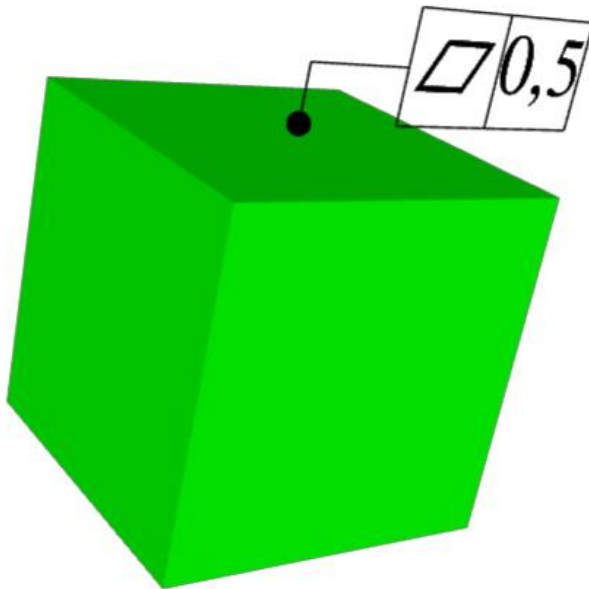


RESUME

Spécification géométrique des produits (GPS)



VELAMA

<http://www.velama.fr>

resume-gps-rev4

AVERTISSEMENT:

Ce résumé a été rédigé en prenant en compte les éditions des normes ISO GPS antérieures à janvier 2019. Il est à noter que les normes ISO 5459, ISO 8015 par exemple, sont en cours de révision.

Ce document a été réalisé et vérifié avec le plus grand soin par VELAMA, toutefois des erreurs peuvent subsister. Veuillez, je vous prie les signaler à l'adresse suivante:

formation@velama.fr

Ce document ne peut être diffusé à des tiers sans autorisation de son auteur.

A LIRE EGALEMENT:

L'auteur a également rédigé un ouvrage complet diffusé par les éditions DUNOD dans la série DunodTech intitulé:

Génie mécanique



AUTEUR:

JF MAUREL (VELAMA)

Directeur technique - expert international ISO

1 Généralités.....	4
1.1 Historique.....	4
1.2 Principes.....	5
2 Tolérances dimensionnelles.....	6
2.1 Dimension linéaire.....	6
2.2 Dimension angulaire.....	7
3 Tolérances géométriques.....	8
3.1 Description.....	8
3.2 Eléments tolérancés.....	13
3.3 Zones de tolérance.....	14
3.4 Références.....	17
3.5 Localisation.....	19
3.6 Groupes.....	20
3.7 Profil de surface.....	21
4 Modificateurs.....	22
4.1 Enveloppe.....	22
4.2 Maximum matière.....	23
4.3 Zone projetée.....	25
4.4 Pièces souples.....	26

Historique	
<p>Depuis les années 1980 un vaste chantier de normalisation a été entrepris pour développer un système de normalisation international dont les objectifs sont en particulier de disposer d'un système de normes pour définir sans ambiguïté la géométrie d'un produit.</p>	
<p>Le système de normes ISO 'GPS' ('Geometric Product Specification') est un ensemble de normes hiérarchisées de définition de la spécification géométrique d'un produit depuis sa conception jusqu'à son contrôle.</p>	
Hiérarchie décroissante des normes GPS	
niveau 1	normes de base
niveau 2	normes globales
niveau 3	normes générales
niveau 4	normes complémentaires
<p>Les règles des normes de niveau hiérarchique les plus élevés s'appliquent pour les normes de niveau moins élevé sauf si la norme de niveau moins élevé modifie explicitement la règle.</p>	
Liste de quelques normes ISO d'utilisation courante	
numéro : version	titre
ISO 14405-1:2016	Spécification géométrique des produits (GPS) Tolérancement dimensionnel Partie 1 : Tailles linéaires
ISO 1101:2017	Spécification géométrique des produits (GPS) Tolérancement géométrique Tolérancement de forme, orientation, position et battement
ISO 5458:2018	Spécification géométrique des produits (GPS) Tolérancement géométrique Tolérancement de localisation
ISO 5459:2011	Spécification géométrique des produits (GPS) Tolérancement géométrique Références spécifiées et systèmes de références spécifiées
ISO 2692:2014	Spécification géométrique des produits (GPS) Tolérancement géométrique Exigence du maximum de matière (MMR), exigence du minimum de matière (LMR) et exigence de réciprocité (RPR)
ISO 10579:2010	Spécification géométrique des produits (GPS) Cotation et tolérancement Pièces non rigides


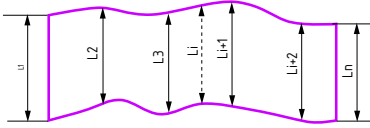
Principes	
Principe	Énoncé (Cf ISO 8015:2011)
invocation	Lorsqu'une norme du système GPS est utilisée alors toutes les normes du système GPS s'applique. La mention 'Tolérancement ISO 8015' n'est plus obligatoire.
dessin définitif	Toutes les exigences doivent être indiquées sur le dessin ou sur des documents référencés. Les spécifications qui s'appliquent à une phase de développement du produit doivent l'indiquer sauf s'il s'agit de la phase finale.
élément	Les éléments d'une pièce sont délimités par des frontières naturelles qui sont généralement des arêtes mais la liaison entre des cylindres et une sphère de même diamètre est considérée comme une frontière naturelle entre les éléments.
indépendance	Chaque spécification doit être satisfaite de manière indépendante des autres spécifications sauf indication contraire ou emploi de modificateur comme l'enveloppe.
décimal	Les décimales non indiquées sont des zéros. Le nombre 0,3 doit être interprété comme 0,30... et 3 comme 3,0...
cas par défaut	Une spécification peut contenir des opérateurs par défaut comme une taille mesurée entre deux points. Des modificateurs peuvent changer les opérateurs par défaut.
pièce rigide	La pièce est supposée infiniment rigide.
dualité	La spécification est indépendante de la procédure de mesure. L'acceptabilité d'une procédure de mesure est fonction des incertitudes de mesure.
maîtrise fonctionnelle	La spécification d'une pièce est complète lorsque toutes les fonctions prévues de la pièce sont décrites et maîtrisées avec des spécifications géométriques
spécification générale	Les spécifications générales s'appliquent pour tous les éléments sans spécification individuelle. Seules les spécifications individuelles s'appliquent si aucune spécification générale n'est indiqué dans ou près du cartouche.
responsabilité	Le concepteur a la responsabilité de l'adéquation des spécifications aux conditions fonctionnelles. L'incertitude de mesure est à la charge de la partie qui contrôle la pièce.
La température de référence est de 20°C. Les indications entre parenthèses ne sont pas des spécifications.	

Dimension linéaire

La norme ISO 14405-1 définit par défaut la taille comme la distance entre deux points opposés. Cette définition n'est valable que pour des pièces qui ont des points en vis-à-vis comme des cylindres ou des pièces prismatiques avec des faces opposées. Ces pièces sont des entités de taille selon ISO. Les défauts de forme ne sont pas limités par les dimensions.

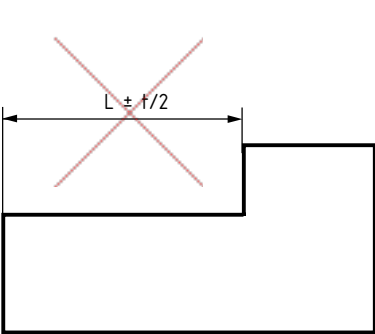
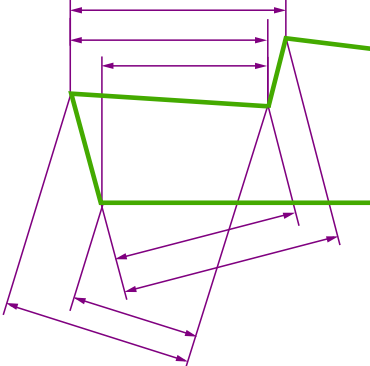
Les pièces concernées par des dimensions sont des entités de taille linéaires, c'est à dire des cylindres, des sphères, tores (si le grand diamètre de la directrice est fixe), cercles, deux plans parallèles opposés, deux droites parallèles opposées.

Dimension entre deux points par défaut

Dessin	Pièce réelle
 <p data-bbox="308 790 442 813">spécification</p>	 <p data-bbox="700 742 845 766">interprétation</p>

La spécification d'une distance sans points en vis-à-vis est déconseillée. Elles sont considérées comme ambiguës suivant ISO 14405-2.

Dimension sur faces de pièce décalées

Dessin	Pièce réelle
 <p data-bbox="257 1324 498 1348">spécification ambiguë</p>	 <p data-bbox="688 1364 851 1388">interprétations</p>

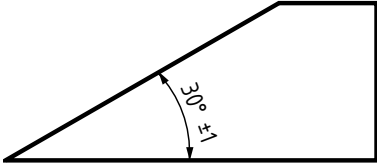
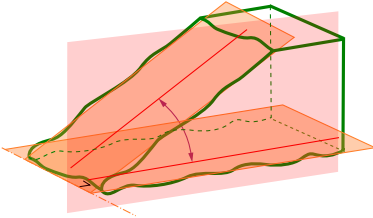
Dimension angulaire

Les dimensions angulaires sont décrites par des angles alors que les dimensions linéaires sont des longueurs.

Les dimensions angulaires comme les dimensions linéaires ne limitent pas les défauts de forme. La tolérance géométrique d'inclinaison sera préférée si la condition fonctionnelle impose une orientation entre deux faces par exemple.

La norme ISO 14405-3:2016 (Spécification géométrique des produits (GPS) — Tolérancement dimensionnel — Partie 3: Tailles angulaires) définit les dimensions angulaires.

Dimension angulaire

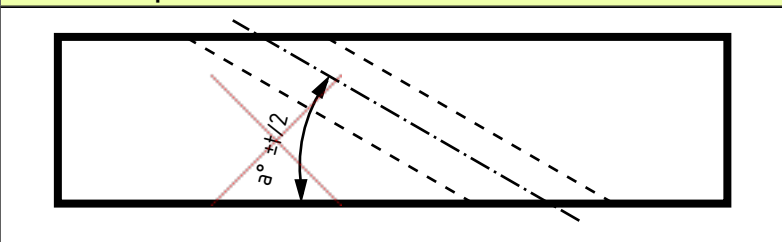
Dessin	ISO 14405-3:2016
	

L'angle est compris entre 2 droites associées par le critère minimax dans des plans perpendiculaires à l'axe d'intersection des plans des moindres carrés sans contrainte matière. (voir ISO 14405-3:2016 annexe A)

De même que pour les dimensions linéaires, les spécifications d'angle sur des axes sont déconseillées.

angle sur un axe (élément dérivé)

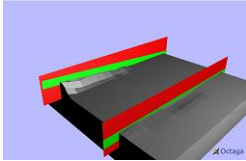
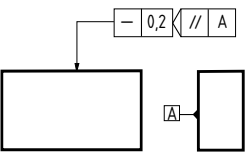
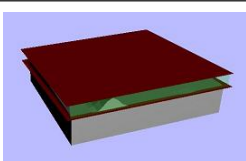
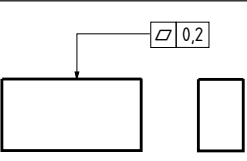
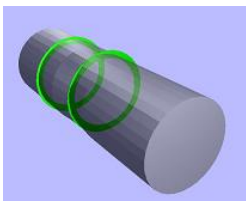
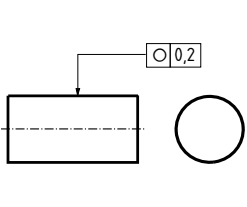
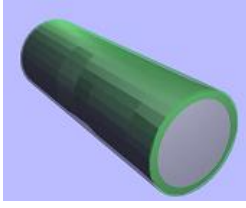
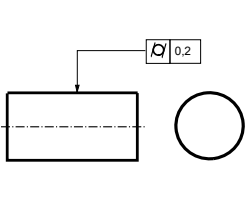
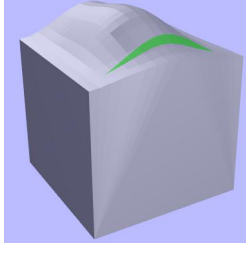
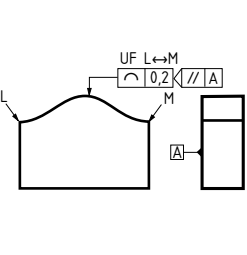
spécification déconseillée suivant ISO 14405-2

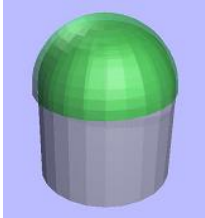
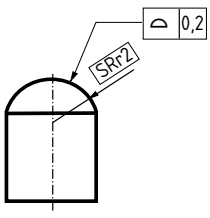
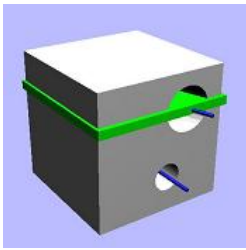
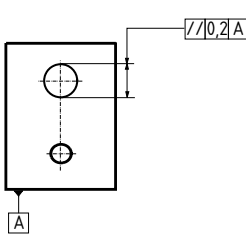
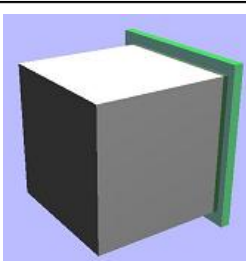
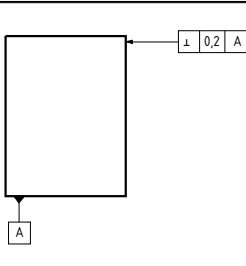
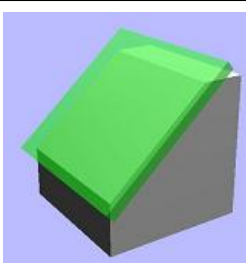
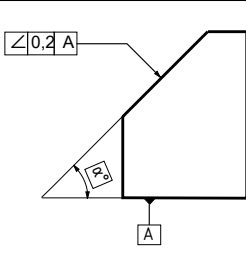


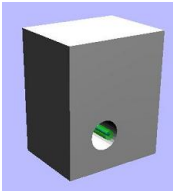
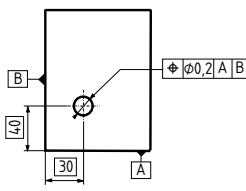
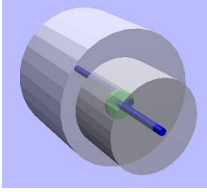
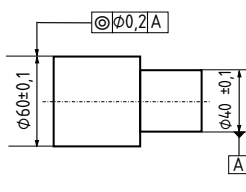
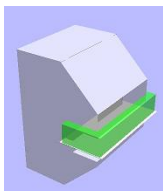
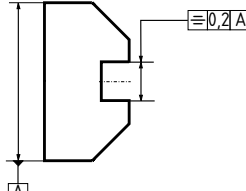
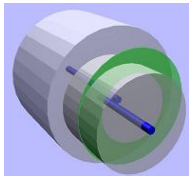
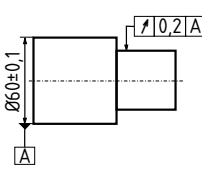
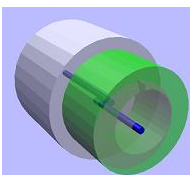
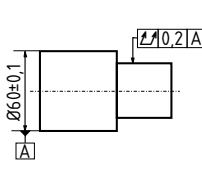
Une tolérance géométrique d'inclinaison devra être utilisée si la fonction le nécessite, pour maîtriser la forme de l'élément par exemple.

Description	
Pour définir une tolérance géométrique il est nécessaire de définir les éléments suivants:	
Tolérance géométrique	
Objet	Description
l'élément tolérancé:	Il s'agit de la portion de la pièce qui est concerné par la tolérance considérée. C'est un élément réel imparfait.
la référence spécifiée:	C'est un élément parfait construit à partir d'un élément réel imparfait de la pièce. La référence n'est pas toujours présente dans une spécification géométrique comme pour les tolérances de forme par exemple.
la zone de tolérance:	Il s'agit d'un volume parfait ou d'une surface parfaite dans lequel l'élément tolérancé doit être inclus. La zone de tolérance peut être contrainte en orientation ou en position par rapport à la référence spécifiée à l'aide de dimensions théoriquement exactes nommées TED ('Theoretically Exact Dimension').
spécification géométrique : indicateur de tolérance	
schéma 1	schéma 2
<p>Detailed description of Schéma 1: A diagram showing a feature (represented by a dashed box) with a tolerance indicator box on its left side. The indicator box contains three rows: the first row has symbols ϕ, t1, A, B; the second row has //, t2, A, B; the third row has -, t3. To the right of the feature is a feature control frame containing a perpendicularity symbol \perp and reference A.</p>	<p>Detailed description of Schéma 2: A diagram showing a feature (represented by a dashed box) with a tolerance indicator box on its right side. The indicator box contains three rows: the first row has symbols ϕ, t1, A, B; the second row has //, t2, A, B; the third row has -, ϕt3. To the left of the feature is a feature control frame containing a perpendicularity symbol \perp and reference A.</p>
Description	
zone	contenu
rouge	indicateur de tolérance (symbole, valeur de tolérance, référence)
bleu	indicateur de plan d'orientation ou plan d'intersection ou plan de collection ou élément de direction
verte	indications adjacentes
La zone de tolérance est généralement l'espace entre deux plans parallèles opposés. Le symbole ϕ indique une zone de tolérance cylindrique. Le symbole $S\phi$ indique une zone sphérique. La zone de tolérance pour un profil de ligne ou de surface est générée par un cercle ou une sphère dont le centre est sur la ligne ou la surface nominale.	

Symboles de tolérances géométriques		
Type de tolérances	Caractéristique tolérancée	Symbole
tolérances de forme	rectitude	—
	planéité	▭
	circularité	○
	cylindricité	∩
	profil d'une ligne	∩
	profil d'une surface	∩
tolérances d'orientation	parallélisme	//
	perpendicularité	⊥
	inclinaison	∠
	profil d'une ligne (*)	∩
	profil d'une surface (*)	∩
tolérances de position	localisation	⊕
	concentricité ou coaxialité	⊙
	symétrie	÷
	profil d'une ligne (*)	∩
	profil d'une surface (*)	∩
tolérances de battement	battement circulaire	↗
	battement total	//
(*) Les tolérances de profil peuvent également servir de tolérance de position ou d'orientation lorsqu'elles sont associées à des références.		

Tolérances géométriques de forme		
Zone de tolérance	Dessin	Interprétation
		Toute ligne de la surface réelle parallèle au plan d'intersection parallèle à A doit être contenue entre 2 droites parallèles distantes de 0,2 mm
		La surface réelle doit être comprise entre 2 plans parallèles distants de 0,2 mm
		Le pourtour de chaque section droite du diamètre extérieur doit être compris entre 2 cercles coplanaires concentriques distants de 0,2 mm
		La surface considérée doit être comprise entre 2 cylindres coaxiaux distants de 0,2 mm
		Dans chaque section parallèle au plan d'intersection (A), la ligne réelle doit être comprise entre 2 lignes enveloppes des cercles ($\varnothing 0,2$) dont les centres sont sur le profil géométrique parfait.

Tolérances géométriques de forme (suite)		
Zone de tolérance	Spécification	Interprétation
		La surface considérée doit être comprise entre 2 surfaces enveloppes des sphères de diamètres 0,2 dont les centres sont situés sur une surface ayant la forme géométrique parfaite définie par le modèle nominal.
Tolérances géométriques d'orientation		
Zone de tolérance	Spécification	Interprétation
		L'élément toléré doit être compris entre deux plans parallèles distants de 0,2 mm parallèles au plan associé à la surface A.
		La surface tolérée doit être comprise entre 2 plans parallèles distants de 0,2
		La surface inclinée doit être comprise entre 2 plans parallèles distants de 0,2 et inclinés de α° par rapport à la surface de référence A

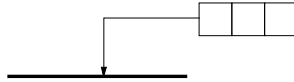
Tolérances géométriques de position		
Zone de tolérance	Spécification	Interprétation
		L'axe du trou doit être compris dans un cylindre de diamètre 0,2 dont l'axe est dans la position théoriquement exacte définie
		l'axe du cylindre dont la cote est reliée au cadre de tolérance doit être compris dans une zone cylindrique de diamètre 0,2 coaxiale à l'axe de référence.
		le plan médian de la rainure doit être compris entre 2 plans parallèles distants de 0,2 mm et disposés symétriquement au plan médian par rapport à l'élément de référence.
Tolérances géométriques de battement		
Zone de tolérance	Spécification	Interprétation
		le battement radial ne doit pas dépasser 0,2 mm dans chaque plan de mesurage pendant une révolution autour de l'axe de référence A
		le déplacement radial ne doit pas dépasser 0,2 mm sur la surface lors de la révolution autour de l'axe de référence combiné avec un mouvement axial de l'instrument de mesure parallèle à la référence.

Éléments tolérancés

Les tolérances géométriques sont définies dans la norme ISO 1101.

L'élément tolérancé est la partie réelle de la pièce à laquelle s'applique la spécification considérée.

Sauf indication contraire la spécification s'applique à toute l'étendue de l'élément tolérancé.



désignation de l'élément tolérancé

La ligne repère peut partir de n'importe quelle extrémité du cadre.

Pour désigner plusieurs éléments, on ajoute 'n x' au-dessus du cadre de tolérance.

Désignations d'éléments

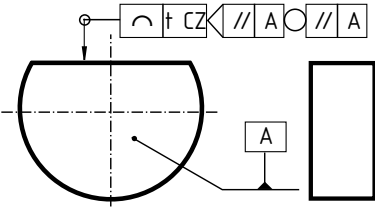
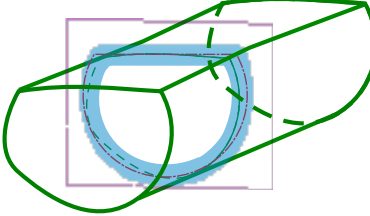
<p>Surface</p>	
<p>Élément médian (axe)</p>	
<p>Élément médian (axe)</p>	

Les zones de tolérance	
La zone de tolérance correspond au volume ou à la surface dans lesquels l'élément tolérancé doit être situé pour respecter la spécification.	
Forme des zones de tolérances	
les zones de tolérance sont:	un disque
	l'espace entre deux cercles concentriques
	l'espace entre deux lignes quelconques équidistantes
	l'espace entre deux droites parallèles
	le volume d'un cylindre
	l'espace entre deux cylindres coaxiaux
	l'espace entre deux surfaces quelconques équidistantes
	l'espace entre deux plans parallèles
	le volume d'une sphère
Zones indépendantes ou zone combinées	
Zones indépendantes	Zone combinées

Lorsqu'on utilise le symbole CZ les zones de tolérances liées doivent être contraintes entre elles en position et en orientation en utilisant les dimensions théoriquement exactes 'TED' explicites ou implicites.

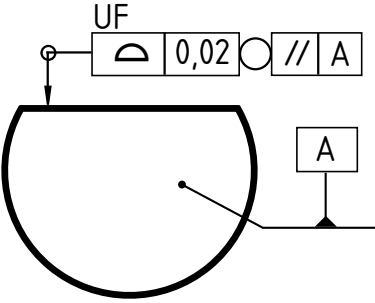
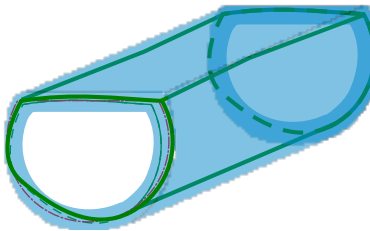
Il est possible de désigner un élément tolérancé comme une ligne sur tout le tour de la pièce. La zones de tolérance est représentée ici uniquement dans une section mais toutes les sections sont concernées.

Lignes tolérancées sur tout le tour de la pièce

Dessin	Zones de tolérance
 <p data-bbox="252 662 504 686">élément sur tout le tour</p>	 <p data-bbox="644 662 896 686">élément sur tout le tour</p>

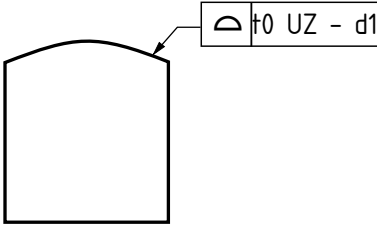
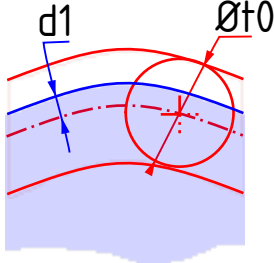
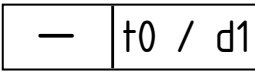
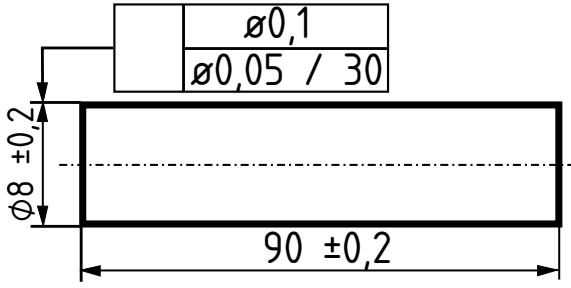
Il est possible également de désigner la surface de la pièce sur tout le tour.



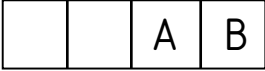
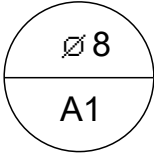
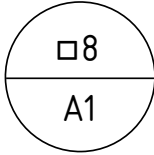


Surface tolérancée sur tout le tour de la pièce.


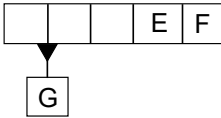
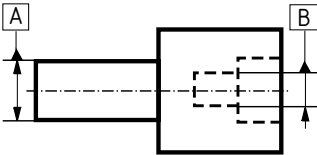
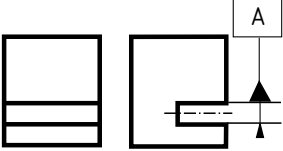
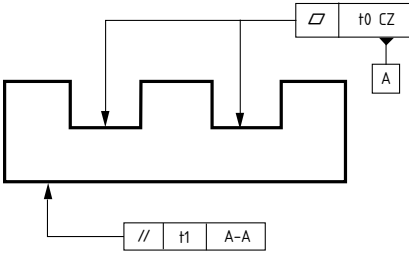
Dessin	Zone de tolérance
	

Il est possible d'utiliser le symbole 'entre' (↔) pour spécifier uniquement une partie de la pièce.

Le symbole UF ('United Feature') permet la spécification d'un élément unifié et non des éléments simples indépendants par défaut (voir ISO 8015:2011)

Zone de tolérance décalée	
dessin	signification
	
<p>Le signe négatif correspond à un décalage vers l'intérieur de la matière. La ligne bleue est le profil théorique. Le côté matière est en bleu clair. Les lignes rouges représentent les limites de la zone de tolérance.</p>	
Zone courante	
indication	
	
Exemple d'utilisation	
	
<p>Dans l'exemple ci-dessus la première spécification concerne toute la longueur de la pièce. La deuxième concerne toute portion de longueur trente millimètres.</p>	

Spécification des références	
Les références sont décrites dans la norme ISO 5459.	
Définitions	
Termes	Définitions
Les éléments de référence:	Il s'agit des éléments réels de la pièce imparfaite.
Les références spécifiées:	Il s'agit des éléments de situation des éléments associés aux éléments réels de la pièce. Il s'agit donc d'élément parfait définis à partir d'un critère d'association. Les références spécifiées permettent d'orienter ou de positionner les zones de tolérances.
Types de références	
Spécification	Type de référence
	référence simple
	référence commune
	système de référence ordonné
Indications de référence partielle	
Sur un disque	Sur une portion carrée
	
Écritures équivalentes	
Utilisation d'un triangle plein	Utilisation d'un triangle vide
	

Indication des références	
Dessin	Signification
	la référence spécifiée est un plan parfait construit à partir de la face réelle inférieure de la pièce. C'est le plan 'minmax' extérieur matière suivant ISO 5459:2011.
	Il est possible d'utiliser le cadre de tolérance pour identifier une référence. L'élément tolérancé est l'élément de référence.
Désignation d'un élément médian	
Dessin	Commentaire
	désignation d'axes de référence
	désignation d'un plan médian de référence
Utilisation d'une référence commune	
	

Localisation

La norme ISO 5458:2018 précise les règles d'utilisation des tolérances de localisation pour les cylindres (axe ou alésage) et les plans parallèles opposés (rainure ou tenon). Cette édition rend systématique l'utilisation de SZ (zones séparées) et CZ (zones combinées) pour éviter les ambiguïtés.

Les exemples ci-dessous illustrent l'utilisation des symboles SZ et CZ ainsi que les plans d'orientation pour des zones de tolérances constituées de l'espace entre deux plans parallèles opposés.

Exemples	
Dessin	Commentaire
	<p>La zone de tolérance des alésages est constituée de quatre cylindres alignés perpendiculaire à la référence A et contraints par les dimensions théoriquement exactes (TED). La zone de tolérance pour le plan est l'espace entre deux plans centré sur la TED issue de A.</p>
	<p>Les zones de tolérances sont alignées sur le modèle de dimensions théoriques exactes et orientées suivant les plans d'orientation. Le symbole CZ permet d'identifier un groupe.</p>
	<p>Les zones de tolérances sont cylindriques. L'ensemble des trous n'est pas positionné par rapport aux bords de la pièce. Les zones de tolérances sont positionnées par le système de dimensions de dimensions exactes (TED). Le symbole CZ est requis pour identifier un groupe.</p>

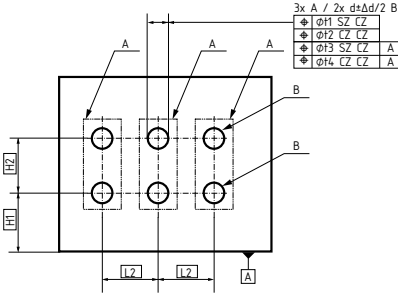
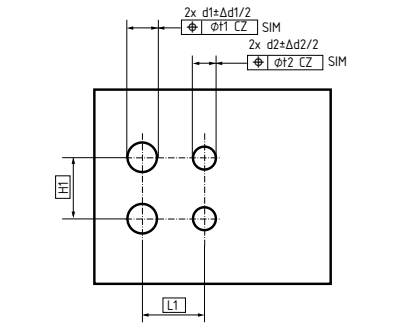
Groupes

La norme ISO 5458:2018 permet de définir des groupes à plusieurs niveaux pour les cylindres (axe ou alésage) et les plans parallèles opposés (rainure ou tenon). Les symboles SZ (zones séparées) et CZ (zones combinées) et CZR (contraintes en rotation uniquement) permettent de spécifier les contraintes à l'intérieur des groupes et entre les groupes.


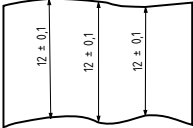
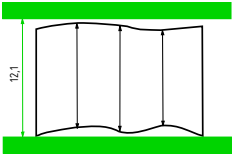
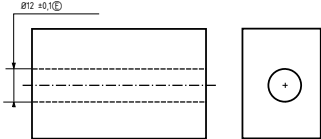
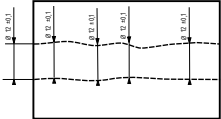
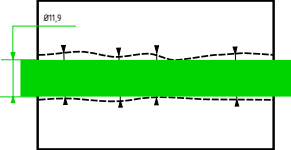
La norme ISO 5458:2018 permet de définir plusieurs niveaux de groupes et donc la répétition d'un motif constitués de plusieurs trous par exemple.

La norme ISO 5458:2018 permet également de définir des groupes d'éléments différents à l'aide du symbole SIM pour 'simultané'.

Exemples

Dessin	Commentaire
	<p>Les spécifications concernent trois groupes (A) chacun constitués de deux trous (B). Le premier symbole SZ ou CZ dans l'indicateur de tolérance concerne les contraintes des groupes A entre eux. Le second symbole concerne les contraintes des trous B à l'intérieur des groupes A. La valeur de tolérance t2 doit être supérieure à t1. La valeur de tolérance t4 doit être supérieure à t3.</p>
	<p>Les deux spécifications définissent des groupes de deux trous grâce au symbole CZ. Ces trous sont ensuite contraints ensemble à l'aide du modificateur SIM qui lie les deux spécifications de localisation pour des alésages de diamètre différents.</p>

Profil de surface	
La norme ISO 1660:2017 illustre l'utilisation des spécifications de profils. Les symboles UF ou CZ sont utilisés pour contraindre les éléments simples ou les zones de tolérances. Les règles sont définies dans la norme ISO 1101:2017.	
Exemples	
Dessin	Commentaire
<p>Technical drawing of a rectangular part with a rounded corner. Dimensions L, L1, L2, B, and M are shown. A feature control frame at the top left contains 'UF L↔M', a circular symbol with a vertical line, 'f', 'A', 'B', and 'C'. A radius symbol 'Rr1' is at the corner. Datum markers 'A' and 'C' are on the right side.</p>	<p>La zone de tolérance est générée par une sphère dont le diamètre est égal à la valeur de tolérance et dont le centre est mobile sur la surface nominale. Le symbole UF ('United Feature') permet d'unifier les éléments simples.</p>
<p>Technical drawing of a rectangular part with a rounded corner, similar to the first one. The feature control frame contains 'UF L↔M', a circular symbol with a vertical line, 'f', '2', 'OZ', 'A', 'B', and 'C'. The rest of the drawing is identical.</p>	<p>Le symbole OZ ('Offset Zone') rend les dimensions variables pour la définition de la surface théorique exacte ('TEF'). Voir règle F ISO 1101:2017. Le symbole OZ permet de rendre la zone de tolérance 'expansible'. La valeur de la tolérance n'est pas affectée.</p>
<p>Technical drawing of a rectangular part with a rounded corner, similar to the first one. The feature control frame contains 'UF L↔M', a circular symbol with a vertical line, 'f', 'A', 'B', and '>< C'. The rest of the drawing is identical.</p>	<p>Le symbole >< permet d'appliquer des contraintes d'orientation seulement sur la zone de tolérance pour la référence B.</p>

Enveloppe	
l'exigence de l'enveloppe est indiquée à l'aide du symbole $\text{\textcircled{E}}$ disposé après une dimension. Cette spécification correspond à une fonction de montage qui peut être utilisée pour des cylindres ou des prismes.	
Exigence de l'enveloppe	
spécification	exigence
taille tolérancée	le respect de la tolérance sur la dimension linéaire pour tous les points en vis-à-vis (dimension locale)
enveloppe	la surface de la pièce ne doit pas dépasser l'enveloppe de forme parfaite au maximum de matière
Spécification avec enveloppe sur pièce prismatique	
	
Vérification de la taille	Vérification de l'enveloppe
	
Spécification avec enveloppe sur un alésage	
	
Vérification de la taille	Vérification de l'enveloppe
	

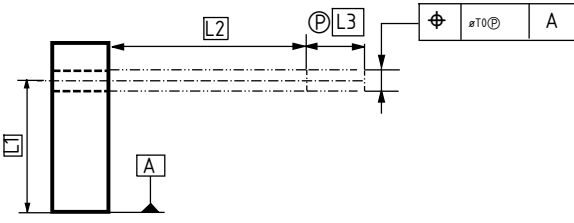
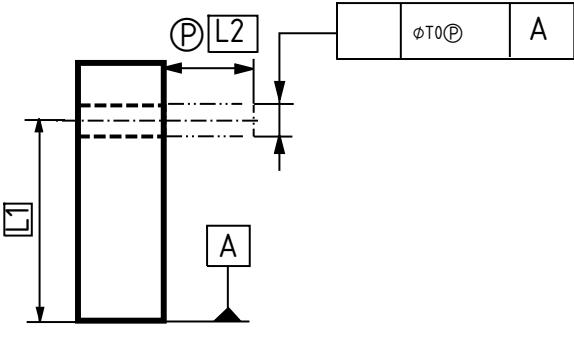
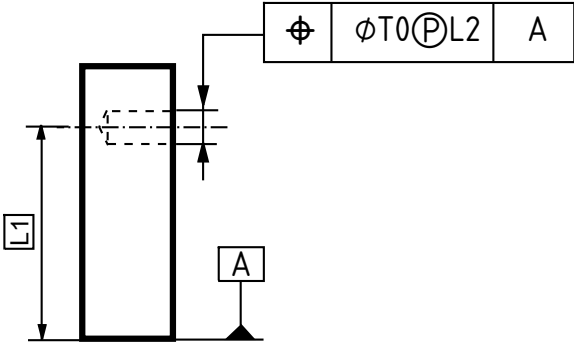
Maximum matière	
L'exigence du maximum de matière permet d'augmenter la tolérance géométrique lorsque la dimension n'est pas au maximum matière pour satisfaire une nécessité de montage de pièce. Voir ISO 2692:2014.	
Exemple de montage arbre - bague	
Dessin	Commentaire
	<p>La condition fonctionnelle à respecter est un jeu minimal de 0 et un appui plan. Soit</p> $j \geq 0$ <p>j : jeu entre l'arbre et l'alésage</p>
Spécification associée à l'exigence fonctionnelle	
Arbre	Bague
<p>Dans le cas le plus défavorable le jeu est exprimé par la relation suivante:</p> $j = (D_m - \perp_{\text{trou}_M}) - (d_M + \perp_{\text{arbre}_M})$ <p> j_m : jeu minimum entre les pièces D_m : diamètre minimum du trou \perp_{trou_M} : défaut maximum de perpendicularité sur le trou d_M : diamètre maximum de l'arbre \perp_{arbre_M} : défaut maximum de perpendicularité sur l'arbre </p> <p>Pour les spécifications choisies, la relation est vérifiée</p>	
Vérification au pire des cas	
Condition	Commentaire
$j = (40,08 - 0,05) - (40 + 0,03) = 0$	Le jeu au pire des cas satisfait la condition fonctionnelle demandée.

Examen d'un arbre fabriqué		
Définition de l'arbre	Critère	Conclusion
$d = 39,90 \text{ mm}$ $\perp_{\text{arbre}} = 0,1 \text{ mm}$	La dimension du diamètre est acceptable mais le défaut de perpendicularité est hors tolérance.	Le contrôleur doit considérer la pièce non-conforme au plan toutefois il peut faire une demande de dérogation pour accepter la pièce en l'état.
Vérification de la condition fonctionnelle		
Hypothèse	Vérification	
L'arbre considéré doit pouvoir se monter dans une bague au pire des cas.	$j = (40,08 - 0,05) - (39,9 + 0,10) = 0,03 \geq 0$ L'arbre fabriqué est acceptable car il respecte la condition fonctionnelle même pour la pire bague bien qu'il ne soit pas conforme au plan. La dérogation peut donc être acceptée.	
Cette situation vient du fait que la valeur admissible du défaut de perpendicularité dépend de la valeur de la tolérance dimensionnelle du diamètre. L'ajout de la spécification au maximum de matière permet de mieux gérer cette situation.		
Spécification au maximum de matière		
Dessin	Interprétation	
	la vérification comporte deux étapes: la vérification de la dimension du diamètre entre les 2 bornes, puis la vérification de l'équation à l'état virtuel au maximum de matière. $d + \perp_{\text{arbre}} < \delta = 40,03 \text{ mm}$ δ : diamètre de l'état virtuel au maximum de matière (cylindre parfait)	
Spécification à 0 au maximum matière		
Dessin	Commentaire	
	La spécification dimensionnelle au maximum de matière a été augmentée pour pouvoir accepter des pièces de fort diamètre avec des défauts de perpendicularité faibles.	

Tolérance projetée

Les tolérances projetées permettent de spécifier une zone virtuelle désignée par un trait mixte double en dehors de la pièce. La tolérance repérée par un symbole ou modificateur \textcircled{P} s'applique alors à cette zone.

Écritures

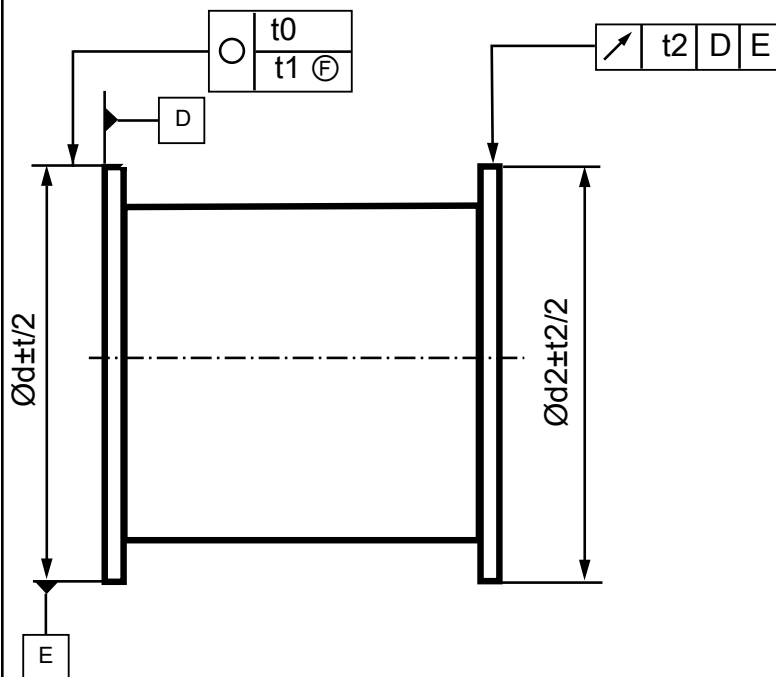
Dessin	Commentaire
	<p>zone de tolérance projetée distante de la pièce</p>
	<p>zone de tolérance projetée en sortie de pièce</p>
	

Pièces souples

On peut spécifier grâce à la norme ISO 10579 un état libre de la pièce repéré avec le modificateur E et un état contraint qui est décrit sur le plan ou sur un document référencé.

Exemple de spécification de pièce souple

Dessin



ISO 10579-NR

LA REFERENCE D EST SERREE
SUR UNE SURFACE PLANE AVEC
12 BOULONS DE M16

Signification

exemple de spécification de pièce non rigide: les spécifications avec modificateurs sont à l'état libre ('Free') de la pièce. Les autres spécifications doivent être vérifiées à l'état contraint de la pièce décrit dans la note.

NOTES:

trainings

calcul	cotation	matériaux
résistance des matériaux méthode des éléments finis	cotation fonctionnelle ISO ASME GD&T	choix matériaux aciers inoxiydables
fatigue	lecture de plans	corrosion - traitements de surface
conception	métier	express
composants mécaniques calcul, cotation, matériaux	appareil à pression tuyauterie, charpente	RDM matériaux métalliques

VELAMA

<http://www.velama.fr>