

3. TOLÉRANCEMENT

Un outil à mieux exploiter

● La spécification géométrique des produits améliore la qualité et réduit les coûts. Pourtant elle est mal connue et sous-employée, alors que la recherche française est en pointe.

Les contraintes en conception ont remis depuis quelques années déjà le tolérancement des pièces mécaniques sur le devant de la scène industrielle. Au passage, le vocabulaire a lui aussi évolué puisque l'on parle maintenant plus volontiers de spécification géométrique des produits, plus connu sous l'acronyme anglo-saxon GPS. La spécification géométrique des produits est l'étape de définition des dimensions et des tolérances associées à chaque produit lors de sa conception et de son industrialisation. Elle traduit les fonctions techniques et les caractéristiques issues de l'analyse fonctionnelle, mais elle conditionne aussi la qualité de la production et du fonctionnement

du produit, donc son coût. « Un peu de sémantique s'impose », prévient Pierre Bourdet, professeur à l'École normale supérieure (ENS) de Cachan et président de la commission tolérancement de Micado. « Contrairement aux idées reçues, le tolérancement géométrique et dimensionnel n'a pas pour but de "coter" un dessin, mais de maîtriser les variations géométriques des pièces réelles. »

Autrement dit, il est illusoire et anti-économique de vouloir réaliser des pièces avec une géométrie parfaite. Il faut savoir se contenter d'une géométrie approchée, réalisée à coût optimal, satisfaisant les fonctions que l'on attend d'elle. De fait, le tolérancement géométrique ISO

LES DÉFIS

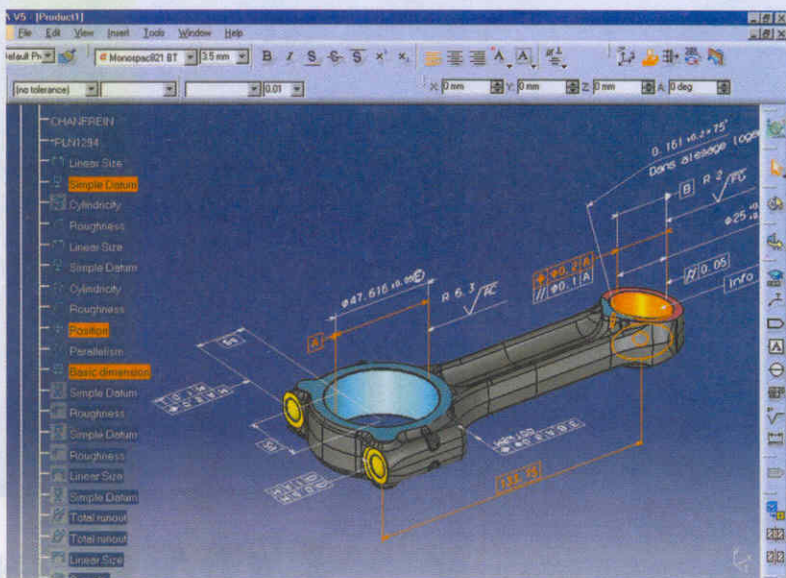
- Établir le tolérancement comme base de la qualité
- Former massivement les utilisateurs industriels
- Intégrer l'aide au tolérancement dans les outils de conception
- Développer des outils de synthèse de tolérances et de transfert de cotes

apparu en 1983 est un langage graphique permettant d'exprimer sans ambiguïté, sur des dessins techniques ou des modèles 3D, de très nombreuses fonctionnalités.

Le GPS permet de maîtriser les fonctionnalités d'un système par des caractéristiques géométriques significatives. Le tolérancement des caractéristiques choisies doit permettre de garantir la satisfaction du besoin du client aussi bien en conception qu'en production. C'est donc le moyen de quantifier par une grandeur physique la satisfaction de ce besoin.

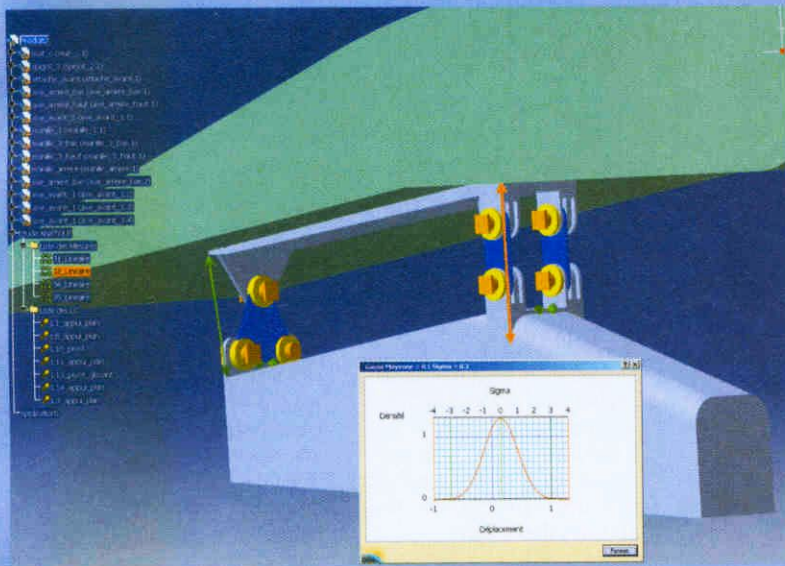
Un outil de communication

« Le tolérancement géométrique est aussi un outil de communication univoque entre le bureau d'études, le bureau des méthodes et le service contrôle », explique Pierre Bourdet. Le premier spécifie géométriquement des fonctions techniques liées à l'assemblage et aux liaisons entre les composants. Il estime aussi,



Exemple de tolérancement géométrique réalisé dans le module FT&A de Catia V5.

EADS DÉVELOPPE UN LOGICIEL SPÉCIFIQUE



Le logiciel AnaTol sert à identifier et définir dans un assemblage les schémas de positionnement avec leurs liens cinématiques et leurs tolérances.

Le contexte industriel aéronautique nous oblige à améliorer la "montabilité" de nos produits. C'est-à-dire à améliorer les possibilités de connexion physique des éléments qui les composent, tout en respectant leurs exigences fonctionnelles», explique Hugo Falgarone, ingénieur au centre commun de recherche d'EADS. L'analyse des problèmes rencontrés antérieurement a mis en exergue la gestion des variations géométriques

comme source majeure de "non-montabilité". Ces variations ont deux origines principales : les principes constructifs d'une part et la dispersion des moyens de fabrication et d'assemblage d'autre part.

Validation des gammes

Cela a conduit EADS à développer depuis cinq ans, en collaboration avec l'École nationale supérieure de Cachan, le logiciel AnaTol, qui est intégré à Catia V5. Il sert à identifier et définir

dans un assemblage les schémas de positionnement avec leurs liens cinématiques et leurs tolérances. Il calcule ensuite de manière formelle la propagation des variations dans l'assemblage et leur impact. Il résout aussi les éventuels hyperstatismes et indique la contribution de chaque liaison sur le jeu calculé. Il est utilisé pour la validation des gammes d'assemblage et des "capabilités" des moyens de production envisagés.

en termes de gravité, le non-respect des spécifications sur les composants. Le deuxième traite la géométrie réalisée des pièces et maîtrise les processus de production par des cotes de fabrication et de réglage. C'est aussi lui qui établit, si nécessaire, les plans de surveillance pour éviter toute dérive. Enfin, le troisième contrôle, avec des moyens qui lui sont propres, le respect des intentions du concepteur.

Le tolérancement géométrique est aussi un outil de communication entre les donneurs d'ordres et les sous-traitants, aussi bien dans les phases de conception que de produc-

tion. «Mais force est de constater que les litiges qui surgissent lors de la réception des pièces sont dus pour 80% des cas à une méconnaissance des normes ISO et à 20% à des lacunes ou à des contradictions entre les différentes normes. Il reste donc un gros effort de formation à faire, la filière automobile ayant montré la voie en formant des milliers de concepteurs, ainsi qu'à poursuivre les développements des normes.»

Les normes ISO

En effet, si le GPS permet de traduire le plus fidèlement possible l'expression du besoin

fonctionnel relatif à un système, encore faut-il choisir dans l'offre des normes ISO les tolérances les mieux adaptées, ce qui peut en partie se faire en capitalisant les solutions adoptées pour les cas les plus répétitifs. L'offre est en effet pléthorique, une simple requête sur le site de l'Afnor fournit une liste impressionnante, bien qu'incomplète et pas toujours cohérente.

«Il faut d'ailleurs à ce propos combattre une idée reçue. Alors que les bureaux d'études travaillaient encore à la planche à dessins, le tolérancement géométrique n'était pas limité au 2D. Certes la

chaîne de cotes était linéaire, mais les tolérances géométriques étaient déjà 3D, même si la cotation et leur représentation étaient 2D», explique Pierre Bourdet.

Se passer du plan

Cette pseudo-ambiguïté a d'ailleurs donné naissance à deux approches dans les outils de conception 3D. Certains éditeurs se sont contentés de reporter sur leurs modèles 3D les tolérances géométriques comme on le faisait dans un plan. D'autres ont essayé d'y associer l'intelligence qu'elles contenaient. « Dès le milieu des années 1990, Catia V4 a été doté d'un module Fonctional Dimensioning & Tolerancing (FD & T) assurant le lien entre la symbolique 2D et les surfaces 3D, tout en validant et stockant l'ensemble des éléments sémantiques en vue de leur réutilisation dans la chaîne de production », rappelle Dominique Gaunet, responsable de la R&D sur le tolérancement 3D chez Dassault Systèmes. Un apport indéniable à la qualité puisque les assistants de FD & T aidaient le concepteur à spécifier plus correctement la géométrie de ses pièces.

Depuis, cet outil a appris à gérer aussi les annotations 3D (rugosité, symbolique propre à l'entreprise, documents explicatifs...) et pris le nom de Fonctional Tolerancing & Annotations. Il a été complété par des outils de communication permettant d'exporter la géométrie tolérancée sous VRML, ainsi que par des outils de récupération, d'aide à la lecture et de filtrage en fonction de critères (type, valeur...) intégrés dans Enovia et Delmia. Il est donc maintenant possible de se passer du plan.

SUITE PAGE 16



“ LES NORMES DOIVENT ÊTRE REDÉFINIES. ”

PIERRE BOURDET

Professeur
à l'École normale supérieure
de Cachan

« Les normes ISO 1101 de 1983, qui sont actuellement utilisées dans l'industrie, ne couvrent pas tous les cas de figure du tolérancement. De plus, en grande partie issues de cas particuliers, elles manquent d'homogénéité et comportent des contradictions », explique Pierre Bourdet, professeur à l'ENS de Cachan et président de la commission tolérancement de Micado. C'est pourquoi dès 1992, le comité danois à l'ISO, mené

par le Dr Per Bennich, et le comité français ont lancé un schéma directeur pour redéfinir une matrice de normes basée sur des fondements plus mathématiques, permettant une utilisation plus rationnelle.

Couvrir les nouveaux domaines

Le fondement de cette matrice GPS, qui permet un classement logique et cohérent de toutes les normes actuelles et futures de spécification, est sorti

en 2001 (ISO/TS 17450-1). Il reste maintenant à revoir toutes les normes ISO à cette nouvelle aune. Il faudra aussi couvrir de nouveaux domaines comme le tolérancement des pièces souples (panneaux de carrosserie...) ou des déformations apparaissant durant les processus d'assemblage (bridage, soudage...) dont les contraintes ne sont pas intégralement relaxées, ce qui suppose une liaison avec des outils de calcul. Il faudra aussi savoir traiter

le tolérancement de jeux régulièrement répartis suivant des profils gauches dans l'espace, typiquement les jeux d'ouvrants dans l'automobile. Cela suppose le développement d'outils de synthèse de tolérances capables, à partir d'une définition fonctionnelle et d'un jeu, de tolérer automatiquement et au plus juste toutes les pièces d'un assemblage.

SUITE DE LA PAGE 15

De tels outils 3D, disponibles chez les éditeurs les plus en pointe, permettent aussi une réutilisation des tolérances en aval de la cotation. Ils servent, par exemple, à nourrir les outils d'analyse de tolérance. Ce genre d'analyse permet aussi de valider les processus d'assemblage. « eM-Toolmate récupère de la CAO la géométrie tolérancée de l'ensemble des pièces et l'enchaînement des opérations d'assemblage. Il simule alors la distribution statistique des cotes tolérancées qui seront réellement fabriquées, en fonction d'indices de "capabilité" issues de la production. Puis, il effectue de manière statistique (tirage de Monte Carlo) un grand nombre d'assemblages et vérifie le respect des cotes résultantes, en donnant la contri-

bution de chacune des cotes tolérancées au résultat. Il s'agit alors d'une véritable aide au tolérancement pour le concepteur », explique Marc Le Gonidec, consultant chez Tecnomatix.

La géométrie tolérancée

Notons que ce logiciel est disponible pour la plupart des logiciels de conception (Catia V4 et V5, Pro/Engineer, UG et I-Deas). D'autres solutions similaires existent comme 3DCS de Dimensional Control Systems, CeTol 6 Sigma de Sigmatrix, Tolerance Manager chez PCO Technologies... D'autres réutilisations de la géométrie tolérancée sont possibles pour l'aide à la définition de gammes d'usinage ou de contrôle, pour le choix de machines ou d'outils, ainsi que

pour la programmation hors ligne des machines. Toutefois, ces applications butent encore sur le manque d'outils industrialisés de transfert de cotes, permettant de passer des cotes de conception aux cotes de fabrication.

Enfin, la géométrie tolérancée peut aussi être utilisée pour la métrologie, c'est-à-dire servir de référentiel aux algorithmes chargés de vérifier que la géométrie 3D mesurée sur la pièce est compatible avec le souhait du concepteur. C'est, par exemple, ce que fait le logiciel Metrolog II du français Metrolog Group.

Notons enfin l'initiative de Micado qui a créé sur son site (www.afmicado.com) un serveur sur le tolérancement qui permet aux industriels de soumettre des cas pratiques aux-

quels les normes actuelles n'apportent pas de solution. L'objectif est de partager et de comparer les solutions adoptées par différents industriels et de faire remonter les problèmes vers les commissions de normalisation.

La France est d'ailleurs en pointe dans le domaine du tolérancement car nombre d'universitaires travaillent sur le sujet. Parmi eux, Luc Mathieu de l'ENS de Cachan, Alex Ballu de l'université de Bordeaux ou encore André Clément qui a été à l'origine de la théorie sur les Surfaces associées technologiquement et topologiquement. Tous se retrouveront du 5 au 8 mai à Annecy, lors des huitièmes Rencontres nationales de la recherche sur le tolérancement. ● Jean-François Prévéraud