

Décoder les spécifications

FRÉDÉRIC CHARPENTIER [1]

Les normes ISO-GPS introduisent une rigueur dans l'écriture des spécifications géométriques des dessins techniques souvent perçue, à tort, comme une complexification inutile. Voici donc une classification des différents éléments qui rendent son décodage univoque et une explicitation de la logique d'évolution de la norme ISO 1101 : 2004.

L'évolution des normes ISO de dessin technique en normes ISO de spécifications géométriques du produit (normes ISO-GPS) entraîne une évolution des caractéristiques géométriques prescrites sur le produit [1] [2]. Initialement, la notion de caractéristique n'est pas abordée dans la norme ISO 1101 : 1983 [2]. L'élément tolérancé est un élément idéal qui doit être dans la zone de tolérance et peu importe comment [1].

En 2004, la révision de la norme 1101 [3] prend en compte la notion de *skin model*, c'est-à-dire l'image de la peau de la pièce, définie dans la norme ISO/TS 17450-1 : 2007 [4] comme un élément non idéal. L'élément tolérancé est un élément non idéal qui doit être dans la zone de tolérance et peu importe comment [2].

Dans la norme ISO/TS 17450-1 : 2007 [4], le terme *spécification*, au sens de la spécification géométrique, est défini : une spécification est une condition sur une caractéristique. La caractéristique est une caractéristique géométrique de dimension linéaire ou angulaire. En septembre 2010, lors de la réunion du comité technique 213 (responsable des évolutions des normes ISO-GPS), le projet de norme ISO 25378 : 2010 [5] est homologué. Cette norme donne différentes définitions concernant les caractéristiques et les conditions nécessaires à l'ensemble des normes ISO-GPS. Elle permet de définir les caractéristiques et les conditions sur la pièce, mais également sur un assemblage de pièces. Ce dernier point ouvre des perspectives intéressantes, l'écriture des spécifications relatives aux caractéristiques internes entre les différentes pièces du roulement mécanique, par exemple.

Cependant, la norme ISO 1101 : 2004 de tolérancement géométrique développe principalement la notion de zone de tolérance et non de caractéristique. En reprenant le cas de la figure 2, l'idée, ici, est de montrer que le lecteur doit transformer la notion de

[1] Expert français Afnor-ISO à l'international au comité technique ISO 213 (GPS-ISO), aux commissions UNM 08 (spécification) et UNM 09 (vérification) ; expert français Afnor-CEN au comité technique CEN 279 (management par la valeur – analyse fonctionnelle) ; membre du GRT (Groupe de Recherche français en Tolérancement) et de l'UNM (Union de Normalisation de la Mécanique et du Caoutchouc). Courriel : Frederic.CHARPENTIER@ensam.eu

[2] Les chiffres gris entre crochets renvoient à la bibliographie.

mots-clés

contrôle et métrologie, cotation, norme

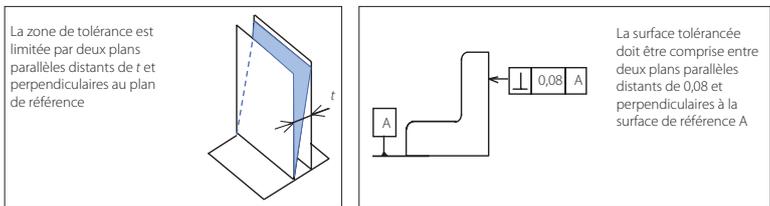
zone de tolérance définie dans la révision de la norme ISO 1101 de 2004, via les normes ISO 17450-1 et ISO 25378, en une caractéristique de dimension linéaire entre l'élément tolérancé (S1) et l'élément idéal (plan, P11). Cet élément idéal (P11) est associé à l'élément tolérancé (S1) avec la fonction objectif « minimax » et la contrainte d'orientation par rapport à la référence spécifiée A [3].

La norme ISO 17450-1 définit les opérations (association, filtrage, partition, collection, construction, extraction) nécessaires pour déterminer l'opérateur de spécification et l'opérateur de vérification.

Un opérateur est composé d'un ensemble d'opérations [6]. Les opérations nécessaires à l'établissement de la caractéristique spécifiée définissent l'opérateur de spécification. Les opérations nécessaires à l'établissement de la caractéristique vérifiée définissent l'opérateur de vérification.

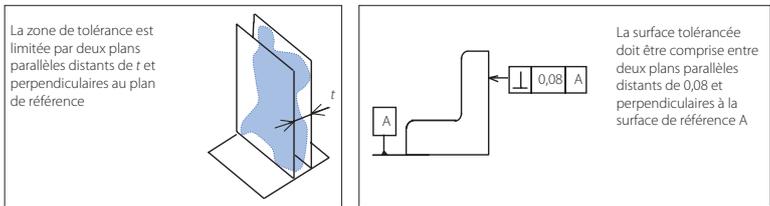
Il est intéressant de remarquer que l'opérateur de spécification est intrinsèque à la spécification géométrique. La conformité théorique consiste alors à vérifier que l'élément tolérancé issu du *skin model* est bien dans la zone de tolérance, conformément à l'expression de la spécification géométrique étudiée. Par contre, si idéalement l'opérateur de vérification doit reprendre l'opérateur de spécification, l'opérateur de vérification dépend principalement du processus de contrôle. La conformité pratique consiste à vérifier que le résultat de mesurage est validé.

Tolérance de perpendicularité d'une surface par rapport à un plan de référence



1 ISO 1101 : 1983, « Dessins techniques – Tolérancement géométrique – Tolérancement de forme, orientation, position et battement »

Tolérance de perpendicularité d'une surface par rapport à un plan de référence



2 ISO 1101 : 2004, « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Tolérancement de forme, orientation, position et battement » [4]

géométriques

Dès lors, si l'opérateur de vérification est idéalement l'opérateur de spécification, l'incertitude entre les deux opérateurs est nulle. La conformité est bien la dualité entre la conformité théorique et la conformité pratique **4**.

La caractéristique est l'élément nécessaire au suivi de la spécification géométrique, de sa spécification à sa vérification. Dans l'amendement 2 de la révision de la norme ISO 1101 [7], il ne serait pas surprenant de voir un chapitre sur la notion « caractéristique et condition », en parallèle avec la notion « zone de tolérance » déjà présente.

Néanmoins, mon objectif est ici de classifier les différents éléments qui rendent le décodage de la spécification géométrique univoque. La méthodologie est identique, peu importe les notions traitées, zone de tolérance ou caractéristique et condition.

La taxonomie du décodage

La méthodologie du décodage se décompose en 4 classes et se développe en 8 étapes. Je montrerai que le symbole de la première case de la spécification géométrique ne définit pas la zone de tolérance (ou la caractéristique), mais qu'il est un attribut de celle-ci.

Les 4 classes du décodage

Les classes du décodage de la spécification géométrique définissent des groupes d'éléments (symbole, valeur, cadre de tolérance). Elles sont identifiées par : la classe *flèche*, la classe *2^e case*, la classe *1^{re} case* et la classe *3^e case et plus*. **5**.

La classe flèche

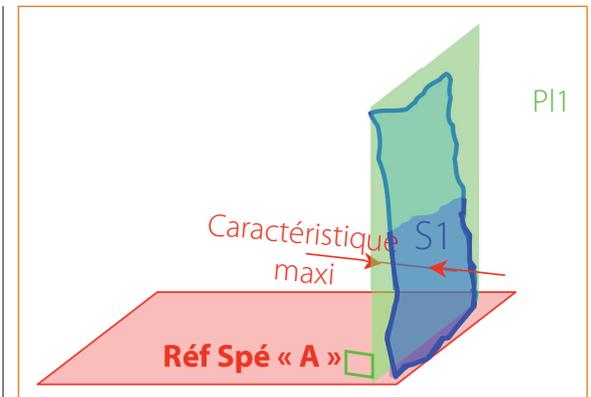
La classe flèche est constituée de la flèche qui désigne l'élément tolérancé, des symboles et des abréviations de type *n x*, ACS, ALS situés autour du cadre de la tolérance géométrique. La typologie de l'élément tolérancé définit le type de la zone de tolérance (ou de la caractéristique).

Exemple 1

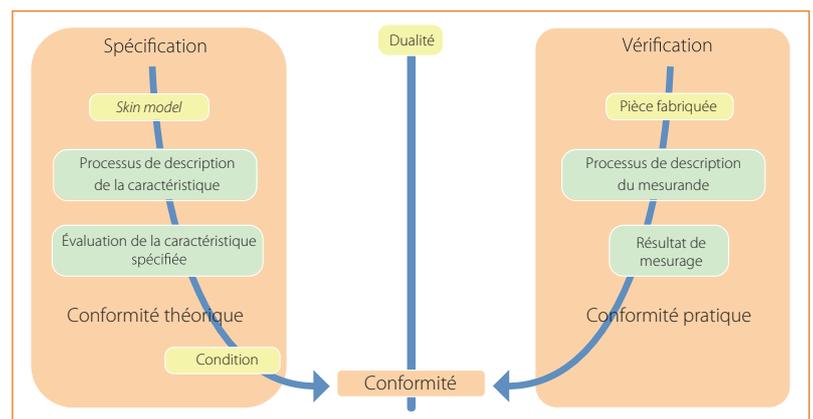
La flèche qui désigne un élément intégral de type surface réputée plane détermine une zone de tolérance, un volume de tolérance délimité par deux plans parallèles en vis-à-vis et distants de la caractéristique limite, la condition.

Exemple 2

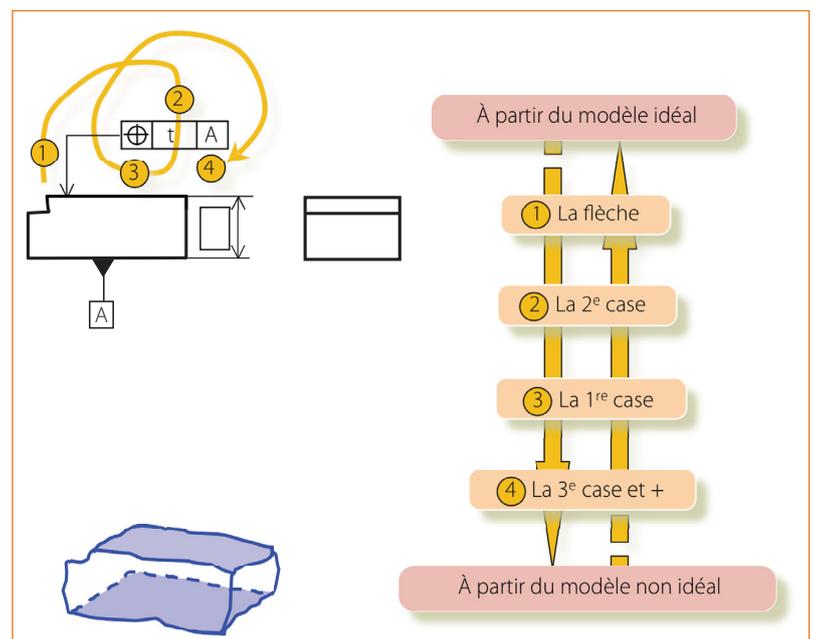
La flèche qui désigne un élément intégral de type surface réputée cylindrique détermine une zone de tolérance, un volume de tolérance délimité par deux cylindres coaxiaux dont la différence des rayons est la caractéristique limite, la condition.



3 La transformation de la zone de tolérance en une caractéristique géométrique (cas de la figure 2)



4 La conformité, dualité entre la conformité théorique et la conformité pratique [8]



5 La taxonomie du décodage

Exemple 3

La flèche qui désigne un élément dérivé de type ligne réputée rectiligne détermine une zone de tolérance, un volume de tolérance délimité par deux plans parallèles en vis-à-vis et distants de la caractéristique limite, la condition.

Il est intéressant de remarquer que la zone de tolérance délimitée par deux plans parallèles en vis-à-vis constitue un élément de classe d'invariance 3 [4]. Il reste 3 degrés de liberté qui changent la situation de la zone de tolérance, 2 en orientation et 1 en translation.

La classe 2^e case

La classe 2^e case est constituée de la deuxième case de la spécification géométrique, de la valeur de la tolérance et tous les symboles (ou modificateurs pour certains) inscrits dans cette case. Les symboles peuvent changer le type ou la nature de la zone de tolérance et/ou apporter des éléments complémentaires nécessaires à la qualification de celle-ci. Les symboles les plus usités sont : SØ, Ø, (F), (P), (L), (M), (R), (UZ), (A), CZ.

Voici trois exemples à partir du cas de l'exemple 3 de la classe flèche (la flèche qui désigne un élément dérivé de type ligne réputée rectiligne détermine une zone de tolérance, un volume de tolérance délimité par deux plans parallèles en vis-à-vis et distants de la caractéristique limite, la condition) :

Exemple 1

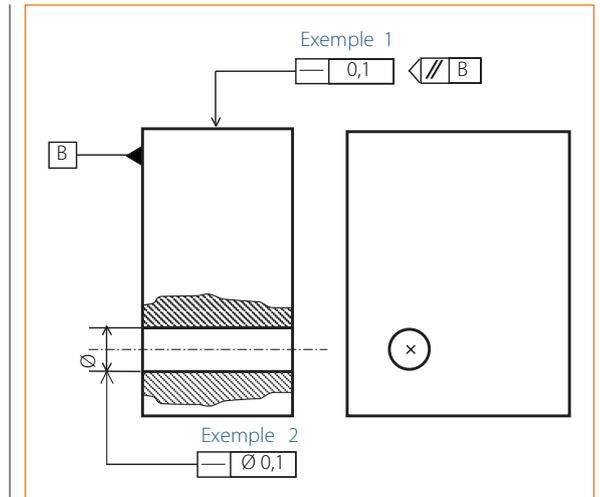
La classe 2^e case est définie par la valeur de la tolérance inscrite dans la deuxième case. Cette valeur ne modifie pas la zone de tolérance, mais précise la valeur de la caractéristique limite, la condition. La zone de tolérance issue de la classe flèche est identique à l'issue de la classe 2^e case.

Exemple 2

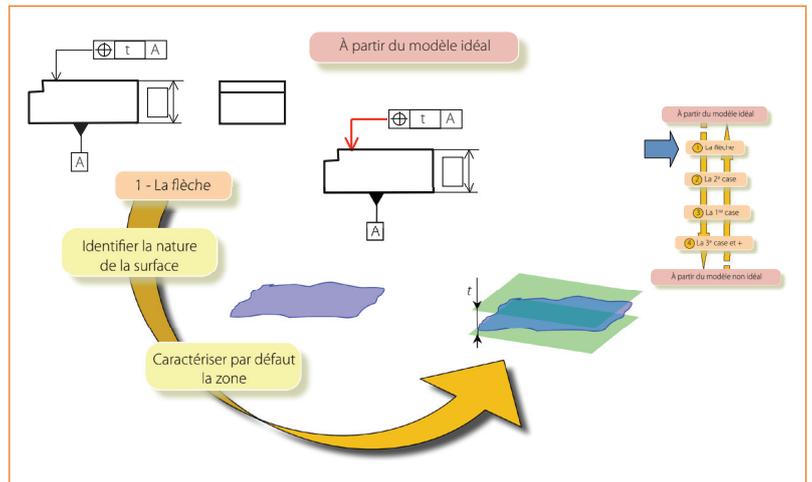
La classe 2^e case est définie par la valeur de la tolérance et le symbole Ø inscrits dans la deuxième case. La zone de tolérance issue de la classe flèche est définie par deux plans parallèles en vis-à-vis. Le symbole Ø modifie le type de la zone de tolérance qui devient un volume défini par un cylindre d'un diamètre de la valeur de la tolérance inscrite dans la deuxième case. La classe 2^e case modifie la zone de tolérance issue de la classe flèche pour devenir un cylindre zone de tolérance.

Exemple 3

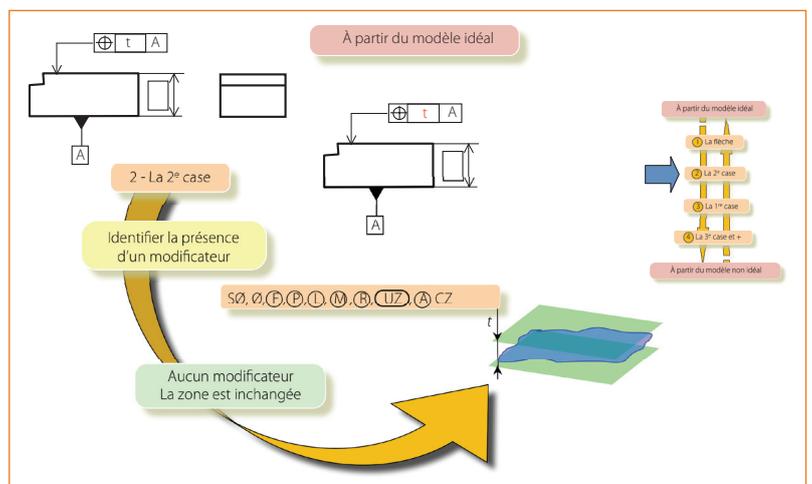
La classe 2^e case est définie par la valeur de la tolérance et les symboles Ø et M inscrits dans la deuxième case. La zone de tolérance issue de la classe flèche est définie par deux plans parallèles en vis-à-vis. Comme dans l'exemple 2, le symbole Ø modifie la zone de tolérance issue de la classe flèche. Le symbole M [8] modifie la nature de la zone de tolérance qui devient



6 Symbole, attribut de la zone et extraction selon [11]



7 L'étape 1, application de la classe flèche



8 L'étape 2, application de la classe 2^e case

un gabarit, ici un cylindre à l'extérieur de la matière de l'élément intégral dont le diamètre est calculé en fonction de la valeur de la tolérance géométrique et de la taille linéaire au maximum de matière.

La classe 1^{re} case

La classe 1^{re} case est constituée de la première case de la spécification géométrique et de tous les symboles inscrits dans cette case. Les symboles sont principalement des attributs de la zone de tolérance. Ils permettent de définir les contraintes de situation et les dimensions théoriques exactes implicites des zones de tolérance. Dans certains cas, ils permettent d'extraire les éléments tolérances issus de l'élément identifié par la classe flèche **6**.

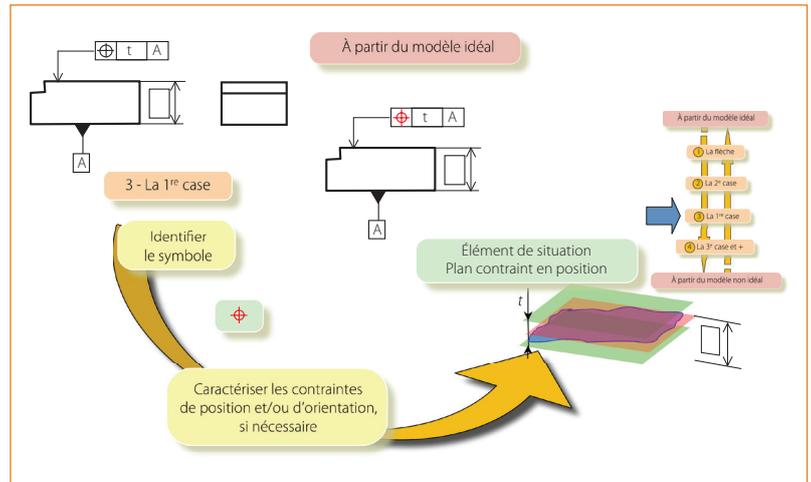
Exemple 1

- **La classe flèche** : La flèche qui désigne un élément intégral de type surface réputée plane détermine une zone de tolérance, un volume de tolérance délimité par deux plans parallèles en vis-à-vis et distants de la caractéristique limite, la condition.
- **La classe 2^e case** : La deuxième case n'a pas de symbole, seule la valeur de la tolérance est inscrite. Cette valeur ne modifie pas la zone de tolérance, mais précise la valeur de la caractéristique limite, la condition. La zone de tolérance issue de la classe flèche reste inchangée à l'issue de la classe 2^e case.
- **La classe 1^{re} case** : Le symbole de la première case est un symbole de forme, intrinsèque à la surface. La zone de tolérance est libre, elle n'est soumise à aucune contrainte de situation. Le symbole est bien un attribut de la zone de tolérance, car il ne définit ni le type de la zone de tolérance, ni la caractéristique et la condition. Le symbole s'adresse à une ligne ; cependant, l'élément identifié par la flèche (classe flèche) est une surface. Le symbole n'est pas qu'un simple attribut ; il devient également un élément d'extraction. L'opération d'extraction demande de construire des plans parallèles à la vue de projection dans le cas de l'utilisation de la norme ISO 1101 : 1983. Cette remarque montre les limites du suivi de la caractéristique de sa spécification à sa vérification. Avec l'emploi de la norme ISO 1101 : 2004 et son amendement 1 [9], la spécification géométrique doit être complétée d'un drapeau, plan d'intersection permettant cette fois de faire le lien entre la spécification et la vérification.

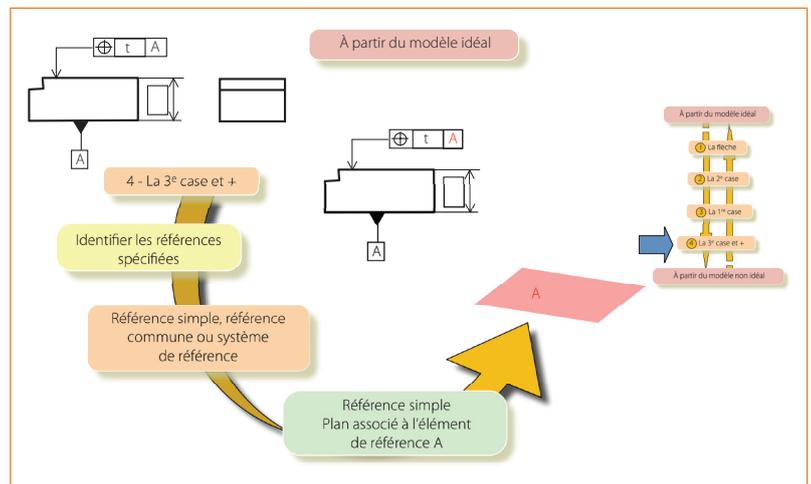
La zone de tolérance devient une surface définie par deux droites parallèles distantes de la valeur de la tolérance.

Exemple 2

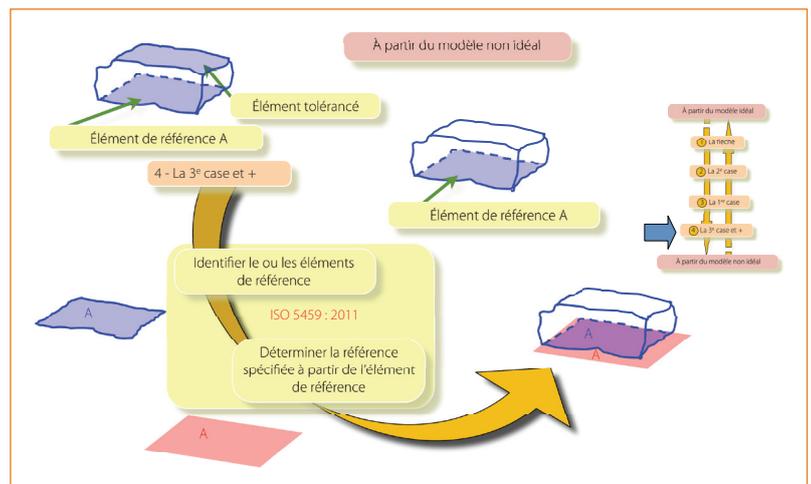
- **La classe flèche** : La flèche qui désigne un élément dérivé de type ligne réputée rectiligne détermine une zone de tolérance, un volume de tolérance délimité par deux plans parallèles en vis-à-vis et distants de la caractéristique limite, la condition.
- **La classe 2^e case** : Dans la deuxième case sont inscrits le symbole \varnothing et la valeur de la tolérance. Ce symbole modifie la zone de tolérance en un cylindre d'un diamètre de la valeur de la caractéristique limite, la condition. La zone de tolérance issue de la classe flèche est transformée en un cylindre à l'issue de la classe 2^e case.



9 L'étape 3, application de la classe 1^{re} case



10 L'étape 4, application de la classe 3^e case et +



11 L'étape 5, application de la classe 3^e case et +

- **La classe 1^{re} case** : Le symbole de la première case est un symbole de forme, intrinsèque à la surface. La zone de tolérance est libre, elle n'est soumise à aucune contrainte de situation. Le symbole est bien un attribut de la zone de tolérance, car il ne définit ni le type de

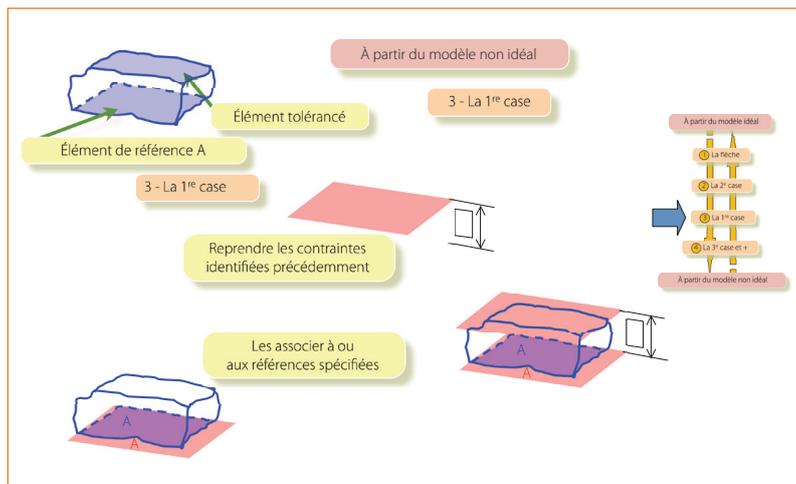
la zone de tolérance, ni la caractéristique et la condition. Le symbole s'adresse à une ligne, cependant l'élément identifié par la flèche (classe flèche) est une ligne. La zone de tolérance issue de la classe 2^e case reste inchangée à l'issue de la classe 1^{re} case.

La classe 3^e case et plus

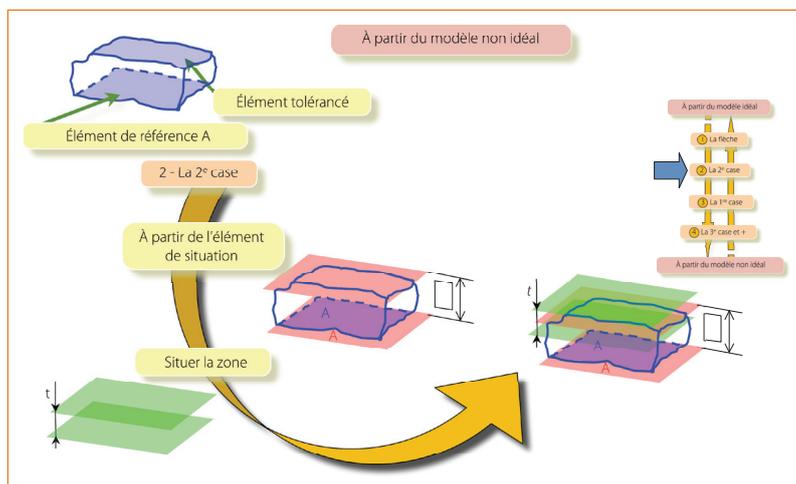
La classe 3^e case et plus est constituée des cases 3, 4 et 5 si elles sont utiles, en fonction des contraintes de situation, orientation et/ou position. Cette classe est nécessaire pour des spécifications géométriques relatives : position, orientation et battement.

Synthèse

Les classes permettent de définir un ensemble d'éléments essentiels à la compréhension du décodage et révèlent que le symbole géométrique n'est pas l'entrée de la lecture et du décodage de la spécification qui détermine la zone de tolérance, ou la caractéristique et la condition, mais bien un attribut de celle-ci [10].



12 L'étape 6, application de la classe 1^{re} case



13 L'étape 7, application de la classe 2^e case

Les étapes du décodage

Pour appliquer l'ensemble des classes, le décodage se décompose en 8 étapes 5.

Identifier le type de la zone de tolérance (caractéristique)

À partir de la classe flèche, l'élément tolérancé est identifié. Les opérations de filtrage et de partition permettent d'identifier la surface. Celle-ci est une surface réputée plane 7.

Identifier la tolérance (condition) et les modificateurs présents

À partir de la classe 2^e case, il est nécessaire de vérifier si des modificateurs changent le type de la zone de tolérance ou sa nature (par exemple : gabarit au maximum de matière).

Dans l'exemple, la zone de tolérance est la même, et la caractéristique limite, la condition, est précisée par la valeur *t* 8.

Identifier les contraintes de situation

À partir de la classe 1^{re} case, le symbole géométrique détermine les contraintes de la zone de tolérance. Dans certains cas, il peut opérer une extraction complémentaire sur l'élément initialement tolérancé. Ce n'est pas le cas dans l'exemple traité 9.

Le symbole localisation contraint en position la zone de tolérance à partir d'un élément de situation, le plan contraint en position.

Identifier les références spécifiées (si nécessaire)

À partir de la classe 3^e case et plus, la ou les références spécifiées, simples, communes ou en système de références, permettent de situer la zone de tolérance en fonction du symbole de la classe 1^{re} case.

La référence spécifiée simple est identifiée, le plan A 10.

Valider les associations entre les éléments de référence et les références spécifiées (si nécessaire)

À partir de la classe 3^e case et plus, et en prenant en compte les règles explicites de la norme NF EN ISO 5459 : 2011 [10], la fonction objectif « minimiser la plus grande des distances et la contrainte » tangente du côté libre de la matière, pour une référence spécifiée simple, cette classe permet de faire le lien entre la référence spécifiée d'une part et l'élément de référence d'autre part 11.

Valider la construction de ou des éléments de situation (si nécessaire)

À partir de la classe 1^{re} case, l'élément de situation de la zone de tolérance est positionné par rapport à la référence spécifiée en accord avec le type du symbole géométrique 12.

Valider la situation de la zone de tolérance (si nécessaire)

À partir de la classe 2^e case, la zone de tolérance est équidistante de l'élément de situation de la demi-valeur de la caractéristique limite, la condition **13**.

Valider l'élément de tolérance dans la zone de tolérance

À partir de la classe flèche, l'élément toléré doit être dans la zone de tolérance **14**.

Synthèse

Les 8 étapes permettent de décoder la spécification géométrique à partir des 4 classes définies précédemment. Cette méthodologie fonctionne également pour les spécifications par gabarit (l'exigence du maximum de matière, l'exigence du minimum de matière et l'exigence de réciprocité).

Collection de zones de tolérance et collection d'éléments tolérancés

La notion de collection

Afin d'illustrer la notion de collection, il est nécessaire de resituer le débat dans un contexte fonctionnel. Le cas 1 **15** et le cas 2 **16** illustrent deux notions fonctionnelles différentes des pièces en interface avec la pièce A.

Dans le cas 1, les pièces B et C sont indépendantes, et leur relation avec la pièce A s'effectue par l'intermédiaire de deux interfaces distinctes, des plans primaires **15**. Dans le cas 2, la pièce B est en interface avec la pièce A, et aucun des deux plans n'est prépondérant **16**.

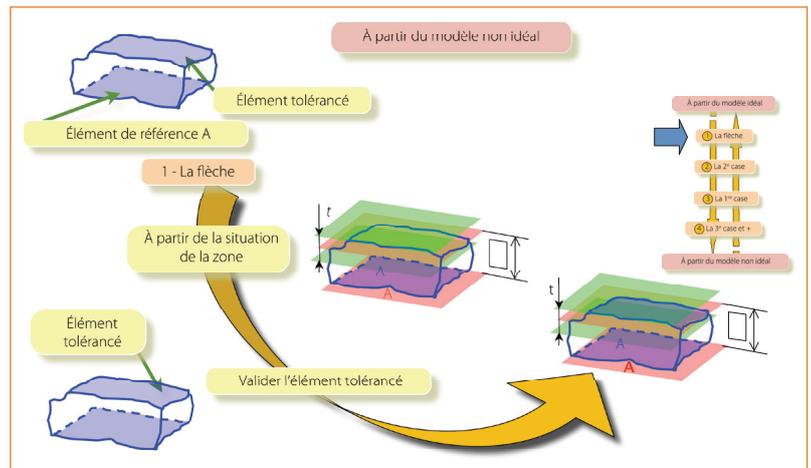
Dans le cas 1, les écritures des spécifications géométriques s'expriment sous la forme de spécifications de forme, d'orientation et de position **17**. Le principe de l'indépendance s'applique à chaque surface indépendamment de l'autre, respectant les exigences fonctionnelles prescrites.

Le symbole « x » indique une répétition de la spécification aux éléments tolérancés pris indépendamment.

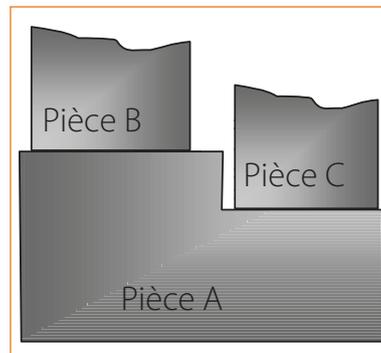
La méthodologie du décodage s'applique sans difficulté à la répétition des spécifications géométriques sur les éléments.

Dans le cas 2, l'écriture de la spécification géométrique fait appel à la norme de tolérancement de localisation **18**.

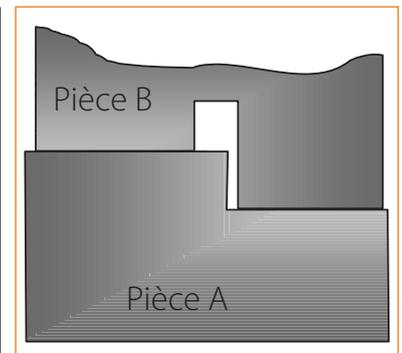
Il est important de rappeler que le symbole « x » combiné aux flèches (deux, dans l'exemple) confère la notion de *collection*. La redondance des flèches est souvent oubliée dans l'emploi de cette norme. Ce point est important : sans cette redondance, l'emploi du seul symbole « x » correspond à la syntaxe de la norme ISO 1101, c'est-à-dire à une notion de répétition. Les écritures n'ont alors plus de sens, et l'interprétation prend le pas sur la signification.



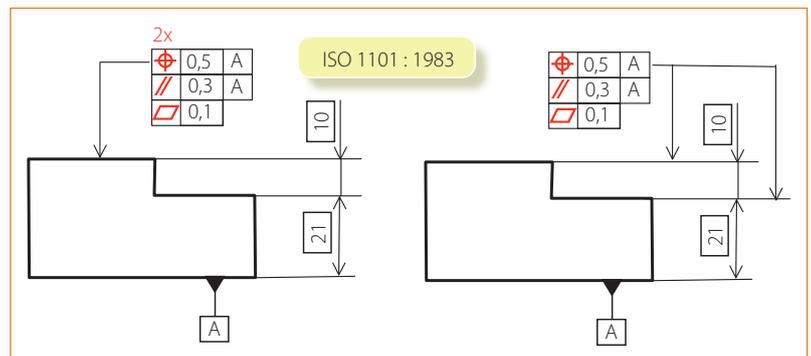
14 L'étape 8, application de la classe flèche



15 Cas 1, répétition d'éléments



16 Cas 2, collection d'éléments



17 Cas 1, répétition d'éléments, deux écritures équivalentes

La méthodologie du décodage ne s'applique plus dans son intégralité. La classe 1^{re} case, avec le symbole localisation, contraint les zones de tolérance entre elles, mais nullement avec les références spécifiées, lorsqu'elles existent. Cette norme montre les limites de son application et de sa robustesse. Pire, dans l'exemple proposé en **18**, le principe de l'indépendance est rompu afin que l'on comprenne la signification de la tolérance géométrique de valeur 0,3.

Il est important de rappeler qu'historiquement la norme ISO 1101 : 1983 s'applique à des éléments simples, pouvant être répété tout en conservant leur indépendance. La norme ISO 5458 : 1998 **[11]** répond à

la collection d'éléments simples. La norme ISO 5458 : 1998 s'est développée en prenant en compte des bribes des normes ISO 1101 : 1983 et ISO 5459 : 1981, en les complétant et en créant des dysfonctionnements, voire des incompatibilités avec ces deux dernières normes.

La norme ISO 1101 : 1983 est une norme de tolérancement géométrique s'appliquant aux éléments simples ; son évolution va prendre en compte la collection d'éléments (simples). La norme ISO 5458 : 1998 en l'état est vouée à disparaître.

Nous allons maintenant voir les évolutions de l'ISO 1101 : 1983 et du choix entre la notion de collection de zones de tolérance et la notion de collection d'éléments tolérancés.

Quelles collections ?

La question fut abordée lors des commissions ISO du comité technique 213 au travers de deux propositions distinctes, la collection d'éléments tolérancés ou la collection de zones de tolérance.

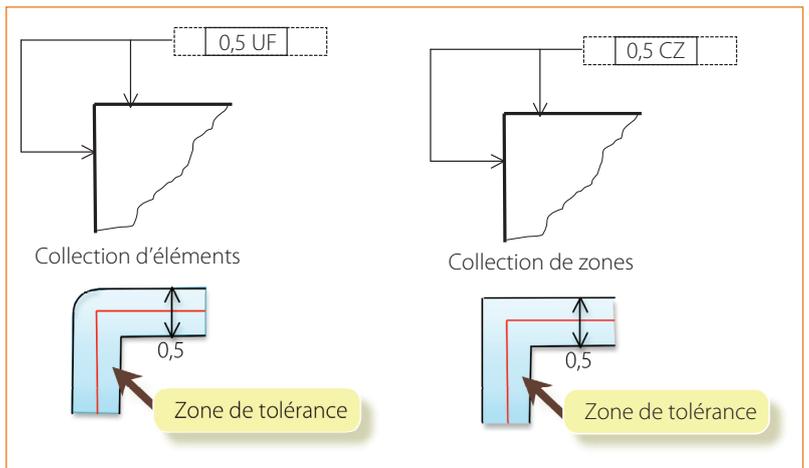
En appliquant les classes flèche et 1^{re} case et les premières étapes de la méthodologie du décodage, les zones de tolérance sont différentes **19**.

Le comité de normalisation a choisi de retenir la voie de la collection de zones, et d'étendre la notion de zone commune, dont l'abréviation anglaise est CZ, à la collection de zones **[9]** dans l'amendement 1 de la norme ISO 1101. Dès lors, la norme ISO 5458 : 1998 est vouée à disparaître, et les besoins fonctionnels de la figure **18** trouvent leur écriture dans l'évolution de la norme ISO 1101 : 2011 **20**.

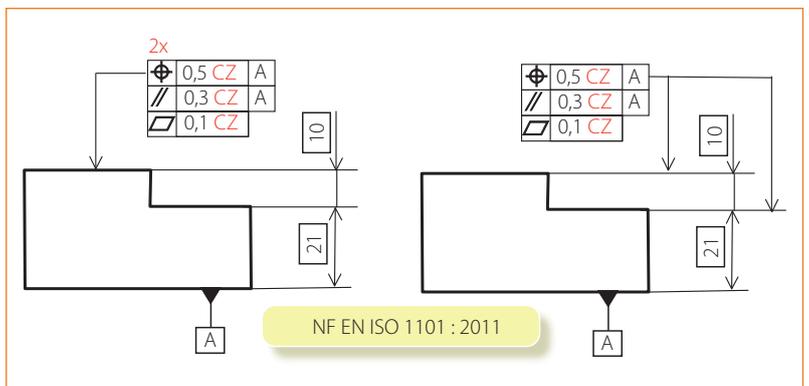
Néanmoins, les besoins en écriture de la collection d'éléments demeurent. Le modificateur UF, abréviation anglaise pour « éléments unifiés », est retenu. Il est intégré dans la révision 2 de la norme ISO 1101, l'amendement 2.

Synthèse

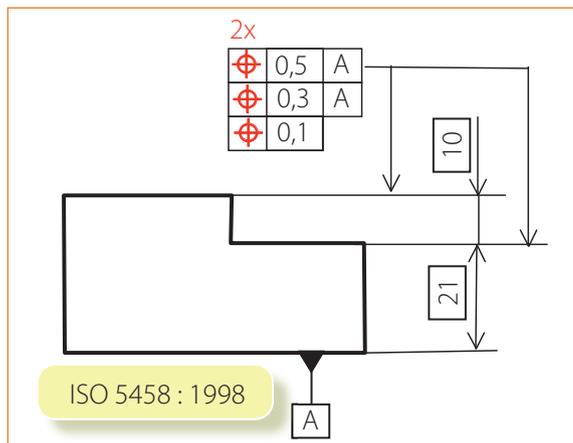
La méthodologie du décodage s'applique également pour le tolérancement géométrique utilisant la notion de collection de zones définie dans l'évolution de la norme ISO 1101 et son amendement 1.



19 La nature de la collection



20 Collection de zones de tolérance



18 Cas 2, collection d'élément

Conclusion

Jusqu'à présent, les lectures traditionnelles du tolérancement géométrique ont mis l'accent sur les symboles géométriques en fabriquant une vision globale de la zone de tolérance ou du gabarit. L'évolution des normes ISO en normes ISO-GPS définit des concepts permettant une approche méthodique du décodage et du codage de la spécification géométrique, et, ici, du tolérancement géométrique. Au siècle dernier, nombreux sont les utilisateurs **[1]** qui souhaitent une évolution drastique des écritures normatives pour pouvoir exprimer au plus juste la caractéristique et la condition associées à la fonction technique élémentaire **[12]**. La structuration des normes en normes fondamentales, globales et applicatives rend robuste leur élaboration et accélère les évolutions normatives. On peut être déstabilisé par ces évolutions et l'arrivée massive de nouvelles normes, mais il est nécessaire de rappeler que les experts responsables de l'élaboration des normes ISO-GPS sont principalement des industriels, et pas seulement de grands donneurs d'ordres. Les normes évoluent en fonction des besoins industriels dans une vision globale de gain en coût, en qualité et en délais. Des écoles et des laboratoires de recher-

ches universitaires s'associent avec les industriels dans cette démarche, et des axes complémentaires viennent enrichir l'élaboration des normes actuelles, le tolérancement modal [13] ou la représentation par calibres virtuels [14], par exemple.

La taxonomie du décodage des spécifications géométriques est utilisée dans l'industrie [15], dans la formation des professeurs et des élèves ingénieurs. Cette

taxonomie fut également l'objet d'un projet pédagogique effectué par des professeurs stagiaires dans le cadre des mémoires professionnels de 2^e année en institut universitaire de formation des maîtres (IUFM). Dans ce projet, associée à un logiciel de métrologie [16] et à la fiche GPS de type II [17], elle fut expérimentée avec des élèves de 2^e année de baccalauréat professionnel de technicien d'usinage. ■

Bibliographie

Travaux de référence

[6] BALLU (Alex), *Caractérisation et métrologie de la géométrie et des déplacements pour le tolérancement et la biomécanique*, mémoire d'habilitation à diriger des recherches, laboratoire de mécanique physique (LMP) de l'université de Bordeaux-I, 2009

[13] SAMPER (Serge), *Monographie sur le tolérancement modal*, laboratoire Systèmes et Matériaux pour la mécatronique (Symme), Polytech Annecy-Chambéry, 2009

<http://hal.univ-savoie.fr/hal-00421723/fr/>

[14] PAIREL (Éric), HERNANDEZ (Pascal), Giordano (Max), *Représentation par calibres virtuels des tolérances géométriques dans les systèmes de CFAO*, laboratoire de Mécanique appliquée (LMECA), école supérieure d'ingénieurs d'Annecy, université de Savoie, 2007

[15] CHARPENTIER (Frédéric), *Un langage de spécification univoque – Formation aux normes ISO-GPS de tolérancement – Concepteurs produit/process*, document de formation Renault SAS DIM et CFC-Technic, janvier 2009

[16] FAGON (Bernard), FUHRMANN (Frédéric), « Manuel de formation Metrolog V5 », 2^e année d'IUFM, Créteil, 2007

www.cotation-iso.fr/manuel-de-formation-par-l-exemple-a-metrlog-v5-t215.html

[17] BALLU (Alex), MATHIEU (Luc), « La fiche GPS, outil d'expression univoque des spécifications géométriques », actes de la journée AIP-Priméca « Tolérancement le long du cycle de vie du produit », ENS de Cachan, 2005

www.cotation-iso.fr/la-fiche-gps-un-outil-indispensable-t97.html

Dans Technologie

[1] CHARPENTIER (Frédéric), PRENEL (Jean-Marc), « Les normes ISO-GPS : Une fracture dans l'apprentissage » (1^{re} et 2^{de} partie), n^{os} 164, novembre-décembre 2009, et 165, janvier-février 2010.

[11] CHARPENTIER (Frédéric), « Les nouvelles normes, une évolution nécessaire », n^o 151, septembre-octobre 2007

[12] CHARPENTIER (Frédéric), PRENEL (Jean-Marc), DUMÉNIL (Jérémy), « Le TAFT, un outil pour la capitalisation de l'AFT », n^o 148, mars 2007

Normes internationales

Note : Il n'existe pas de notion d'auteurs pour les normes, les auteurs cités sont les experts principaux contributeurs des textes.

[2] Norme ISO annulée, « Dessins techniques – Tolérancement géométrique – Tolérancement de forme, orientation, position et battement – Généralités, définitions, symboles, indications sur les dessins », ISO 1983

[3] BALLU (Alex), CHARPENTIER (Frédéric), CHOLEY (Jean-Yves), COMTE (Michel), LORRIERE (Brigitte), MATHIEU (Luc), PRENEL (Jean-Marc), VINCENT (Réald), ISO 1101 : 2004, « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Tolérancement de forme, orientation, position et battement », ISO, 2004.

[4] Alex Ballu, CHARPENTIER (Frédéric), COMTE (Michel), LORRIERE (Brigitte), MATHIEU (Luc), PRENEL (Jean-Marc), VINCENT (Réald), ISO/TS 17450 -1 : 2007, « Spécification géométrique des produits (GPS) – Concepts généraux – Partie 1 : Modèle pour la spécification et la vérification géométriques », ISO, 2007, 50 p.

[5] BALLU (Alex), CHARPENTIER (Frédéric), CHOLEY (Jean-Yves), COMTE (Michel), LORRIERE (Brigitte), MATHIEU (Luc), PRENEL (Jean-Marc), VINCENT (Réald), ISO 25378 : 2010, « Spécification géométrique des produits – Caractéristiques et conditions – Définitions » ISO, 2011, norme homologuée en cours de publication

[7] BALLU (Alex), CHARPENTIER (Frédéric), CHOLEY (Jean-Yves), COMTE (Michel), LORRIERE (Brigitte), MATHIEU (Luc), PRENEL (Jean-Marc), VINCENT (Réald), ISO/TC 213 N1113 ISO/NP/CD 1101 Amd 2 : 2009, « Geometrical Product Specifications (GPS) - Geometrical tolerancing - Tolerancing of form, orientation, location and run-out – Amendment 2: Indication of special specification operators for form, orientation, location and run-out », ISO, 2009.

[8] BALLU (Alex), CHARPENTIER (Frédéric), CHOLEY (Jean-Yves), COMTE (Michel), LORRIERE (Brigitte), MATHIEU (Luc), PRENEL (Jean-Marc), VINCENT (Réald), ISO 2692 : 2008 « 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, 2008.

[9] BALLU (Alex), CHARPENTIER (Frédéric), CHOLEY (Jean-Yves), COMTE (Michel), LORRIERE (Brigitte), MATHIEU (Luc), PRENEL (Jean-Marc), VINCENT (Réald), ISO 1101 : 2004 / AM 1 : 2011, « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Tolérancement de forme, orientation, position et battement – Amendment 1: Représentation des spécifications sous forme d'un modèle 3D », ISO, 2011, norme homologuée en cours de publication, 55 p.

[10] BALLU (Alex), CHARPENTIER (Frédéric), CHOLEY (Jean-Yves), COMTE (Michel), LORRIERE (Brigitte), MATHIEU (Luc), PRENEL (Jean-Marc), VINCENT (Réald), ISO 5459 : 2011 « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Références spécifiées et systèmes de références spécifiées », ISO, 2011, norme homologuée en cours de publication.[11] Norme ISO en demande d'annulation, « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Tolérancement de localisation », ISO, 1998.