

# La fiche GPS

LUC MATHIEU, ALEX BALLU <sup>[1]</sup>

**Voici un outil, une fiche au format A4, permettant de décrire la sémantique de tout type de spécifications macro et microgéométriques sur des pièces isolées ou des assemblages. Utilisé en enseignement et présenté aux experts du comité GPS de l'ISO, il vise à sensibiliser au processus de définition des spécifications GPS basées sur GeoSpelling. Il permet non seulement de détailler la signification des spécifications normalisées, en mettant parfois en évidence leurs contradictions, mais également de pallier les manques des normes actuelles dans le domaine des spécifications fonctionnelles et d'assemblage.**

## Introduction

La gestion du cycle de vie des produits, dans un contexte d'entreprise étendue et de travail collaboratif, s'appuie très fortement sur la communication entre les hommes et les systèmes. En ingénierie mécanique, la maquette numérique des produits s'impose comme le support privilégié des informations de la conception intégrée. Cependant, cette solution basée sur une représentation idéale de la géométrie en CAO n'offre qu'un modèle partiel des futurs produits (modèle nominal). Les variations géométriques inhérentes aux procédés de fabrication et plus particulièrement leurs limites ne sont que très modestement représentées graphiquement selon les conventions normalisées des tolérances datant du dessin technique (modèle spécifié). Bien que des efforts aient été réalisés ces dernières années à la fois par les développeurs de solutions en CFAO et par les experts internationaux de la normalisation pour permettre la représentation des symboles de tolérancement pour dessins 2D sur la vue 3D des pièces, les possibilités de spécification restent malgré tout limi-

## Mots-clés

cotation, GPS, spécification, tolérancement

tées au langage normalisé des années 80-90. Ces limites sont identiques pour le langage développé dans les normes d'échange STEP (*Standard for the Exchange of Product*).

La spécification des variations admissibles de la géométrie réelle des pièces et des assemblages est cependant un besoin crucial pour l'ingénierie moderne. Elle doit exprimer de manière économique les fonctionnalités des produits réalisés en série. Elle doit permettre aux concepteurs des processus de fabrication de choisir les meilleurs moyens de transformation et aux métrologues d'élaborer les processus de mesure le mieux adaptés. C'est un aspect de la définition des produits qui est à la base d'une communication intense – et difficile – entre tous les acteurs, en particulier pendant les phases de développement et de production. Les variations géométriques constituent un caractère important des produits. La géométrie réelle est impliquée dans la majorité des phénomènes physiques régissant les comportements des systèmes. Malgré ce besoin permanent de prendre en compte une géométrie plus réaliste que la géométrie nominale dans l'ingénierie, la spécification des variations géométriques, appelée plus communément « tolérancement », reste un parent pauvre des méthodes modernes de conception et des pré-occupations de recherche.

La première étape pour progresser dans ce domaine consiste à fournir aux acteurs de la conception un langage et

des outils pour l'expression univoque des spécifications géométriques. En 1993, Per Bennich, alors président des comités de normalisation sur le tolérancement géométrique et la métrologie dimensionnelle, créait le concept de chaînes de normes avec l'acronyme GPS (*Geometrical Product Specification*), basé sur la matrice GPS. Le but poursuivi était de pallier les contradictions et les manques des normes de l'époque en mobilisant à l'échelle internationale les experts de différentes commissions couvrant le tolérancement macrogéométrique, la métrologie dimensionnelle, la spécification et la vérification des états de surface. En 1995, la France proposait un modèle basé sur le *skin model*, un modèle de la surface réelle de la pièce, et une nouvelle approche pour unifier les vues micro et macrogéométriques de la spécification et de la vérification des produits. Ce n'est qu'en janvier 2005 que le premier document officiel de l'ISO a été mis à la disposition du public [1]<sup>[2]</sup>; il a également été la base d'un deuxième document traitant du concept d'incertitudes généralisées [2]. Le processus de normalisation est extrêmement lent, puisqu'il doit conduire à un consensus entre les experts des nations représentées. Depuis 2005, plusieurs normes ont été révisées ou développées en essayant de réduire les contradictions et les manques. Cependant ces normes ne sont pas parfaites et elles apportent souvent des possibilités étendues de spécifications avec une complexité croissante.

Afin d'exprimer chaque spécification, avec le moins d'ambiguïté possible, nous proposons un outil, appelé fiche GPS, pour la description univoque des spécifications macrogéométriques, normalisées ou non, portant sur une pièce isolée ou sur un assemblage. L'objectif de cette fiche GPS est également de développer un outil pédagogique pour l'apprentissage des spécifications géométriques.

[1] Respectivement : professeur des universités à l'IUT de Cachan, LURPA, ENS Cachan, Paris-Sud-11 ; maître de conférences à l'université de Bordeaux, I2M, UMR 5295. Courriels : mathieu@lurpa.ens-cachan.fr ; alex.ballu@u-bordeaux1.fr

[2] Les chiffres gris entre crochets renvoient aux « Références » en encadré.

### L'historique de la fiche et les buts recherchés

Dès 1996, pressés par le monde industriel d'enseigner le langage graphique ISO de spécification dans les établissements du secondaire et conscients des lacunes et contradictions que comportaient les normes, nous avons élaboré un premier outil, une fiche pour la lecture des spécifications géométriques ISO, ou fiche de spécification par zone de tolérance **1**. C'est cet outil qui est aujourd'hui encore utilisé par les collègues dans la plupart des établissements d'enseignement [3].

Le but recherché était d'aider le lecteur du dessin de définition à comprendre le sens des spécifications et à en distinguer les constituants – élément tolérancé, élément de référence, référence spécifiée, zone de tolérance – et plus particulièrement à comprendre la différence entre les éléments géométriques manipulés, à savoir leur appartenance à la famille des éléments idéaux (théorique) ou à celle des non idéaux (réel). C'était la difficulté majeure de l'époque, et les normes en témoignent encore. Dans ces documents et dans les manuels d'enseignement, les dessins représentaient des formes parfaites à l'intérieur des zones, alors qu'il était dit par ailleurs que les seuls éléments tolérancés de forme parfaite étaient ceux décrits par la « tolérance projetée ». De plus, il y avait une confusion avec les pratiques de la métrologie par coordonnées.

Afin de bien distinguer les deux grandes familles d'éléments, deux colonnes générales sont mises en évidence, celle des éléments non idéaux et celle des éléments idéaux. Chacune de ces colonnes principales se décline en éléments tolérancés et éléments de référence ainsi qu'en références spécifiées et zone de tolérance.

Nous avons également introduit le concept d'association d'un élément idéal à un élément non idéal pour

| Tolérancement normalisé  | Analyse d'une spécification par zone de tolérance |                         |   |                                   |   |
|--|---|-------------------------|---|-----------------------------------|---|
| Symbole de la spécification                                      | Éléments non idéaux                               |                         | Éléments idéaux                           |                                   |   |
| Type de spécification<br>Forme Orientation<br>Position Battement | Élément(s) tolérancé(s)                           | Élément(s) de référence | Référence(s) spécifiée(s)<br>État virtuel | Zone de tolérance<br>État virtuel |   |
| Conditions de conformité :                                       | unique<br>groupe                                  | unique<br>multiples     | simple<br>commune<br>système              | simple<br>composée                | Contraintes<br>orientation<br>et/ou position<br>par rapport<br>aux références<br>spécifiées |
| Schéma<br>extrait du dessin<br>de définition                     |   |                         |   |                                   |   |

#### 1 La fiche de spécification n° 1

| Spécification   | Type  |
|-----------------|---|
| Modèle nominal  | <p><b>Élément tolérancé</b><br/>Nature :</p> <p><b>Type zone de tolérance</b><br/>Type :</p> <p>Contraintes sur les éléments de la zone :</p> <p><b>Référence primaire</b><br/>Élément de référence (type) :<br/>Référence spécifiée (type et nom) :<br/>Critère :</p> <p><b>Référence secondaire</b><br/>Élément de référence (type) :<br/>Référence spécifiée (type et nom) :<br/>Contraintes/réf. spéc. 1° :<br/>Critère :</p> <p><b>Référence tertiaire</b><br/>Élément de référence (type) :<br/>Référence spécifiée (type et nom) :<br/>Contraintes/réf. spéc. 1° et 2° :<br/>Critère :</p> <p>Contraintes entre zones de tolérance et références spécifiées :</p> <p>Condition</p> |
| « Skin » modèle |   |

#### 2 La fiche de spécification n° 2

l'établissement des références et celui de contraintes entre des éléments idéaux. Cette approche faisait revenir à des bases de la géométrie utilisées soit en CAO soit en métrologie 3D. Des schémas dans chacune des colonnes illustrent les objets décrits.

Comme l'expérience l'a montré, ce format n'est pas si simple à remplir, et des difficultés sont parfois rencontrées pour manipuler le vocabulaire utilisé.

En 1998, nous avons introduit un deuxième format de fiche, plus prag-

matique, pour mieux guider l'utilisateur à décrire la spécification géométrique. Des champs préimprimés y donnent la structure de la spécification **2**.

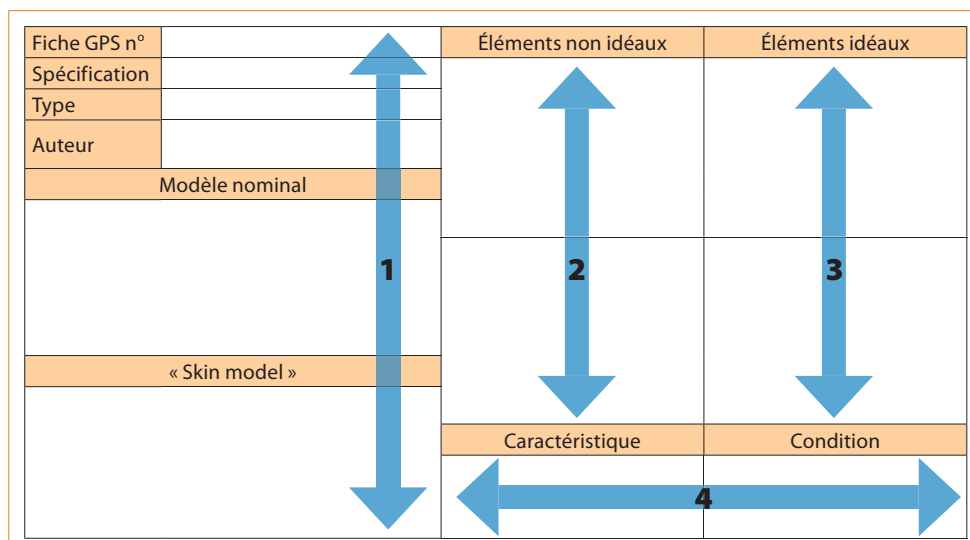
Cette fiche, utilisée en formation, a retenu l'attention d'un constructeur automobile et fait l'objet d'un développement informatique.

Pour les spécifications normalisées, l'idée était de remplir automatiquement les champs qui sont décrits sans ambiguïté dans les normes, en relation avec la symbolisation graphique portée sur le dessin en CAO. Un jeu de couleurs a été proposé pour que le concepteur puisse compléter ces informations introduites automatiquement : le noir pour les informa-

tions correctement définies par les normes, une deuxième couleur pour des compléments peu clairs dans les normes et une troisième pour tout ce qui n'est pas décrit dans les normes. Le but était d'avoir une description complète et univoque de la spécification pour permettre une communication claire entre les acteurs, et en particulier avec les métrologues. Ce qui était également recherché, c'est la capitalisation des spécifications types. Cette fiche à plusieurs couleurs a été proposée aux experts de l'ISO pour mettre en évidence les manques dans les définitions et permettre l'expression des nouveaux besoins. Compte tenu du succès rencontré par cette

fiche, nous proposons d'aller plus loin encore pour dépasser ses limites. L'objectif de cette nouvelle génération de fiches, baptisées fiches GPS, est d'offrir à leur utilisateur la possibilité de décrire explicitement tout type de spécifications, normalisées ou non, dimensionnelles et géométriques sur des pièces isolées et sur des assemblages. La fiche GPS s'appuie sur les concepts proposés à l'ISO et retenus pour le travail des experts sur les futures normes de tolérancement et de métrologie [1].

Quant au but global de l'existence de cet outil, c'est de permettre aux personnes concernées par la spécification géométrique de s'exprimer, de communiquer et de garder la trace univoque de leur besoin.



**La fiche GPS**

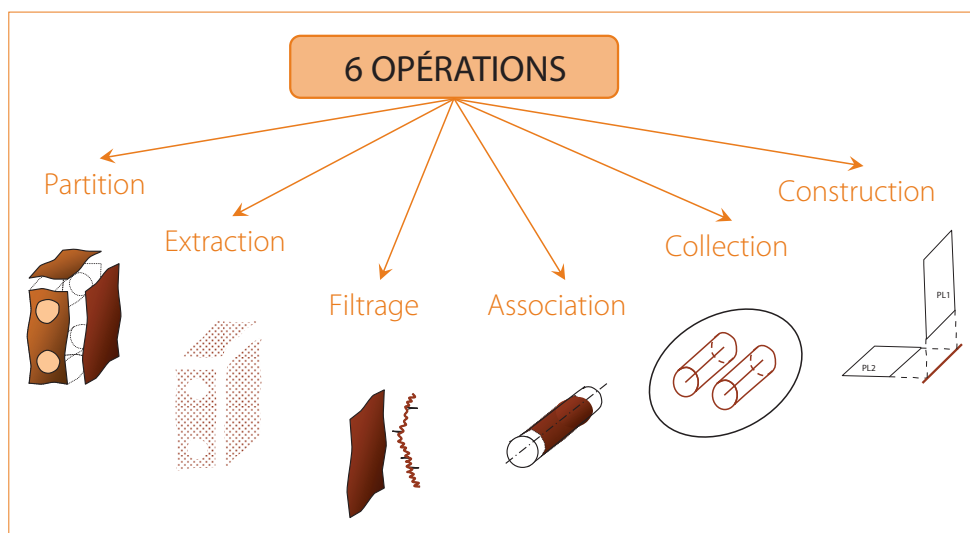
Cette fiche, comme les précédentes, se présente sous la forme d'un tableau. Pour pouvoir accueillir tous les types de spécifications, le nombre d'items considérés reste faible et générique. Elle comporte quatre zones principales **3** :

- Zone 1 : identification et présentation graphique de la spécification étudiée
- Zone 2 : description des éléments non idéaux
- Zone 3 : description des éléments idéaux
- Zone 4 : description de la caractéristique et de la condition

La zone 1 est destinée à identifier le cas traité avec quatre champs à remplir, le numéro de la fiche GPS, la famille de la spécification, le type de la spécification et le nom de l'auteur. En dessous, la cellule « modèle nominal » accueille un dessin de la forme nominale de la pièce ou de l'assemblage traités pour illustrer graphiquement la spécification. Pour une spécification normalisée ISO, le dessin fera apparaître sa représentation graphique normalisée. La dernière cellule, « skin model », accueille également un dessin. Celui-ci permet d'illustrer les éléments géométriques idéaux et non idéaux impliqués dans la sémantique de la spécification.

Les zones 2 et 3 comportent deux lignes pour accueillir, selon les cas, un ou deux ensembles à un ou plusieurs

**3 La fiche GPS**



**4 Les opérations**

éléments géométriques. Cette disposition permet de considérer alors, selon les spécifications, de une à quatre cellules remplies.

La zone 4 est nouvelle, elle vise à définir explicitement la grandeur qui fait l'objet du tolérancement et ses limites. Généralement, la condition de conformité pour les spécifications par zone de tolérance est vue en tout ou rien. Une pièce est déclarée conforme si l'élément tolérancé appartient à cette zone. Ce que nous souhaitons pour le futur et pour une meilleure maîtrise de la qualité, c'est quantifier la conformité par la connaissance d'une valeur d'une caractéristique. Cette approche favorise également un meilleur dialogue avec les métrologues, qui doivent toujours considérer une caractéristique à quantifier.

### GeoSpelling

Le modèle GeoSpelling, que nous avons développé depuis 1991 et qui a été retenu par l'ISO [1] [2], est utilisé pour décrire les géométries idéale et non idéale. Il permet d'exprimer les spécifications depuis la fonction jusqu'à la vérification avec un langage commun. Ce modèle est basé sur des opérations géométriques appliquées non seulement aux éléments idéaux manipulés dans les modeleurs de CAO, mais aussi aux éléments non idéaux présents sur les pièces réelles. Ces opérations sont elles-mêmes définies par des contraintes sur des caractéristiques de forme et de situation relative des éléments.

### La spécification géométrique

GeoSpelling est basé sur les concepts suivants :

- Une spécification est une *condition* sur une *caractéristique* définie sur des *éléments géométriques*.
- Ces éléments géométriques sont des éléments créés à partir du *modèle de la surface non idéale de la pièce* (« *skin model* ») par différentes *opérations*.


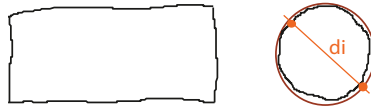
Une condition définit un intervalle de IR à l'intérieur duquel la valeur de la caractéristique doit se trouver. Ces éléments géométriques sont identifiés par des opérations à partir du *skin model*. La spécification peut être à

## Exemples de spécifications

### Spécification de pièces isolées

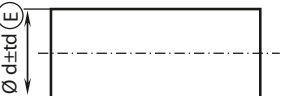

#### Spécification par dimension

Cette spécification porte sur les dimensions locales d'une surface nominale cylindrique ; seuls des éléments non idéaux ponctuels sont impliqués. Seules les premières cellules des zones 2 et 3 sont renseignées. La caractéristique est ici définie par une distance entre deux éléments non idéaux.

| Fiche GPS n°  | 1                      | Éléments non idéaux                                   | Éléments idéaux   |
|---|------------------------|---|---|
| Spécification   | Pièce : dimension GPS  | S, surface nominale cylindrique obtenue par partition | CY, obtenu par association  |
| Type  | Diamètre d'un cylindre |   | <i>Contrainte</i> : aucune  |
| Auteur  |                        |   | <i>Objectif</i> : minimiser   |
| <b>Modèle nominal</b>   |                        |   |   |
|    |                        |   |   |
| <b>« Skin model »</b>   |                        |   |   |
|  |                        |   |   |
|   |                        | Caractéristique                                       | Condition   |
|   |                        | di = distance du bipoint i (Pti, Pti')                | $d - td \leq di \leq d + di$ pour tous les bipoints de la surface S |

#### Spécification par zone de tolérance, exigence de l'enveloppe

De même pour cette spécification, un seul élément d'une pièce est concerné, et la caractéristique est intrinsèque à un élément idéal. Les deux cellules de la première ligne des éléments décrivent alors les éléments géométriques de la spécification, un idéal et un autre non idéal.

| Fiche GPS n°  | 2                       | Éléments non idéaux                                   | Éléments idéaux            |
|---|-------------------------|---|----------------------------|
| Spécification   | Pièce : zone GPS        | <b>Élément tolérancé</b>                              | CY, obtenu par association |
| Type  | Enveloppe d'un cylindre | S, surface nominale cylindrique obtenue par partition | <i>Contrainte</i> :        |
| Auteur  |                         |   | • extérieur matière        |
| <b>Modèle nominal</b>   |                         |   |                            |
|  |                         |   |                            |
| <b>« Skin model »</b>   |                         |   |                            |
|  |                         |   |                            |
|   |                         | Caractéristique                                       | Condition                  |
|   |                         | D = diamètre du cylindre CY                           | $D \leq d + td$            |

caractère aussi bien déterministe que statistique.

**Les éléments géométriques**

Nous distinguons deux familles d'éléments géométriques, les éléments idéaux et les éléments non idéaux.

● **Les éléments idéaux**

Nous appelons élément idéal tout type d'élément – plan du modèle nominal de la pièce, cylindre associé à une surface nominalement cylindrique... – répondant à une équation. Parmi les éléments idéaux, nous distinguons ceux,

totallement indépendants de la surface réelle de la pièce, appelés *éléments nominaux* qui constituent le modèle nominal et les *éléments associés* obtenus par une opération d'association à partir d'éléments du *skin model*. Les éléments idéaux sont caractérisés par leur classe d'invariance [4] et leur type. Ils sont pour la plupart d'étendue infinie. Lorsqu'ils sont bornés, ils portent le nom de *limités*.

● **Les éléments non idéaux**

Nous appelons élément non idéal tout type d'élément – partie de la surface réelle de la pièce, axe réel... – ne répondant pas à une équation. Ils dépendent totallement de la surface réelle de la pièce. Le premier élément géométrique non idéal dans la démarche proposée pour décrire les spécifications géométriques est le *skin model*.

**Les opérations**

Les opérations permettant d'identifier les éléments géométriques sont au nombre de six : partition, extraction, filtrage, collection, association et construction [4].

La *partition* est une opération utilisée pour identifier des éléments bornés à partir d'éléments non idéaux ou idéaux.

Le *filtrage* est une opération utilisée pour identifier un élément non idéal par la réduction du niveau d'information d'un élément non idéal.

L'*extraction* est une opération utilisée pour identifier des points particuliers d'un élément non idéal.

La *collection* est une opération utilisée pour considérer plusieurs éléments ensemble.

L'*association* est une opération utilisée pour ajuster un ou plusieurs éléments idéaux à un ou plusieurs éléments non idéaux selon un critère.

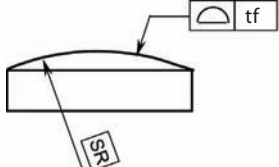
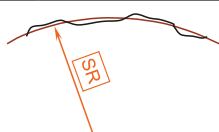
La *construction* est une opération utilisée pour construire un ou plusieurs éléments idéaux à partir d'autres éléments idéaux selon des contraintes.

D'une manière générale, l'identification d'un élément géométrique résultera d'un processus constitué

*Exemples de spécifications (suite)*

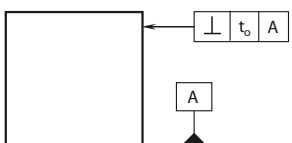
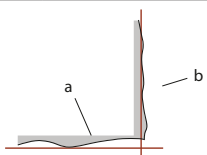
**Spécification par zone, tolérance de forme**

Un seul élément d'une pièce est concerné. Pour faire apparaître la caractéristique de forme de la surface, nous définissons un élément idéal par association qui ne porte pas de nom dans les normes actuelles et que nous avons baptisé « élément corrigé ». C'est, en quelque sorte, l'élément de situation de la zone dans sa situation optimale. On peut constater la contrainte sur la caractéristique intrinsèque de la sphère dans l'opération d'association.

|   |                              |  |   |
|---|------------------------------|--|---|
| Fiche GPS n°  | 3                            | Éléments non idéaux  | Éléments idéaux   |
| Spécification   | Pièce : zone GPS             | Élément tolérancé<br>S, surface nominalement sphérique obtenue par partition | Élément corrigé<br>SP, obtenue par association<br>Contrainte :<br>• rayon (SP) = SR<br>Objectif : minimiser<br>Distance maximale (S,SP) |
| Type  | Forme : profil d'une surface |  |   |
| Auteur  |                              |  |   |
| <b>Modèle nominal</b>   |                              |  |   |
|  |                              |  |   |
| <b>« Skin model »</b>   |                              |  |   |
|  |                              |  |   |
|   |                              | <b>Caractéristique</b>   | <b>Condition</b>  |
|   |                              | $d = 2 \times \text{distance maximale (S,SP)}$                               | $d \leq tf$   |

**Spécification par zone, tolérance d'orientation**

Cette spécification comporte deux ensembles à un seul élément ; les deux lignes des éléments sont utilisées. La première pour la définition de la référence et la deuxième pour la définition des éléments tolérancé et corrigé. La caractéristique est une caractéristique entre un élément non idéal et un élément idéal (élément corrigé). Ce dernier est obtenu par une opération d'association parce qu'il n'est pas totallement contraint dans la référence spécifiée.

|   |                                |   |  |
|---|--------------------------------|---|--|
| Fiche GPS n°  | 4                              | Éléments non idéaux   | Éléments idéaux  |
| Spécification   | Pièce : zone GPS               | Éléments de référence<br>Sa, surface nominalement plane obtenue par partition | Références spécifiées :<br><b>SIMPLE</b><br><b>Primaire</b><br>PLa, obtenu par association<br>Contrainte :<br>• extérieur matière<br>Objectif : minimiser<br>Distance maximale<br>(Sa,PLa) |
| Type  | Orientation : perpendicularité |   |  |
| Auteur  |                                |   |  |
| <b>Modèle nominal</b>   |                                |   |  |
|  |                                |   |  |
| <b>« Skin model »</b>   |                                |   |  |
|  |                                |   |  |
|   |                                | Élément tolérancé<br>Sb, surface nominalement plane obtenue par partition     | Élément corrigé<br>PLb, obtenu par association<br>Contrainte :<br>• angle (PLb,PLa) = 90°<br>Objectif : minimiser<br>Distance maximale<br>(Sb,PLb)   |
|   |                                | <b>Caractéristique</b>  | <b>Condition</b>   |
|   |                                | $d = 2 \times \text{distance maximale (Sb,PLb)}$                              | $d \leq t_0$   |

d'une opération ou d'une succession d'opérations.

**Les caractéristiques**

Nous distinguons deux grands types de caractéristiques, intrinsèques et de situation, que l'on regroupe en cinq familles selon les éléments géométriques considérés :

- Les caractéristiques intrinsèques
- Les caractéristiques de situation entre éléments idéaux
- Les caractéristiques de situation entre éléments non idéaux et idéaux
- Les caractéristiques de situation entre éléments non idéaux
- Les caractéristiques de situation entre éléments idéaux limités et éléments idéaux

Nous ne développerons pas ici ce chapitre des caractéristiques, mais, compte tenu de leur importance dans l'approche, nous renvoyons le lecteur au document ISO 17450-1 [2].

**La condition**

La condition est une expression qui met en relation une caractéristique et les valeurs de la ou des limites permises de la caractéristique.

**L'utilisation de la fiche GPS**

**Zone 1, identification et présentation graphique de la spécification étudiée**

Les cellules « spécification » et « type » peuvent être remplies de manière libre par l'utilisateur, le but étant que l'on comprenne à la lecture de quoi il s'agit. Nous proposons de distinguer dans la cellule « spécification » les spécifications relatives aux pièces ou aux assemblages, par dimension ou par zone.

Si les spécifications sont normalisées, on indique « GPS » ; si elles ne le sont pas, on précise la famille de la caractéristique. Cela peut donner les expressions suivantes : « pièce : dimension, GPS », « pièce : zone, GPS », « assemblage : dimension, idéal/idéal ». Pour la cellule « type », on indique pour les spécifications normalisées le type connu : « diamètre d'un cylindre », « orientation : perpendicularité », « position : loca-

*Exemples de spécifications (suite)*

**Spécification par zone, tolérance de position avec maximum de matière**

Ce cas n'est pas normalisé. La norme sur le maximum et le minimum de matière ne permet pas de considérer un modificateur sur la référence lorsqu'il n'y en a pas sur l'élément toléré. L'opération d'association pour l'établissement de la référence est un peu particulière dans le sens où le résultat n'est pas unique. C'est ce que les Américains appellent une référence candidate due à l'état virtuel sur la référence. La position finale de la référence sera donnée par l'association de l'élément corrigé. Le cylindre CYa de diamètre imposé à la valeur au maximum de matière doit rester à l'extérieur de la matière.

L'élément de référence est une partie restreinte de la surface nominalement cylindrique. Là encore, l'opération de partition n'est pas totalement décrite. Comme l'expression graphique le montre, il faudrait réaliser une partition de la surface nominalement conique avant de pouvoir positionner la partie restreinte.

|                       |                                      |  |  |
|-----------------------|--------------------------------------|--|--|
| Fiche GPS n°          | 6                                    | Éléments non idéaux  | Éléments idéaux  |
| Spécification         | Pièce : zone                         | Éléments de référence                                      | Référence spécifiée :  |
| Type                  | Position : localisation, max matière | Sa, surface nominalement cylindrique obtenue par partition |  |
| Auteur                |                                      |  |  |
| <b>Modèle nominal</b> |                                      |  |  |
|                       |                                      | Élément toléré   | Éléments corrigés  |
| <b>« Skin model »</b> |                                      | Sb, surface nominalement conique obtenue par partition     | COB et CYa obtenus par association<br><i>Contrainte :</i><br>• CYa extérieur matière<br>• diamètre (CYa) = a + ta<br>• angle (COB) = 40°<br>• coïncidence [axe (COB), axe (CYa)]<br><i>Objectif :</i> minimiser Distance maximale (Sb,COB) |
|                       |                                      | <b>Caractéristique</b>                                     | <b>Condition</b>   |
|                       |                                      | d = 2 x distance maximale (Sb,COB)                         | d ≤ t <sub>p</sub>   |

**Spécification par dimension entre deux éléments idéaux**

Ce cas n'est pas normalisé. Aucun langage n'existe aujourd'hui pour pouvoir spécifier cette caractéristique. Cependant, elle peut être très utile sur un plan fonctionnel et répondre aux attentes des personnes qui traitent le tolérancement paramétrique. Aucun élément n'est pris en référence parmi deux ensembles d'éléments concernés. L'ordre de description dans la fiche importe peu. La caractéristique est une distance entre deux droites.

|                       |                                |  |  |
|-----------------------|--------------------------------|--|--|
| Fiche GPS n°          | 8                              | Éléments non idéaux  | Éléments idéaux  |
| Spécification         | Pièce : dimension, idéal/idéal | Sa, surface nominalement plane obtenue par partition       | PLa, plan obtenu par association   |
| Type                  | Angle : droite/droite          | Sb, surface nominalement cylindrique obtenue par partition | <i>Contrainte :</i><br>• extérieur matière<br><i>Objectif :</i><br>• minimiser Distance maximale (Sa,PLa)  |
| Auteur                |                                |  | CYb, cylindre obtenu par association<br><i>Contrainte :</i><br>• extérieur matière<br>• angle [axe (CYb), PLa] = 90°<br><i>Objectif :</i> maximiser Diamètre (CYb) |
| <b>Modèle nominal</b> |                                |  |  |
|                       |                                | Sc, surface nominalement plane obtenue par partition       | PLc, plan obtenu par association   |
| <b>« Skin model »</b> |                                | Sd, surface nominalement cylindrique obtenue par partition | <i>Contrainte :</i><br>• extérieur matière<br><i>Objectif :</i> minimiser Distance maximale (Sa,PLa)   |
|                       |                                |  | CYd, cylindre obtenu par association<br><i>Contrainte :</i><br>• extérieur matière<br>• angle [axe (CYd), PLc] = 90°<br><i>Objectif :</i> maximiser Diamètre (CYd) |
|                       |                                | <b>Caractéristique</b>                                     | <b>Condition</b>   |
|                       |                                | a = distance [axe (CYb), axe (CYd)]                        | A - ta ≤ a ≤ A + ta  |

Exemples de spécifications (suite)

Spécification d'assemblages

Spécification par dimension entre deux éléments idéaux

Aucun langage normalisé ne permet actuellement de spécifier les assemblages. La difficulté de la spécification des assemblages réside dans la gestion des mobilités et des jeux dans les liaisons. Les concepts ont néanmoins été présentés dans la norme ISO 25378 [5], et une première norme ISO 17863 [6] est en cours de préparation pour l'écriture normalisée. Dans le cas présenté, la caractéristique porte sur l'angle entre deux plans de deux pièces différentes. Les deux lignes de la fiche sur les éléments sont utilisées, chaque ligne aboutissant à la définition d'un des deux plans, il n'y a pas d'ordre dans la description. Compte tenu des différentes valeurs que peut prendre l'angle à cause des jeux et des écarts dans le mécanisme, c'est la valeur maximale de la caractéristique qui est retenue.

|                |                                     |   |   |
|----------------|-------------------------------------|---|---|
| Fiche GPS n°   | 10                                  | Éléments non idéaux                               | Éléments idéaux   |
| Spécification  | Assemblage : dimension, idéal/idéal | S1a, surface nominale plane obtenue par partition | PL1a, plan obtenu par association<br><i>Contrainte</i> : aucune<br><i>Objectif</i> : minimiser<br>Somme des carrés des distances (S1a,PL1a) |
| Type           | Angle : plan/plan                   |   |   |
| Auteur         |                                     |   |   |
| Modèle nominal |                                     |   |   |
|                |                                     | S2a, surface nominale plane obtenue par partition | PL2a, plan obtenu par association<br><i>Contrainte</i> : aucune<br><i>Objectif</i> : minimiser<br>Somme des carrés des distances (S2a,PL2a) |
| « Skin model » |                                     |   |   |
|                |                                     | Caractéristique                                   | Condition   |
|                |                                     | a = angle maximal (PL1a,PL2a)                     | a ≤ β<br>Quelles que soient les configurations dues aux jeux  |

Spécification par zone entre un élément non idéal et un élément idéal

Le cas suivant fait apparaître une nouvelle modalité d'existence de la condition ; cette dernière doit être vérifiée quelles que soient les positions cinématiques du coulisseau le long de sa course.

|                |                                     |  |  |
|----------------|-------------------------------------|--|--|
| Fiche GPS n°   | 9                                   | Éléments non idéaux  | Éléments idéaux  |
| Spécification  | Assemblage : dimension, idéal/idéal | Éléments de référence<br>S1a, surface nominale plane obtenue par partition | Référence spécifiée<br>PL1a, plan obtenu par association<br><i>Contrainte</i> :<br>• extérieur matière<br><i>Objectif</i> : minimiser<br>Distance maximale (S1a,PL1a)            |
| Type           | Distance : surface/plan             |  |  |
| Auteur         |                                     |  |  |
| Modèle nominal |                                     |  |  |
|                |                                     | Élément tolérancé<br>S2a, surface nominale plane obtenue par partition     | Élément corrigé<br>PL2a, obtenu par association<br><i>Contrainte</i> :<br>• extérieur matière<br>• angle (PL2a,PL1a) = 0°<br><i>Objectif</i> : maximiser<br>Distance (PL2a,PL1a) |
| « Skin model » |                                     |  |  |
|                |                                     | Caractéristique  | Condition  |
|                |                                     | d = distance (PL2a,PL1a)   | d ≥ dmini<br>Quelles que soient les positions de 2 par rapport à 1 et quelles que soient les configurations dues aux jeux  |

lisation, max matière ». Dans le cas d'une spécification non normalisée, on indique s'il s'agit d'une distance ou d'un angle, ensuite on précise sa définition, « distance : point/point » ou « distance : surface/plan ».

Zone 2, élément non idéaux

Dans cette zone, on liste les éléments non idéaux concernés par la spécification et on décrit leur processus d'obtention.

Les éléments sont désignés par une lettre majuscule représentant leur nature (P pour nature ponctuelle, L pour nature linéique et S pour nature surfacique), suivie d'un nombre pour considérer la pièce dans les cas de spécifications sur des assemblages et d'une lettre minuscule pour pointer sur un élément particulier, par exemple S1a.

Pour la plupart des spécifications, le processus est composé d'une seule opération de partition à partir du *skin model* – mais, dans certains cas, il est conséquent et peut comporter tous les types d'opérations (voir le cas de « l'axe réel » qui comporte une liste ordonnée de six opérations [2]). Une ligne type de cette cellule sera « S1a, surface nominale plane obtenue par partition ». L'opération de partition n'est pas décrite ici parce que complexe et non encore totalement aboutie.

Lorsqu'il s'agit d'une spécification de situation entre deux ensembles d'éléments, les éléments de chaque ensemble sont décrits dans deux cellules séparées.

Zone 3, éléments idéaux

La description des éléments idéaux est un peu plus complexe à réaliser que celle des non idéaux.

Les éléments idéaux sont désignés par deux lettres majuscules représentant leur type – PT (point), DR (droite), PL (plan), CY (cylindre), CO (cône), SP (sphère), TO (tore), CE (cercle)... – suivies d'un nombre pour considérer la pièce dans les cas de spécifications sur des assemblages et d'une lettre minuscule pour pointer sur un élément particulier, par exemple PL2f.

Les processus de description des éléments idéaux concernés sont principalement constitués des deux opérations que sont l'association et la construction : l'opération d'association identifie un ou plusieurs éléments qui minimisent (ou maximisent) un objectif assujéti à un ensemble de contraintes, et l'opération de construction identifie un ou plusieurs éléments qui satisfont à un ensemble de contraintes.

Les contraintes sont des équations ou inéquations impliquant les valeurs des caractéristiques. L'objectif est une expression impliquant également une valeur d'une caractéristique.

Dans le cas de la construction, une contrainte s'exprime sur la valeur d'une caractéristique intrinsèque à un élément idéal (diamètre d'un cylindre, angle d'un cône...) ou sur la valeur d'une des neuf caractéristiques de situation entre les éléments idéaux de types point, droite et plan.

Dans le cas de l'association, on retrouve ce type de contraintes lorsque l'élément à associer est un ensemble ou lorsqu'il doit occuper une situation particulière par rapport à d'autres éléments déjà identifiés. À ces contraintes, il faut ajouter celles qui expriment la position recherchée de l'élément associé par rapport à l'élément non idéal. Généralement, ces contraintes positionnent l'élément idéal à l'*extérieur de la matière* ou à l'*intérieur de la matière*. Enfin, l'objectif de l'association consiste à minimiser ou à maximiser une caractéristique intrinsèque à un élément idéal, une caractéristique entre deux éléments idéaux ou une fonction d'une caractéristique entre élément non idéal et élément idéal.

#### ● Caractéristiques de situation entre éléments idéaux

distance (PT,PT)  
distance (PT,DR)  
distance (PT,PL)  
distance (DR,DR)  
distance (DR,PLparallèle)  
distance (PL,PLparallèle)  
angle (DR,DR)  
angle (DR,PL)  
angle (PL,PL)

#### ● Caractéristiques de situation entre un élément non idéal et un élément idéal

Ces caractéristiques sont basées sur une distance entre tout point P de l'élément non idéal et un élément idéal de types point, droite ou plan.

distance (P,PT)  
distance (P,DR)  
distance (P,PL)

Généralement, c'est une fonction de ces distances qui est intéressante. distance maximale, distance minimale ou distance quadratique

Voici une description type d'opérations d'association et de construction :

PL1a, obtenue par **association**

Contraintes :

extérieur matière  
angle (PL1b,PL1a) = 90°

Objectif : minimiser

Distance maximale (Sa,PL1a)

DRd, obtenue par **construction**

Contraintes :

distance (DRd,PLb) = 100 mm  
distance (DRd,PLc) = 60 mm

#### Zone 4, description de la caractéristique et de la condition

Comme nous l'avons dit, la caractéristique faisant l'objet de la spécification appartient à l'une des cinq familles citées. Elle est obligatoirement définie sur les éléments idéaux et non idéaux décrits dans les zones 2 et 3 de la fiche. Son expression correspond aux caractéristiques données ci-dessus.

La cellule « condition » fait apparaître la ou les inéquations auxquelles est soumise la caractéristique en fonction des limites admissibles. Elle stipule si ces limites ont été fixées de manière statistique ou non. Dans le cas des assemblages, elle comporte les modalités d'existence de la condition selon les mobilités du mécanisme et selon les configurations dues aux jeux et aux écarts.

Pour illustrer la mise en œuvre de la fiche GPS, nous présentons en encadré quelques cas de spécifications normalisées bien connues et d'autres non normalisées, ainsi que

des spécifications sur des assemblages.

#### Conclusion

La fiche GPS présente des avantages certains par rapport aux précédentes : elle permet de décrire tous les types de spécifications macrogéométriques, par dimension ou par zone, sur des pièces isolées ou sur des mécanismes. Elle permet également d'accueillir les spécifications microgéométriques, que nous n'avons pas pu aborder ici. Le point de vue de la description des spécifications est celui de GeoSpelling, basé sur une géométrie réaliste construite à partir du *skin model*. Le langage reste encore un peu difficile à manipuler compte tenu de la complexité des problèmes à décrire. Il nécessite certes un apprentissage pour son assimilation, pas si laborieux compte tenu des progrès constatés ces dix dernières années dans le domaine du tolérancement.

Nous sommes persuadés que cette fiche est un bon moyen de remédier aux inconvénients actuels d'un manque de normes quant à la description des spécifications. Elle devrait conduire à une solution informatique pour intégrer la géométrie réaliste des produits dans la maquette numérique, et améliorer la qualité par une communication explicite et univoque entre les acteurs de l'entreprise. ■

#### ► Références

- [1] ISO 17450-1, « Geometric Product Specification (GPS) – General concepts – Part 1: Model for geometrical specification and verification »
- [2] ISO 17450-2, « Geometric Product Specification (GPS) – General concepts – Part 2: Operators and uncertainties »
- [3] MENRT-Cerpet, *Exploitation du concept GPS et de la normalisation pour la spécification géométrique des produits*, livret de formation, janvier 1999, 80 pages  
<http://missiontice.ac-besancon.fr/sti/articles.php?lng=fr&pg=108>
- [4] CLÉMENT (A.), RIVIÈRE (A.), TEMMERMAN (M.), *Cotation tridimensionnelle des systèmes mécaniques : théorie et pratique*, PYC édition, Paris, 1994.
- [5] ISO 25378, « Spécification géométrique de produits (GPS) – Caractéristiques et conditions – Définitions »
- [6] ISO 17863 (en cours de préparation), « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique des assemblages amovibles »