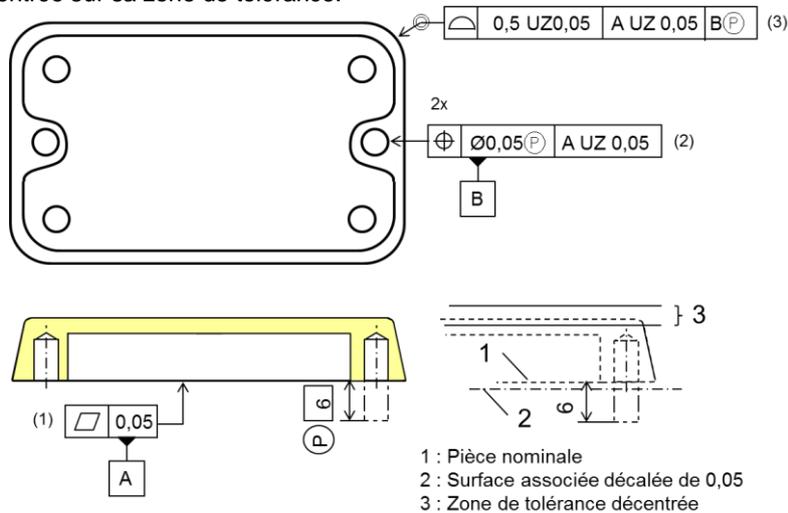


Figure 37 - Décentrage de toutes les surfaces

10. Répétition

10.1 Principe de répétition

La Figure 38a est une répétition implicite de la spécification équivalente aux deux spécifications de parallélisme de la Figure 38b.

NOTE : L'écriture sans l'indication nr (Figure 38a) est à éviter, car elle est peu connue. Il faut éviter de placer un cadre de référence sous le cadre de tolérance, car il pourrait être interprété soit comme les deux surfaces, soit comme une répétition d'une surface. Il est préférable d'indiquer le nombre de répétitions et de déclarer le motif, s'il y en a un.

Dans la Figure 38b, les surfaces B et C sont distinctes, ce qui permet de définir les deux perpendicularités indépendamment l'une de l'autre.

La Figure 38c signifie la même chose que la Figure 38b, mais en considérant deux motifs. Le parallélisme est répété sur les plans des deux motifs. Chaque plan s'appelle B (dans son motif), ce qui permet de définir la perpendicularité de l'alésage par rapport au plan B, dans chaque motif (indépendamment l'une de l'autre).

Dans la Figure 38d est similaire mais avec une visualisation très claire du motif. (Toutes les spécifications sont indiquées sur des surfaces du même motif).

Dans la Figure 38c, la localisation a pour référence B-B qui est le plan minimax associé à l'ensemble des surfaces identiques à B.

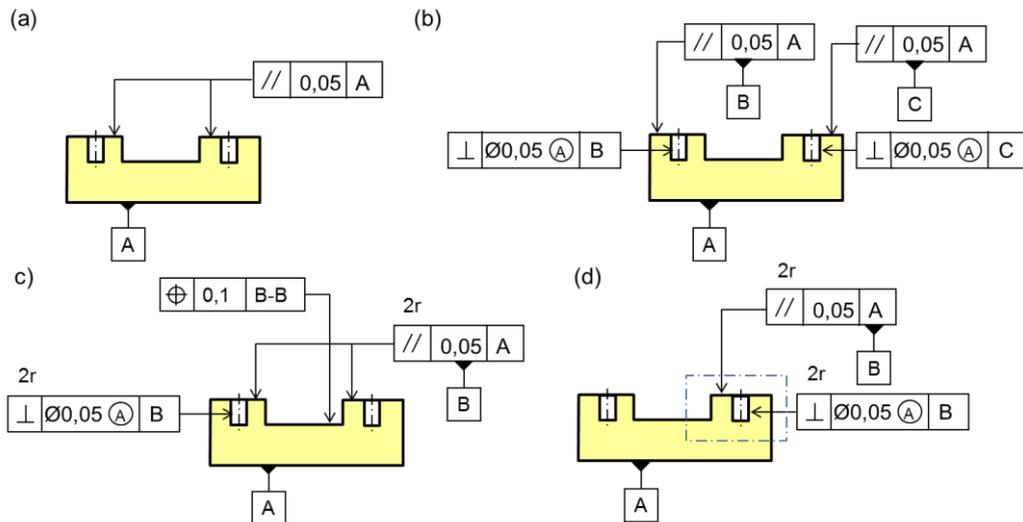


Figure 38- Principe de répétition

10.2 Répétition avec surfaces composées

La Figure 39 comporte un motif répété 2 fois. Dans chaque motif, il y a une surface E composée de deux cylindres coaxiaux. La rectitude (1) porte sur cette surface composée. La coaxialité (2) porte sur le chambrage par rapport à la référence E. La rectitude (1) et la coaxialité (2) sont supposées dupliquées sur les deux motifs. Il y a également deux références E.

Pour la localisation (3), les 2 alésages E sont projetés indépendamment dans la plage \textcircled{P} . La référence commune E \textcircled{P} - E \textcircled{P} est définie sur l'ensemble des projections E \textcircled{P} .

Pour (4) et (5) : Dans chaque entité du groupe :

- Le compteur 2c est facultatif, car le modificateur \textcircled{P} définit implicitement une surface composée. La surface spécifiée est composée des deux alésages coaxiaux (désignées par les 2 flèches).
- L'élément tolérancé est le prolongement de l'axe associé à cette surface composée dans la plage \textcircled{P} .

Ce groupe comporte un 2x. Il y a deux zones de tolérance en positions relatives parfaites pour les deux éléments tolérancés.

Dans l'orientation (5), chaque zone peut ensuite être translaturée pour placer si possible les éléments tolérancés dans la zone de tolérance.

Le modèle nominal peut également glisser sur le système de référence A | B.

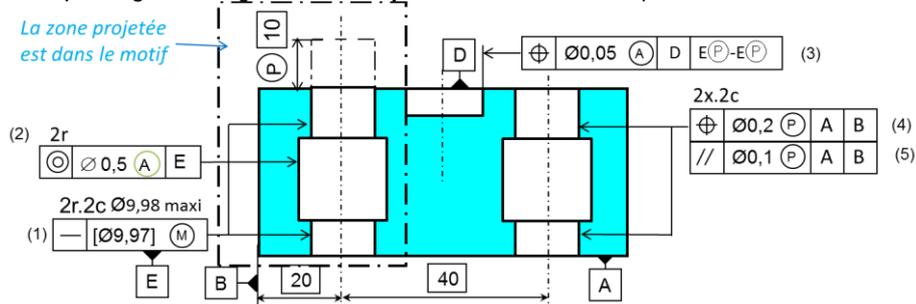


Figure 39 - Répétition de spécification sur surface composée

10.3 Constitution d'une référence commune sur des éléments de motifs

La Figure 40 comporte deux motifs identiques.

Le cadre de référence (1) définit une référence B dans chaque motif (il y a donc l'équivalent de deux références B).

La perpendicularité (2) est supposée dupliquée dans chaque motif. A l'intérieur du motif, le plan F qui doit être perpendiculaire à l'alésage B. Il y a également deux plans F.

La localisation (3) comporte une référence commune F-F. Les éléments de référence sont l'ensemble des éléments identiques à F. Le plan supérieur est localisé par rapport à cette référence commune.

La localisation (4) porte sur les 4 alésages. G est le nom donné aux 4 alésages.

NOTE : G est donc équivalent à B-B.
Les localisations (5) et (6) sont donc équivalentes.

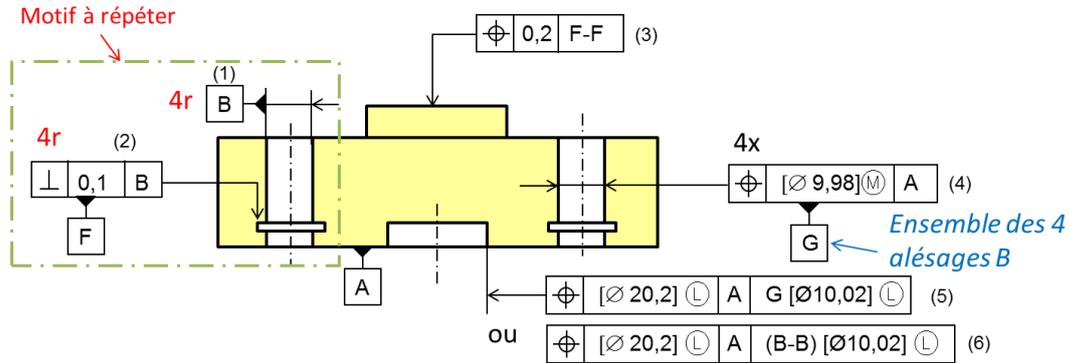


Figure 40 - Référence commune sur surfaces de motifs

11. Représentation des spécifications en tableaux

11.1 Principe

La Figure 41a représente la cotation classique dans le 2D ou le 3D. La Figure 41b comporte uniquement la désignation des références et des autres surfaces spécifiées.

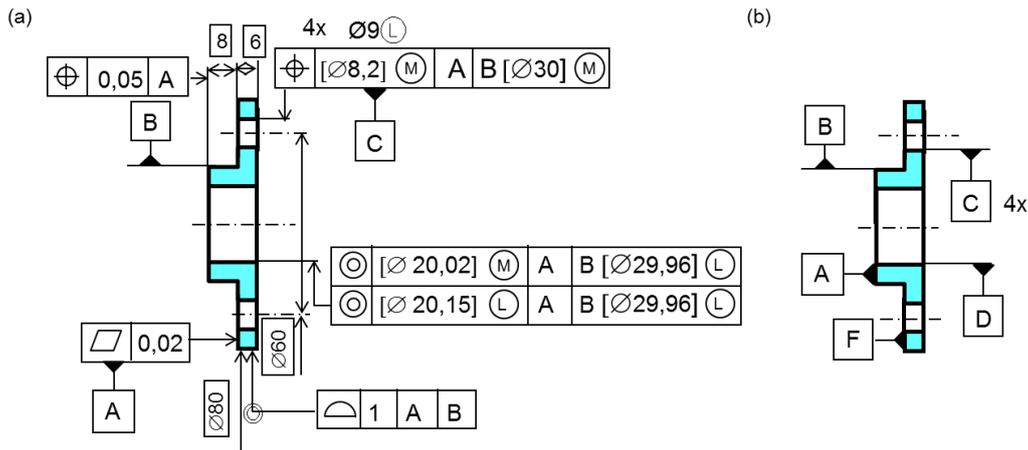


Figure 41 - Cotation dans le 2D ou 3D

La Figure 42 décrit complètement la cotation sous forme de tableau.

Spécifications complémentaires :

Surface spécifiée	Nombre d'éléments	Etendue, partition	Spécification	Conditions de mesure	Commentaire
A			\square 0,02		
C	4x		ϕ [Ø8,2] M A B [Ø30] M		
C	4x		Ø9 L		
D			\odot [Ø20,02] M A B [Ø29,96] L		
D			\odot [Ø20,15] L A B [Ø29,96] L		
F			ϕ 0,05 A		
\odot			\frown 1 A B		

Figure 42 - Cotation en tableau

11.2 Cotation avec zone projetée

La Figure 43a représente la cotation classique dans le 2D ou le 3D. La Figure 43b comporte la désignation des références et la description de la plage de projection.

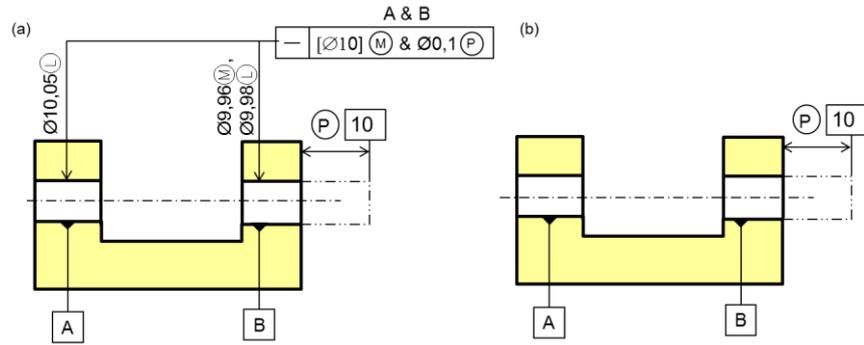


Figure 43 - Cotation avec zone projetée

La cotation est écrite dans le tableau. Dans la rectitude, la plage de projection \textcircled{P} porte sur la surface B.

Spécifications complémentaires :

Surface spécifiée	Nombre d'éléments	Etendue, partition	Spécification	Conditions de mesure	Commentaire
A			$\text{Ø}10,05\text{(L)}$		
B			$\text{Ø}9,96\text{(M)}$,		
B			$\text{Ø}9,98\text{(L)}$		
A, B	2c		$-\text{[Ø}10\text{(M) - Ø}0,1\text{(P)]}$		

Figure 44 - Tableau de cotation