



EASY TOLERANCING

Proposition d'une nouvelle génération de normes de cotation adaptée à l'ère numérique

Auteur : Bernard Anselmetti

Juillet 2016

PLAN DU DOCUMENT

Index et symboles

PARTIE 1 : Bases de la cotation

PARTIE 2 : Spécifications complémentaires

PARTIE 3 : Références complémentaires

PARTIE 4 : Spécification des assemblages

ANNEXE A : Applications des bases de la cotation

ANNEXE B : Applications des spécifications complémentaires

ANNEXE C : Applications des références complémentaires

ANNEXE D : Métrologie

ANNEXE E : Définitions

Le privilège d'un chercheur, c'est de pouvoir explorer de nouvelles idées pour tenter d'aller plus loin.

Pr Bernard ANSELMETTI

INDEX

(Partie – chapitre . paragraphe)

Action mécanique	4-11	Ligne de crête / de fond	2-2.3
Affleurement	4-4.3	Longueur filetée	1-6.4
Arête	2-8		
Association d'une référence	1-3.1	Maximum / minimum de matière	1-2.5
Association avec décalage ▷	1-3.1/ 3-1.2	Modèle nominal	1-1.2
Association avec distance variable [DV]	3-1.3	Motif	2-1.2
Axe associé	1-2.2		
Axe réel	1-2.2 / 2-3.1	Ordre des références	1-3.2
Axe réel conventionnel	2-3.4	Orientation d'un groupe	1-2.6
		Orientation d'une surface composée	1-2.6
		Orientation des zones de tolérance	2-4.2
Balançage	4-4.4		
Battement	2-6.5	Plan fonctionnel et d'interface	4-1.3
		Position d'un groupe	1-2.6
Chanfrein	1-6.2 / 2-7.1	Position d'une surface composée	1-2.6
Composite	2-4.8	Précontrainte	4-3.3
Composition (forme/orientation/position)	1-2.6	Principe d'indépendance	1-1.2
Commune (références)	1-3.3	Profondeur d'un trou borgne	1-6.5
Concaténation de zones de tolérance	2-4.4	Projection	1-4 / 2-5
Conditions de mesure	2-9 / 4-1.5 / 4-12		
Congé	1-6.2/2-7.1	Raideur	4-8
Congé évolutif	2-7.5	Redressage numérique	2-9.2
Course	4-9	Référence (association)	1-3.2
Cote au maxi/mini matière	1-2.5	Références communes	1-3.3
Cote entre faces parallèles	1-6.3	Référence sur filetage	1-3.1
		Référence avec \textcircled{A}	3-3.2
Datum système	2-10.2	Référence avec \textcircled{P}	1-6.3 / 3-3.2
Débattement	4-5	Référence sur une section	3-2
Décalage de la surface nominale	2-4.8	Règle de lecture d'une spécification	1-1.2
Décalage de la surface associée ▷	3-1.2	Répétition d'une spécification	1-5.1 / 2-1
Décentrage de la zone de tolérance (UZ)	2-4.7	Risque	4-13
Désignation des surfaces	1-2.1		
Désignation des zones partielles	1-2.1/2-2	Serrage	4-2.3
Dimension locale	1-6.3	Souple (pièce)	2-9
Distance variable [DV]	3-1.3	Spécification	1-2
		Spécification composite	2-4.9
Elément de contact	3-5	Spécification des arêtes	2-8
Elément de situation	3-4	Spécification d'un groupe	1-2.6
Elément tolérancé	1-2.2	Spécification en plage projetée	1-4.1
Eloignement	2-4.2 / 2-9.1	Spécification locale	2-2.7
Encombrement	4-10	Spécification statistique	2-9
Etendue d'une surface	2-8.3	Structure données de tolérancement	1-1.3/2-11.4
Extrémité de la surface	2-8.2	Surface composée	1-2.3/1-2.6
		Surface médiane conventionnelle	2-3.6
Filetage (longueur)	1-6.4	Surface médiane réelle	1-2.2
Filtrage	2-9.1	Surface spécifiée	1-1.2
Flexible (pièce)	2-9.2	Symbole des spécifications	1-2.4 / 2-6.1
Flottement	1-3.1	Système de références	1-3
Forme	2-6		
Forme apparente d'une ligne (OZ)	2-6.6	Tableau des conditions de mesure	2-10.1
Forme apparente d'une surface (OZ)	2-4.7	Tableau des spécifications	2-11.1
Forme d'un groupe	1-2.6	Tableau des systèmes de références	2-11.2
Forme d'une ligne	2-6.4	Tolérance décentrée (UZ)	2-4.7
Forme d'une surface composée	1-2.6	Tolérance évolutive	2-4.5
Forme locale	2-2.7	Tolérance générale	1-6
		Tolérances variables	2-4.4
Groupe	1-2.6	Tout autour « O »	1-2.6
Groupe de surfaces composées	1-2.6	Toutes les surfaces de la pièce « \textcircled{C} »	1-6.1
		Trajectoire d'un mobile	4-6
Jeu	4-2.2 / 4-3	Translation du repère	3-1.5
Hiérarchisation	2-10.3	Translation de zone de tolérance	2-4-3

Voile	4-7
Zone de tolérance	1-2.5 / 2-4.1
Zone de tolérance concaténée	2-4.4
Zone partielle	1-2.1/2-1
Zone partielle glissante	2-2.5
Zone partielle locale	2-2.7
Zone partielle mobile	3-1.4

Symboles

NOTE : ce document utilise de nombreux symboles (ex \textcircled{M} : maxi matière, /// : battement total) issus de la police ARIAL UNICODE MS et quelques symboles de la police CATIA Symbol.

Forme		Orientation		Position	
Désignation	Symbole	Désignation	Symbole	Désignation	Symbole
Rectitude	—	Parallélisme	//	Localisation	\oplus
Circularité	\bigcirc	Perpendicularité	\perp	Concentricité	\odot
Planéité	\square	Inclinaison	\sphericalangle	Coaxialité	
Cylindricité	 			Symétrie	\equiv
Forme d'une ligne quelconque	\frown	Orientation d'une ligne quelconque	\sphericalangle	Position d'une ligne quelconque	\frown
Forme d'une surface quelconque	\smile	Orientation d'une surface quelconque	\sphericalangle	Position d'une surface quelconque	\smile

Battement	Battement circulaire	\nearrow	Battement total	///
-----------	----------------------	------------	-----------------	--------------

Figure 1 - Symbole des spécifications

Table 1 —Symbole graphique

Symbole	Description	Section
	Spécification géométrique dans un cadre de tolérance	
\pm	Spécification dimensionnelle ou cote (tolérancée)	
Nc	Composition de N surfaces spécifiées en une seule surface	
Nx	Groupe de N surfaces spécifiées. Les N éléments tolérancés sont dans N zones de tolérance	
Nx.Kc	Groupe de N surfaces composées de k surfaces spécifiées. Les N éléments tolérancés doivent être dans N zones de tolérance	
Nr	Duplication de la spécification N fois, soit avec des surfaces spécifiées similaires soit avec des références similaires.	
CZ	Zone commune : regroupe des zones de tolérance en une seule zone, en imposant une position relative exacte entre les zones.	
O	« Tout autour » regroupe toutes les surfaces du contour en une seule surface .	
\odot	« Toutes les surfaces » Les surfaces spécifiées sont le groupe formé par toutes les surfaces de toute la pièce ou de l'ensemble décrit en commentaire.	
	Indicateur ou cadre de référence donnant le nom de la surface.	
	Nom unique donné aux surfaces de la composition ou du groupe	
	Nom donné à chacune des surfaces identiques ou similaires. (Il y a n références A).	
P,Q,R \leftrightarrow S	Symbole « entre ». Portion de surfaces limitée par des points ou des lignes.	
P\leftrightarrowQ	Symbole « glissant de à ». Course d'une zone partielle glissante	
P,Q,R,S \rightarrow P	Symbole « de à » : Limites pour une zone de tolérance évolutive, un congé ou un chanfrein évolutif (par défaut, la variation est linéaire entre les lignes ou les points)	
P & Q 0,1 & 0,2	Opérateur de concaténation d'éléments tolérancés et de zones de tolérance pouvant être identiques ou différents, en imposant une position relative exacte entre les zones.	
P ; Q 0,1 ; 0,2	Liste ordonnée des surfaces spécifiées et des zones de tolérance au sein d'un groupe hétérogène.	


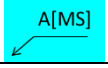




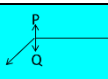




	Indicateur de désignation de l'axe réel linéique de la surface A	
	Indicateur de désignation de la surface médiane réelle de la surface A	
$\varnothing t$	Zone de tolérance cylindrique	
$S\varnothing t$	Zone de tolérance sphérique	
 	Rayon ou diamètre théoriquement exacte d'un cylindre	
 	Rayon ou diamètre théoriquement exacte d'une sphère	
Ch $\pm \dots$ à \dots°	Spécification d'un chanfrein	
R... \pm ...	Spécification d'un congé	
	Chanfrein ou congé propagé le long de l'arête entre P et Q.	
	Hiérarchisation des caractéristiques produit	
	Hiérarchisation des caractéristiques process	
	Spécification semi-quadratique du lot	
	Spécification inertielle du lot	

Table 2 —Symbole pour les zones partielles

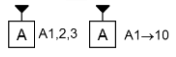





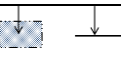
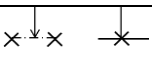
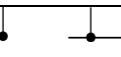
	Indicateur de référence avec liste des zones partielles. (Le symbole A1 →10 signifie de A1 à A10)	
	Indicateur de zone partielle ou de référence partielle	
	Indicateur de référence partielle mobile	
	Indicateur de zone partielle sur toute la face	
	Ligne repère en trait continu pour une zone partielle visible et en trait pointillé pour une zone partielle cachée	
	Ligne repère pour une zone partielle définie sur une ligne de crête dans une direction donnée	
	Extrémités de la ligne repère pour une zone partielle surfacique en vue de face et en vue de côté.	
	Extrémités de la ligne repère pour une zone partielle linéique en vue de face ou en vue de côté et en vue en bout.	
	Extrémités de la ligne repère pour une zone partielle ponctuelle en vue de face et en vue de côté.	

Table 3 —Modificateurs pour prendre en compte les jeux

Symbole	Description	
Ⓐ	Spécification de l'axe réel ou de la surface médiane réelle	
Ⓒ	Spécification de l'axe associé par les moindres carrés (Gauss)	
Ⓕ	Exigence au minimum de matière	
Ⓜ	Exigence au maximum de matière	
Ⓟ	Élément tolérancé ou référence sur une projection	

Table 4—Modificateurs de distance dans un système de références


Symbole	Description	
[DV]	Distance variable dans une référence	
	Distance variable d'une référence par rapport aux références prioritaires	

Table 5 —Symbole des plans d'annotation



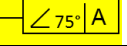
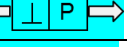
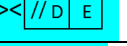
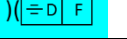
Symbole	Description	
	Indicateur d'orientation d'une zone de tolérance	
	Indicateur de translation de la zone de tolérance	
	Indicateur d'orientation de largeur de zone de tolérance	
	Indicateur de direction du décalage par ▷ de la surface associée	
	Indicateur de translation du nominal sur la surface associée	
	Indicateur d'orientation du nominal sur la surface associée	

Table 6 — Symboles des critères d'association d'une surface nominale à une surface réelle

Symbole	Description	
[CO]	Surface nominale extérieure matière Minimax (Chebychev Outside material)	
[G]	Surface nominale des moindres carrés Gauss	
[GM]	Surface nominale des moindres carrés moyen	
[GV]	Surface nominale des moindres carrés avec offset variable	
[GA]	Moindres carrés avec angle variable (cône ou 2 plans face à face)	

Table 7 — Symboles des éléments de situation




Symbole	Description	
	Indicateur de désignation de l'élément de situation associé à une surface en respectant les contraintes entre les références	
	Indicateur de désignation de l'élément de situation associé à une surface indépendamment des autres surfaces	
	Indicateur de désignation d'une référence définie sur un élément de situation construit dans un système de références	
A[PL] A<PL>	Référence définie sur l'élément de situation	
[PL] <PL>	Elément de situation Plan	
[SL] <SL>	Elément de situation Droite représentant une liaison cylindrique	
[RV] <RV>	Elément de situation Droite représentant une liaison révolution	
[GL] <GL>	Elément de situation Droite représentant une liaison glissière	
[PT] <PT>	Elément de situation Point représentant une liaison sphérique	

Table 8— Symboles des éléments de contact








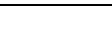
Symbole	Description	
	Indicateur de désignation de l'élément de contact associé à une surface	
	Indicateur de désignation d'un élément de contact associé à une surface, synchrone avec tous les autres éléments de contact de même numéro.	
A[CF]	Référence définie sur un ou plusieurs éléments de contact associés à A	
	Elément de contact mobile en pivot glissant par rapport au modèle nominal	
	Elément de contact mobile en pivot par rapport au modèle nominal	
	Elément de contact mobile en glissière par rapport au modèle nominal	
	Elément de contact mobile en rotule par rapport au modèle nominal	
	Elément de contact mobile en linéaire annulaire par rapport au modèle nominal	
	Elément de contact mobile en liaison plane par rapport au modèle nominal	

Table 9— Symboles de décalage d'une surface nominale

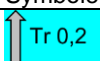
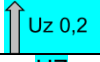
Symbole	Description	
	Indicateur de translation de la surface nominale.	
	Indicateur d'offset de la surface nominale.	
UZ	Modificateur d'offset pour le décentrage de la zone de tolérance	

Table 10— Symboles pour conditions de mesure particulières



Symbole	Description	
	Indicateur conditions de mesure à l'état contraint ou à l'état libre.	
	Indicateur de direction de la gravité	

Table 11 – Spécifications géométriques pour des mécanismes

New













Montabilité		Jeu et serrage
Statique		Toutes les spécifications ISO
		Affleurement Balançage
Débattement		Mobilité en translation due aux jeux
		Mobilité en rotation due aux jeux (en mrd)
Cinématique		Forme, orientation, position de la trajectoire
		Amplitude angulaire autour d'un axe (en mrd)
Voile		Invariance d'une surface
Raideur		Déformation sous variation de charge
Course		Déplacement entre deux configurations du mécanisme
		
Boîte d'encombrement		Limites à ne pas dépasser, y compris pour les servitudes

Table 11 – Symboles pour les conditions de mesure des mécanismes

New











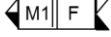
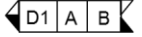
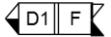
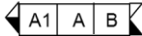
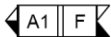

	Direction de la gravité
	Maintien du contact
	Poussée appliquée pour rattraper les jeux
	Traction appliquée pour rattraper les jeux
T1 	Mobilité en translation
R1 	Mobilité en rotation ou suivant une courbe
$\exists R1.1$ $\exists T1.1$	Il existe au moins une position de R1 ou de T1 telle que la spécification soit respectée
	Spécification par rapport à une partie fixe du mécanisme

Table 12 - Indication des actions mécaniques

New

	Force extérieure
	Effort interne au mécanisme entre la surface indiquée et les surfaces A et B.
	Moment extérieur
	Moment interne au mécanisme entre la surface indiquée et la surface F.
	Déplacement imposé par rapport à un système de références
	Déplacement relatif de la surface indiquée par rapport à F.
	Angle imposé par rapport à un système de références
	Angle relatif de la surface indiquée par rapport à F
	Pression

Préambule

1. Concept principal de EASY Tolerancing

EASY Tolerancing est une nouvelle génération du langage de cotation adaptée à l'ère numérique. L'approche fonctionnelle, la simplification du vocabulaire et l'assouplissement de certaines règles facilitent la formation et permettent une meilleure exploitation. De nouvelles possibilités permettent de traiter des géométries complexes.

Le principal concept est que le concepteur décrit tous les éléments géométriques dans le modèle nominal numérique (pièce nominale, références, zone partielle, zone de tolérance, plan d'annotation, points de mesure, direction de décalage...). Ce modèle nominal est associé à la pièce réelle par le système de références de la spécification étudiée, ce qui permet de vérifier si la surface réelle tolérancée est dans la zone de tolérance.

EASY Tolerancing reprend la quasi-totalité du langage graphique de cotation ISO. De nouveaux symboles plus puissants et de nouvelles définitions plus générales sont proposés pour permettre la lecture d'une spécification indépendamment des autres spécifications et permettre l'intégration de la cotation dans l'environnement numérique en conception, fabrication et métrologie, y compris pour l'analyse de tolérances.

Dans ce document, toutes les bases de cotation sont regroupées dans la première partie d'une trentaine de pages, avec de nombreux exemples complémentaires en annexe A. Cette partie sera suffisante pour la plupart des professionnels et pour la formation des étudiants. Les compléments pour définir des spécifications complexes (spécifications de lignes, zones de tolérance variables, pièces déformables..) ou des systèmes de références particuliers (zones partielles mobiles, références à distances variables...) sont données dans les parties 3 et 4 et avec des exemples en annexes B et C. L'annexe D donne les approches de métrologie qui correspondent aux principaux concepts de cotation. L'annexe E regroupe les différentes définitions.

EASY Tolerancing permet ainsi de regrouper toutes les définitions dans un document unique et homogène de taille limitée à environ 120 pages, avec en annexe environ 150 pages d'exemples. Ce document sera ultérieurement complété pour des entités spécifiques (taraudage, cannelure..) et avec une méthodologie de cotation fonctionnelle.


La partie 4 permet d'établir des spécifications fonctionnelles au sein des mécanismes, en intégrant les effets des jeux, et des actions mécaniques appliquées sur le mécanisme.

2. Préconisation pour l'exploitation des nouveaux concepts

Cette proposition reprend les fondements du tolérancement ISO et rejettent clairement certains modes de lecture de l'ISO GPS actuel ou des projets d'évolution en cours. Ce document EASY Tolerancing permet de considérer la problématique du tolérancement sous un angle nouveau. Les lecteurs pourront éventuellement promouvoir les solutions proposées ou, plus modestement, intégrer les aspects évoqués dans leurs réflexions.

De nombreuses définitions sont différentes des définitions de l'ISO GPS, mais sans changer la fonctionnalité et le contrôle. Elles sont signalées sur fond jaune et peuvent être exploitées dès maintenant. Le but est de simplifier le langage ou d'étendre le domaine d'emploi.

De nouveaux concepts ont été ajoutés en dehors des normes ISO disponibles en 2015 pour apporter de nouvelles fonctions ou des simplifications. Ils sont signalés sur fond bleu.

 Ce drapeau indique également une proposition EASY Tolerancing en dehors des normes actuelles.

Lorsque l'ISO actuel ne propose pas de solution, la plupart des nouvelles indications pourraient être exploitées dès maintenant sur les dessins, car elles sont facilement compréhensibles, quitte à joindre un commentaire ou une documentation d'accompagnement.

Quelques différences significatives avec les normes en vigueur sont à noter.

- Dans EASY Tolerancing, les règles de construction des systèmes de références et des zones de tolérance pour les collections sont identiques avec ou sans modificateur maxi/mini matière.
- Le compteur nc pour les surfaces composées, remplace l'indication UF au-dessus du cadre de tolérance et la plupart des CZ. Cette nouvelle indication nc donne le nombre d'éléments, ce qui évite de relier le cadre de tolérance à toutes les surfaces de la composition. Elle permet aussi de créer une relation d'ordre entre les différents types de collections (nr kx, pc) et de définir des références soit sur une composition, soit sur une répétition de surfaces.
- La nouvelle écriture du maximum et du minimum de matière est beaucoup plus simple et générique, en particulier pour des surfaces complexes. Cette écriture est dérivée des normes ASME. Dans l'attente de normalisation ISO, il faut restreindre l'écriture aux entités dimensionnelles avec l'écriture définie dans la norme ISO 2692.

- La spécification d'inclinaison \angle pour les surfaces et les lignes complexes remplace le double symbole UF>< ou CZ><.

Dans l'attente d'une normalisation des différents concepts, ce qui risque de prendre énormément de temps, il est préconisé d'utiliser uniquement les symboles en vigueur.

3. GPS ou pas GPS ?

AVERTISSEMENT : A ce jour, un dessin réalisé avec les nouvelles fonctions de EASY Tolerancing ne peut pas être considéré conforme à l'ISO GPS.

La divergence s'explique parce les dernières évolutions des normes GPS ont dégénérées ces dernières années en raison d'un modèle basé sur les contraintes qui donne un paramétrage incomplet ou complexe, des décisions conduisant à des impasses ou à une forte complexité, par exemple en considérant les surfaces d'une entité fonctionnelle spécifiée comme indépendantes par défaut. Les solutions palliatives sont actuellement trop complexes à manipuler et parfois délirantes. Il y a des nombreuses lacunes et des incohérences. Ces normes GPS deviennent inexploitable en milieu industriel.

Il est difficile de dire si cette proposition EASY Tolerancing respecte ou pas les principes GPS. Revendiquer l'esprit GPS peut être critiqué car certains fondamentaux ne sont pas repris. Revendiquer l'abandon du GPS expose à une vive réaction des promoteurs du GPS.

Absolument convaincu du bien-fondé de la cotation ISO, l'intention de l'auteur est de simplifier et de compléter le langage de cotation nécessaire pour les entreprises. 80% des normes de cotation ISO ont été conservés. Les 20% retirés portent sur la simplification du langage, la suppression des concepts inutiles ou peu performants. Ces 20% ont été remplacés par un langage plus simple et par des définitions ou des opérations plus puissantes.

Chacun jugera donc si ce projet est une évolution du GPS ou un nouveau DPS ...au sens Digital Product Specification par exemple, mais l'essentiel à retenir, c'est que les 32 pages du chapitre « base de la cotation » suffisent pour faire la formation des concepteurs et permettent de traiter 80% des cas rencontrés en entreprise.