

La « Fiche GPS », outil d'expression univoque des spécifications géométriques

Luc Mathieu*, Alex Ballu**

* LURPA - ENS de Cachan

61 Avenue du Président Wilson - 94235 Cachan Cedex - France

E-mail: mathieu@lurpa.ens-cachan.fr

** LMP - UMR 5469 CNRS - Université Bordeaux 1

351 cours de la Libération - 33405 Talence Cedex - France

E-mail: alex.ballu@u-bordeaux1.fr

Résumé

Cet article présente un outil sous la forme d'une fiche au format A4 permettant de décrire la sémantique de tout type de spécification macro et micro géométrique sur des pièces isolées ou sur des assemblages. Elle vise à pallier les contradictions et les manques des normes actuelles de tolérancement dans l'attente de nouvelles normes basées sur GEOSPELLING. Notre modèle proposé et accepté par les experts du comité GPS de l'ISO pour structurer les futures normes de spécification et de vérification des produits. Après avoir rappelé les concepts du modèle, l'outil est décrit et illustré par un nombre important d'exemples.

Abstract

This paper presents a tool to describe the meaning of macro and micro tolerance specification. The possibilities are to consider every types of specifications for isolated parts and for assemblies. The aim of this tool is to compensate for the contradictions and the lacks of actual ISO GPS standards. It is based on GEOSPELLING, our model proposed and accepted by ISO experts to build the future standards. The appearance of the tool is a card at the A4 format with preformatted cells. After having presented the concepts of the model, the tool is described and illustrated by a lot of examples.

1 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 inévitables des produits fabriqués 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 faits 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 limitées au langage normalisé des années 80-90. Ces limites sont identiques pour le langage développé dans les normes d'échange STEP.

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 au concepteur des processus de fabrication de choisir les meilleurs moyens de transformation et aux métrologues d'élaborer les processus de mesure les 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 encore appelée plus communément « le tolérancement » reste un parent pauvre des méthodes modernes de conception et des préoccupations 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, le président actuel des comités de normalisation sur le tolérancement géométrique et la métrologie dimensionnelle créait le concept de chaînes de normes avec l'acronyme GPS (Geometric Product Specification) basé sur la matrice GPS [1]. Le but poursuivi était de combler 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 surfaces. 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 macro géométriques 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 [2], il a été également la base d'un deuxième document traitant du concept d'incertitudes généralisées [3]. Il est facile de constater que le processus de normalisation est extrêmement lent puisqu'il doit conduire à un consensus entre les experts des nations représentées. La lenteur est telle que de 1993 à ce jour, pratiquement aucune nouvelle norme traitant de la spécification macro géométrique n'a vu le jour. C'est à dire que les concepteurs travaillent aujourd'hui pratiquement toujours avec les contradictions et les manques de l'époque bien que des travaux importants aient été réalisés par les experts.

Pour combler ces difficultés, nous proposons dans cet article un outil, appelé « fiche GPS » pour la description univoque des spécifications macrogéométriques, normalisées ou non, portant sur une pièce isolée ou sur un assemblage.

1.1 Historique de la fiche et buts recherchés

Dès 1996, pressés par le monde industriel pour 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 spécification par zone de tolérance (Fig.1). C'est cet outil qui est aujourd'hui encore utilisé par les collègues dans la plupart des établissements d'enseignement [4].

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 de comprendre la différence entre les éléments géométriques manipulés, à savoir leur appartenance à la famille des idéaux (théorique) ou 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 « zone 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 grandes colonnes sont mises en évidence, la colonne « Éléments non idéaux » et la colonne « Éléments idéaux ». Chacune de ces grandes colonnes se décline en « Éléments tolérancés/ Éléments de référence » et en « Références spécifiées » et « Zone de tolérance ».

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

Par expérience et par témoignage, ce format n'est pas si simple à remplir, des difficultés sont parfois rencontrées pour manipuler le vocabulaire utilisé.

TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Position Orientation Battement	Elément(s) tolérance(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s) Etat virtuel	Zone de tolérance Etat virtuel	
Condition de conformité :	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	Contraintes orientation et/ou position par rapport aux références spécifiées
Schéma extrait du dessin de définition					

Figure 1 : Fiche de spécification n°1

En 1998, nous avons introduit un deuxième format de fiche, plus pragmatique pour mieux guider l'utilisateur à décrire la spécification géométrique. Des champs préimprimés donnent la structure de la spécification. (Fig.2)

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

Figure 2 : Fiche de spécification n°2

Cette fiche utilisée en formation, a retenue l'attention d'un constructeur automobile et à fait l'objet d'un développement informatique [5]. 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 informations correctement définies par les normes, une seconde couleur pour des compléments peu clairs dans les normes et une troisième couleur 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 ces fiches, nous proposons dans cet article d'aller plus loin encore pour dépasser leurs limites. Le but de cette nouvelle fiche, baptisée « fiche GPS », est d'offrir à son utilisateur la possibilité de décrire explicitement tout type de spécifications, normalisées ou non, dimensionnelle et géométrique sur des pièces isolées et sur des assemblages. Cette fiche 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 [2].

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.

1.2 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. Celle-ci comporte quatre zones principales. (Fig.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 4 champs à remplir, « Fiche GPS n° », « spécification » précisant 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 traité pour illustrer graphiquement la spécification. Pour une spécification normalisée ISO, le dessin fera apparaître sa représentation graphique normalisée. La dernière cellule intitulée « Skin modèle » accueille également un graphique. 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, 1 ou deux ensembles à un ou plusieurs éléments géométriques. Cette disposition permet de considérer alors selon les spécifications, 1 à 4 cellules remplies.

Fiche GPS n°		Eléments non idéaux		Eléments idéaux	
Spécification		2		3	
Type					
Auteur		Caractéristique		Condition	
Modèle nominal					
1		4			
				« Skin » modèle	

Figure 3 : « Fiche GPS »

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.

Dans le paragraphe n°2, nous allons rappeler les bases de GEOSPELLING, le modèle que nous avons développé depuis 1991 [6], [7], [8] et qui a été retenu par l'ISO [2], [3]. C'est sur ces bases que nous décrivons la sémantique des spécifications dans la « fiche GPS ».

2 GEOSPELLING

GEOSPELLING est un modèle utilisé pour décrire la géométrie idéale et non idéale [9]. 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.

2.1 Spécification géométrique

GEOSPELLING est basé sur le concept suivant :

- 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 modèle)** par différentes **opérations**.

Une condition définit un intervalle de IR à l'intérieur du quel la valeur de la caractéristique doit se trouver. Ces éléments géométriques sont identifiés par des opérations à partir du skin modèle. La spécification peut être aussi bien à caractère déterministe que statistique.

2.2 Eléments géométriques

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

Eléments idéaux

Nous appelons élément idéal, tout type d'élément tel que :

- Un plan du modèle nominal de la pièce.
- Un cylindre associé à une surface nominale cylindrique.
- ...

Ces éléments répondent à une équation. Parmi les éléments idéaux, nous distinguons ceux totalement 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 modèle. Les éléments idéaux sont caractérisés par leur classe d'invariance [10] et leur type. Ils sont pour la plupart d'étendue infinie. Lorsqu'ils sont bornés, ils portent le nom de limités.

Eléments non idéaux

Nous appelons élément non idéal, tout type d'élément tel que :

- Une partie de la surface réelle de la pièce.
- Un axe réel.
- ...

Ces éléments ne répondent pas à une équation. Ils dépendent totalement 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 modèle.

2.3 Opérations

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

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.

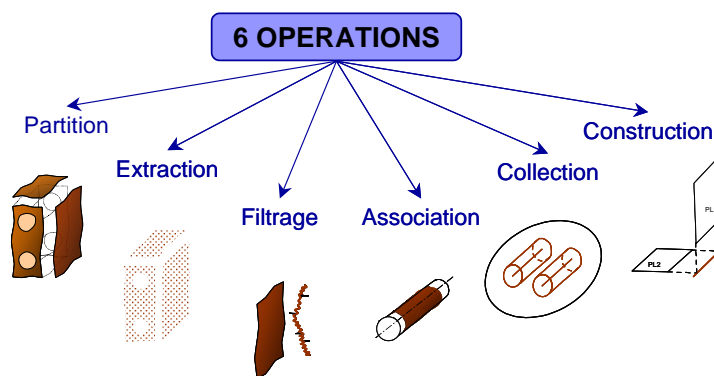


Figure 4 : opérations

D'une manière générale, l'identification d'un élément géométrique résultera d'un processus constitué d'une ou d'une succession d'opérations.

2.4 Caractéristiques

Nous distinguons deux grands types de caractéristiques, intrinsèque et 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.

Compte tenu du nombre limité de pages de l'article et de l'importance des caractéristiques dans l'approche, nous renvoyons le lecteur au document ISO/TS17450-1 :2005 [2].

2.5 Condition

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

Le paragraphe suivant décrit l'utilisation de la « fiche GPS » sur les bases de ces concepts.

3 Utilisation de la « fiche GPS »

3.1 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 est de comprendre 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, nous indiquons GPS. Si elle ne le sont pas, nous précisons 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 », nous indiquons pour les spécifications normalisées, le type connu « diamètre d'un cylindre », « orientation : perpendicularité », « position : localisation, max matière ». Dans le cas des spécifications non normalisées nous indiquons s'il s'agit d'une distance ou d'un angle ensuite nous précisons sa définition, « distance : point/point » ou « distance : surface/plan ».

3.2 Zone 2, élément non idéaux.

Dans cette zone, nous listons les éléments non idéaux concernés par la spécification et nous décrivons 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, exemple *S1a*.

Le processus pour la plupart des cas de spécifications est composé d'une seule opération de **partition** à partir du SKIN modèle alors que pour d'autres il est conséquent et peut comporter tous les types d'opération, 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 davantage 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.

3.3 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), SL (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, 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 assujetti à un ensemble de contraintes.
- 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 9 caractéristiques de situation entre les éléments idéaux de type point, droite et plan (Fig.4).

Dans le cas de l'association, on retrouve ce type de contraintes lorsque l'élément à associer est un ensemble ou lorsque l'élément à associer doit occuper une situation particulière par rapport à d'autres éléments déjà identifiés. A 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 positionne 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 (Fig.5) ou une fonction d'une caractéristique entre l'élément non idéal et idéal (Fig.6).

distance (PT,PT) distance (PT,SL) distance (PT,PL) distance (SL,SL) distance (SL,PLparallèle) distance (PL,PLparallèle) angle (SL,SL) angle (SL,PL) angle (PL,PL)	distance (P,PT) distance (P,SL) distance (P,PL) <i>Ces caractéristiques sont basées sur une distance entre tout point P de l'élément non idéal et un élément idéal de type point, droite ou plan. Généralement, c'est une fonction de ces distances qui est intéressante.</i> distance maximale, distance minimale ou distance quadratique
---	--

Figure 5 : caractéristiques de situation entre éléments idéaux

Figure 6 : caractéristiques de situation entre un élément non idéal et un élément idéal

Une description type des opérations d'association et de construction est donnée en Fig.7.

PL1a, obtenu par **association**

Contraintes :

- extérieur matière
- angle (PL1b,PL1a) = 90°

Objectif : minimiser

Distance maximale (Sa,PL1a)

SLd, obtenue par **construction**

Contraintes :

- angle (SLd,PLa) = 90°
- distance (SLd,PLb)=100mm
- distance (SLd,PLc)=60mm

Figure 7 : opérations d'association et de construction

3.4 Zone 4- Description de la caractéristique et de la condition.

Comme nous l'avons dit dans le paragraphe 2.4, 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 zone 2 et 3 de la fiche. Son expression correspond aux caractéristiques données ci-dessus.

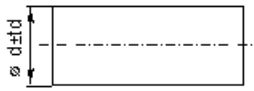

La cellule condition fait apparaître la ou les inéquations aux quelles est soumise la caractéristique en fonction des limites admissibles. Elle stipule si ces limites ont été fixées de manière statistique ou non. Dans le cas des assemblages, elle comporte les modalités d'existence de la condition selon les mobilités du mécanisme et selon les configurations dues aux jeux et aux écarts [11].

Pour illustrer la mise en œuvre de la « fiche GPS », nous présentons ci-après quelques cas de spécifications normalisées bien connues et d'autres non normalisées ainsi que des spécifications sur des assemblages.

4 Spécification des pièces isolées

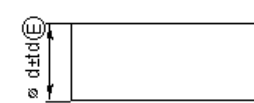

4.1 Spécification par dimension

Cette spécification porte sur les dimensions locales d'une surface nominalement cylindrique, seuls des éléments non idéaux ponctuels sont impliqués. La première cellule de la zone deux est renseignée. Pour simplifier ce premier exemple, le processus d'extraction des bi-points n'est pas totalement décrit. 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	Élément tolérancé S, surface nominalement cylindrique obtenue par partition. Pti et Pti ième points diamétralement opposés obtenus par extraction.	
Type	Diamètre d'un cylindre		
Auteur			
Modèle nominal			
			
« Skin » modèle			
			
		Caractéristique	Condition
		di = distance du bipoint i (Pti, Pti')	d - td <= di <= d + td pour tous les bipoints de la surface S.

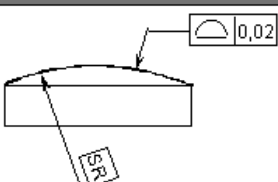

4.2 Spécification par zone de tolérance, exigence de l'enveloppe

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 non idéal.

Fiche GPS n°	2	Éléments non idéaux	Éléments idéaux
Spécification	Pièce : zone GPS	Élément tolérancé S, surface nominalement cylindrique obtenue par partition.	CY, obtenu par association <i>Contrainte</i> : extérieur matière <i>Objectif</i> : minimiser Diamètre (CY)
Type	Enveloppe d'un cylindre		
Auteur			
Modèle nominal			
			
« Skin » modèle			
			
		Caractéristique	Condition
		D = diamètre du cylindre CY	D <= d + td

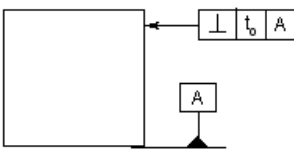
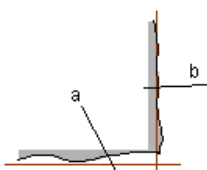
4.3 Spécification par zone, tolérance de forme.

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 toléré S, surface nominale sphérique obtenue par partition.	Élément corrigé SP, obtenue par association <i>Contrainte</i> : rayon (SP) = SR <i>Objectif</i> : minimiser Distance maximale (S,SP)
Type	Forme : profil d'une surface		
Auteur			
Modèle nominal			
			
« Skin » modèle			
			
		Caractéristique	Condition
		$d = 2 \times \text{distance maximale (S,SP)}$	$d \leq tf$

4.4 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 toléré 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 totalement contraint dans la référence spécifiée.

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

4.5 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 nominale cylindrique. La encore, l'opération de partition n'est pas totalement décrite. Comme l'expression graphique le montre, il faudrait réaliser une partition de la surface nominale conique avant de pouvoir positionner la partie restreinte.

Fiche GPS n°	6	Éléments non idéaux	Éléments idéaux
Spécification	Pièce : zone	Eléments de référence Sa, surface nominale cylindrique obtenue par partition.	Références spécifiées : SIMPLE DRa, axe (CYa) obtenu par association <i>Contrainte</i> : extérieur matière • diamètre (CYa) = $\alpha \cdot t_p$
Type	Position : localisation, max matière		
Auteur			
Modèle nominal			
		Elément tolérancé Sb, surface nominale conique obtenue par partition.	Elément corrigé COb, obtenu par association <i>Contrainte</i> : angle (COb) = 40° • coincidence (axe(COb), axe(CYa)) <i>Objectif</i> : minimiser Distance maximale (Sb, COb)
« Skin » modèle			
		Caractéristique	Condition
		$d = 2 \times \text{distance maximale (Sb, COb)}$	$d \leq t_p$

4.6 Spécification par dimension entre deux éléments idéaux.

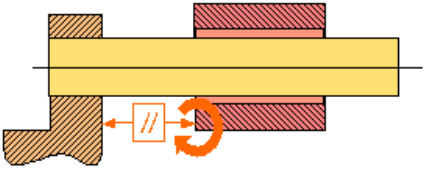
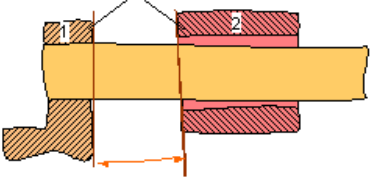
Ce cas n'est pas normalisé. Aucun langage n'existe aujourd'hui pour pouvoir spécifier cette caractéristique. Cependant, elle peut être très utile sur un plan fonctionnel et répondre aux attentes des personnes que traitent du tolérancement paramétrique. Aucun élément n'est pris en référence parmi deux ensembles d'éléments concernés. L'ordre de description dans la fiche importe peu. La caractéristique est un angle entre deux droites et s'exprime par un angle signé. Ce type de caractéristique non décrit dans l'article par manque de place est fort intéressant pour avoir unicité de la solution. Une présentation exhaustive en est donnée dans [2].

Fiche GPS n°	8	Éléments non idéaux	Éléments idéaux
Spécification	Pièce : dimension idéal/idéal	Sa, surface nominale plane obtenue par partition. Sb, surface nominale cylindrique obtenue par partition.	PLa, obtenu par association <i>Contrainte</i> : extérieur matière <i>Objectif</i> : minimiser Distance maximale (Sa, PLa)
Type	Angle : droite/droite		
Auteur			
Modèle nominal			
		Sa, surface nominale plane obtenue par partition. Sd, surface nominale cylindrique obtenue par partition.	CYb, obtenu par association <i>Contrainte</i> : extérieur matière • angle(axe(CYb), PLa) = 90° <i>Objectif</i> : maximiser Diamètre (CYb)
« Skin » modèle			
		Caractéristique	Condition
		$\alpha = \text{angle signé (axe(CYb), axe(CYd))}$	$A - tA \leq \alpha \leq A + tA$

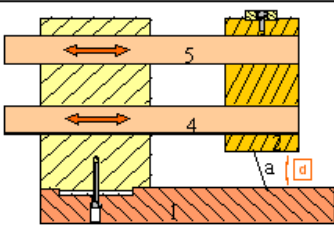
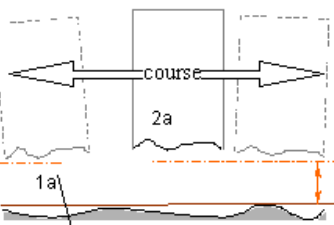
5 Spécification des assemblages

5.1 Spécification par dimension entre deux éléments idéaux.

Les spécifications sur des assemblages ne sont pas normalisées. Aucun langage n'existe aujourd'hui pour pouvoir les spécifier. Ce cas est un peu similaire à celui de la fiche n°8. Seulement les éléments définissant la caractéristique appartiennent à deux composants différents. Les deux lignes des éléments sont utilisées, il n'y a pas d'ordre dans la description. La caractéristique est un angle entre deux plans. 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	Eléments non idéaux	Eléments idéaux
Spécification	Assemblage : dimension, idéal/idéal	S1a, surface nominale plane obtenue par partition	PL1a, obtenu par association <i>Contrainte</i> : aucune <i>Objectif</i> : minimiser Somme des distances (S1a,PL1a) au carré
Type	Angle : plan/plan		
Auteur			
Modèle nominal			
		S2a, surface nominale plane obtenue par partition	PL2a, plan obtenu par association <i>Contrainte</i> : aucune <i>Objectif</i> : minimiser Somme des distances (S2a,PL2a) au carré
« Skin » modèle			
		Caractéristique	Condition
		a = angle maximal (PL1a,PL2a)	$\alpha \leq \beta$ Quelles que soient les configurations dues aux jeux et aux écarts.

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

Fiche GPS n°	9	Eléments non idéaux	Eléments idéaux
Spécification	Assemblage : zone, non idéal/idéal	Elément de référence S1a, surface nominale plane obtenue par partition.	Référence spécifiée PL1a, plan obtenu par association <i>Contrainte</i> : extérieur matière <i>Objectif</i> : minimiser Distance maximale (S1a,PL1a)
Type	Distance : surface/plan		
Auteur			
Modèle nominal			
		Elément tolérancé S2a, surface nominale plane obtenue par partition	Elément corrigé PL2a, obtenu par association <i>Contrainte</i> : extérieur matière • angle (PL2a,PL1a) = 0° <i>Objectif</i> : maximiser Distance (PL2a,PL1a)
« Skin » modèle			
		Caractéristique	Condition
		d = distance (PL2a,PL1a)	$d \geq d_{\text{mini}}$ Quelles que soient les positions de 2 par rapport à 1 et quelles que soient les configurations dues aux jeux et aux écarts.

Ce cas 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.

6 Conclusion

La forme de 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 développer dans cet article. Le point de vue de la description des spécifications est celui de GEOSPELLING basé sur une géométrie réaliste construite à partir du SKIN modèle. 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 cependant surmontable, compte tenu des progrès constatés ces dix dernières années dans le domaine du tolérancement.

Nous sommes persuadés que cette proposition de fiche pour la description des spécifications est un bon moyen pour pallier les inconvénients actuels d'un manque de normes sur le sujet. 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] **Bennich P.** “Chain of standards: a new concept in tolerancing and engineering drawing GPS-Standards – Geometric Product specification standards”, Proc. Of the 1993 International Forum on Dimensional Tolerancing and Metrology; pp. 269-278; 1993; ISBN 0-7918-0697-9.
- [2] **ISO/TS 17450-1, 2005** “Geometric Product Specification (GPS) – General concepts – Part 1: Model for geometrical specification and verification”.
- [3] **ISO/TS 17450-2, 2002** Geometric Product Specification (GPS) – General concepts – Part 2: Operators and uncertainties.
- [4] **MENRT-CERPET**, Livret de formation, « Exploitation du concept GPS et de la normalisation pour la spécification géométrique des produits », 80 pages, janvier 1999.
- [5] **Maître-robert P.** “Proposition d'une formalisation CFAO personnalisée des spécifications”, *Actes du séminaire C8, tolérancement*, MICAD, Paris, 28 Mars 2002.
- [6] **Ballu A. and Mathieu L.** “ Analysis of dimensional and geometrical specifications: standards and model”, *Proc. of 3rd CIRP Seminar on Computer Aided Tolerancing*, Cachan, France, April 27-28, 1993.
- [7] **Ballu A. and Mathieu L.** “ Univocal expression of functional and geometrical tolerances for design, manufacturing and inspection”, *Proc. of 4th CIRP Seminar on Computer Aided Tolerancing*, The University of Tokyo, JAPAN, April 5-6, 1995.
- [8] **Ballu A., Mathieu L., Dantan J.Y.** “Global view of geometrical specifications”, *Geometric Product Specification and Verification: Integration of Functionality*; pp. 13-24; 2001; ISBN 1-4020-1423-6.
- [9] **Mathieu L. and Ballu A.** “GEOSPELLING: a common language for Specification and Verification to express Method Uncertainty”, *Proc. of 8th CIRP Seminar on Computer Aided Tolerancing*, The University of Charlotte, North Carolina, USA; April 28-29, 2003.
- [10] **Clement A., Riviere A., Temmerman M.** — Cotation tridimensionnelle des systèmes mécaniques: théorie et pratique, *PYC Edition*, France, ISBN 2-85330-132-X, 1994.
- [11] **Dantan J.Y., Mathieu L., Ballu A.** “Geometrical Product Requirement : Uncertainty and Expression ”, *Proc. of 8th CIRP Seminar on Computer Aided Tolerancing*, The University of Charlotte, North Carolina, USA; April 28-29, 2003.