

Les normes ISO-GPS

Une fracture dans l'appre

FRÉDÉRIC CHARPENTIER, JEAN-MARC PRENEL ^[1]

Les Journées européennes du tolérancement (JET 09), les 24 et 25 mars, ont été l'occasion de faire le point sur l'état de l'art en matière de normes ISO de tolérancement GPS et sur leur enseignement [1] [2]^[2]. En effet, les normes ISO-GPS de base nécessaires aux concepteurs s'appuient sur des normes conceptuelles, dites globales, souvent oubliées dans les apprentissages et pourtant fondamentales. Cette première partie explique pourquoi les évolutions du langage normatif impliquent une modification structurelle des normes.

Les normes : des textes de référence officiels

Rappelons en préambule que l'emploi des normes ISO de tolérancement, souvent jugées abscones ou inutiles, est une réponse à l'exigence de communiquer de façon univoque à l'international.

Les normes ne sont pas des textes législatifs [3] ou réglementaires, mais des documents de référence officiels auxquels chacun peut adhérer ou non. Lorsqu'un texte législatif n'est pas respecté, la sanction est délivrée par le tribunal pénal. Pour une norme, qu'en est-il exactement ?

Lorsqu'un contrat est élaboré entre le client et le fournisseur, le client doit fournir l'ensemble des documents nécessaires. Parmi les documents figurant dans l'annexe du contrat se trouvent le cahier des charges mais aussi toutes les normes, homologuées ou non, nécessaires à la réalisation du produit. Lorsqu'un des documents du contrat – les normes, homologuées ou non, par exemple – n'est pas respecté, la sanction est délivrée par le tribunal de commerce.

Une norme est homologuée suivant des processus identifiés dans les différentes instances : Afnor, CEN ou ISO. Une norme non homologuée est identifiable suivant deux grandes classes : prénorme ou norme interne

mois-clés

cotation, normes, processus

à l'entreprise. Le processus de validation des normes internes ne sera pas traité ici.

Une prénorme est soit une norme expérimentale lorsqu'elle est soumise au processus d'homologation de l'Afnor, soit un projet de norme lorsqu'elle est soumise au processus d'homologation de l'Organisation internationale de normalisation, l'ISO :

● Prénorme Afnor

Une norme expérimentale (XP) est une prénorme française qui nécessite une période d'expérimentation ou de mise à l'épreuve et qui, dans un délai maximal de cinq années, est examinée pour être homologuée, remise à l'étude ou supprimée.

La société Renault SAS utilise actuellement une prénorme française, la norme XP E 04-009 [4] sur la hiérarchisation des caractéristiques produit-processus. Les travaux de révision de cette norme sont importants. Après son homologation, des corrections majeures seront à effectuer dans les documents de formation déjà réalisés.

● Prénorme ISO

Une norme en projet (PR) est une prénorme internationale qui suit un processus totalement différent de celui de la norme expérimentale. Ce processus comprend six étapes :

- 1 Proposition : étude nouvelle (NP, *New work item Proposal*)
- 2 Préparation : projet de travail (WD, *Working Draft*)
- 3 Comité : projet de comité (CD, *Comittee Draft*)
- 4 Enquête : projet de norme internationale (DIS, *Draft International Standard*)
- 5 Approbation : projet final de norme (FDIS, *Final Draft International Standard*)
- 6 Publication : norme internationale (IS, *International Standard*)

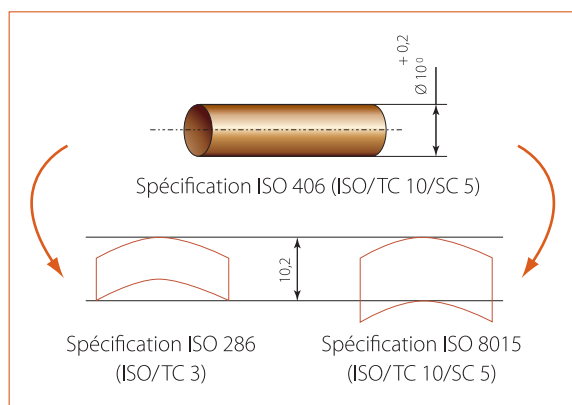
À partir de l'étape 4, la prénorme est soumise à enquête dans chaque pays participant. Au même titre qu'une norme expérimentale, ce projet de norme peut être remis à l'étude, ou supprimé, avant de passer à l'étape 5, l'étape FDIS.

Les normes évoluent en fonction des besoins identifiés en amont ou à partir des retours d'expérience issus des pratiques industrielles. Il est donc important d'associer la date de la norme à son numéro : NF EN ISO 1101 : 2006 [5], par exemple.

[1] Respectivement : formateur à l'ESCPI Ingénieurs 2000/Cnam et à l'Ensam de Paris, expert Afnor-ISO au comité technique 213 (GPS-ISO), chef de projet à l'UNM (Union de Normalisation de la Mécanique et du caoutchouc) des normes XP E 04-009 et NF E 04-013, membre du GRT (Groupe de Recherche français sur le Tolérancement) ; référent technique de la cotation ISO-GPS pour l'ingénierie mécanique Renault, expert Afnor-ISO au comité technique 213 (GPS-ISO) et à l'UNM.

[2] Les chiffres en gris renvoient à la bibliographie.

ntissage (première partie)



1 Un exemple de contradiction

Remarque importante : Le principe d'invocation défini dans la norme PR NF EN ISO 14659 : 2007 [6] précise que « si l'une des parties du système GPS-ISO est appelée sur une spécification de produit d'ingénierie mécanique, la totalité du système GPS-ISO est appelée ». En d'autres termes, le fait d'écrire une spécification GPS, $\varnothing 10 \pm 0,1$ par exemple, appelle l'ensemble des

termes, des définitions et des normes du comité technique 213 dans l'état de l'art à la date du document, le dessin de définition du produit par exemple.

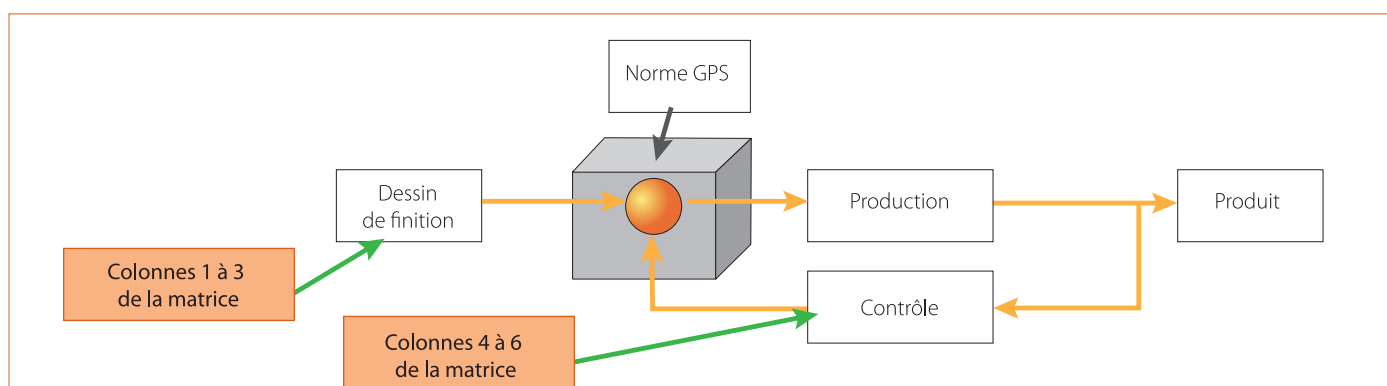
La révolution GPS

La matrice GPS

Dans les années 1990, on constate que les normes ISO relatives aux tolérances et à la métrologie comportent des lacunes et des contradictions [1]. La raison en est qu'elles sont développées au coup par coup sans vision globale et qu'elles proviennent de trois instances différentes :

- l'ISO/TC 3 « Ajustement – Métrologie » pour l'Allemagne ;
- l'ISO/TC 10/SC 5 « Cotation et tolérances » pour les États-Unis d'Amérique ;
- l'ISO/TC 57 « États de surface » pour la Russie.

Le comité technique 213 est créé afin de mettre en œuvre une vision unifiée des normes de tolérances et de métrologie d'autre part, dans une approche globale, trait d'union entre les concepts et



Matrice réduite des chaînes de normes GPS générales

	Maillon n° 1	Maillon n° 2	Maillon n° 3	Maillon n° 4	Maillon n° 5	Maillon n° 6
Caractéristique géométrique de l'élément	Indication dans la documentation du produit Codification	Définition des tolérances Définition théorique et valeurs	Définition des caractéristiques ou paramètres de l'élément extrait	Évaluation des écarts de la pièce Comparaison avec les limites de la tolérance	Exigences pour l'équipement de mesure	Exigences d'étalonnage Étalon d'étalonnage

2 La caractéristique de la spécification à la vérification

le réel. Cela se fera à travers un schéma directeur qui s'exprimera sous la forme d'une matrice, la matrice de spécification géométrique des produits (GPS). Cette norme fondamentale, FD CR ISO/TR 14638 : 1996 [7], est l'acte de naissance des normes ISO-GPS.

Remarque : Dans la suite de cet article, les *normes ISO de tolérancement* désignent les normes avant les normes ISO-GPS, les normes ISO de tolérancement GPS.

La matrice GPS crée une chaîne ininterrompue de la caractéristique spécifiée à la caractéristique vérifiée. Il traite l'ensemble des caractéristiques tant macrogéométriques que microgéométriques [2].

L'objet de cette matrice est double :

- Dans un premier temps, elle est un outil pour les normalisateurs. Pour une caractéristique identifiée, elle permet de vérifier l'existence, ou non, d'une ou plusieurs normes traitant de chaque maillon constituant la chaîne ininterrompue de la spécification à la vérification.
 - Dans un second temps, elle sert aux utilisateurs désireux de suivre la caractéristique maillon par maillon.
- Lors de la création de cette matrice, les normalisateurs ont constaté le manque de normes dans certaines

cellules, maillons de la chaîne de la caractéristique, ainsi que des redondances, voire des contradictions entre celles qui existaient. Il fallait donc développer les normes manquantes et modifier les normes existantes.

Les principales normes ISO de tolérancement utilisées par le concepteur produit sont au nombre de neuf [3]. Elles ne sont exemptes ni de lacunes ni de contradictions. Le cas le plus évident est la contradiction entre la norme ISO 1101 : 1983 et la norme NF EN ISO 5458 : 1999 sur l'utilisation du symbole « x » [4]. Les derniers travaux concernant la norme ISO 1101 en NF EN ISO 1101 : 2006 [5] n'apportent aucune réponse quant à cette contradiction. Nous verrons dans la seconde partie de cet article, à paraître, des éléments permettant de la lever.

La norme FD CR ISO/TR 14638 : 1996 [7] est une norme fondamentale. À ce titre, elle se situe à un niveau conceptuel, au-dessus de toutes les autres normes traitant du tolérancement et de la métrologie au travers de la spécification géométrique du produit [5]. Il manque cependant un étage entre la norme fondamentale et les neuf normes de base : celui des normes globales [6].

Les normes globales

Le but ici n'est pas de faire une liste exhaustive des normes globales, mais de donner des éléments de réponse quant à l'évolution des apprentissages.

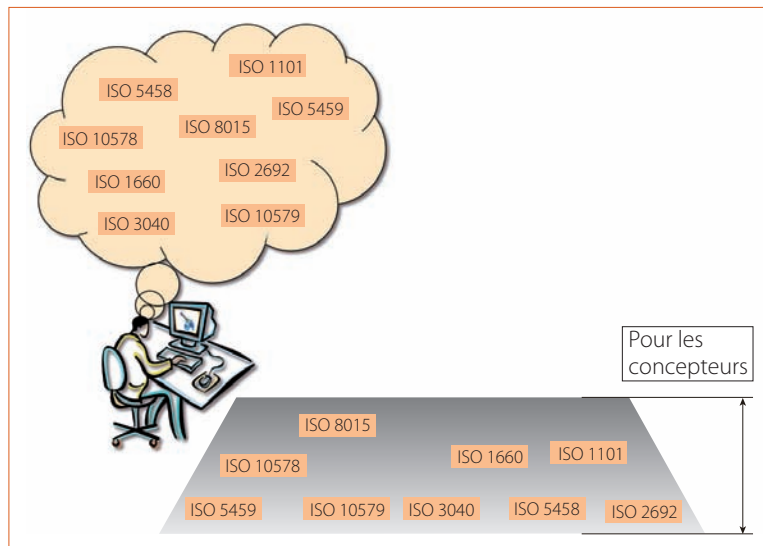
Parmi les normes globales, l'ISO 17450 définit les concepts généraux. Cette norme se scinde en deux parties :

- La partie 1 [8] propose un modèle pour la spécification et la vérification géométriques, et elle définit les concepts correspondants. Elle fournit également une explication des bases mathématiques de ces concepts.
- La partie 2 [9] définit les termes relatifs aux spécifications, opérateurs (et opérations) et incertitudes utilisés dans les normes de spécification géométrique des produits. Elle présente les principes de base de la philosophie GPS, tout en donnant l'impact de l'incertitude sur ces principes de base, et explique les processus de spécification et de vérification GPS.

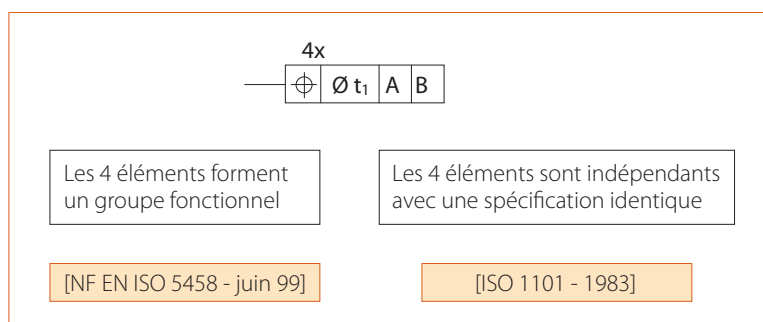
Associée à cette norme globale, la norme 14660, parties 1 et 2 [10] permet de définir les termes et les définitions des éléments géométriques : ligne médiane extraite d'un cylindre et d'un cône, surface médiane extraite et taille locale d'un élément extrait par exemple, ainsi que les critères d'association.

Le projet de norme PR NF EN ISO 25378 Août 2007 [11] est un projet de norme important pour la caractérisation des conditions fonctionnelles. Il permet, entre autres, de tolérer des assemblages en identifiant les caractéristiques soumises aux conditions. Pour les concepteurs produit, cette norme est une avancée majeure dans la spécification géométrique du produit, en tant que système.

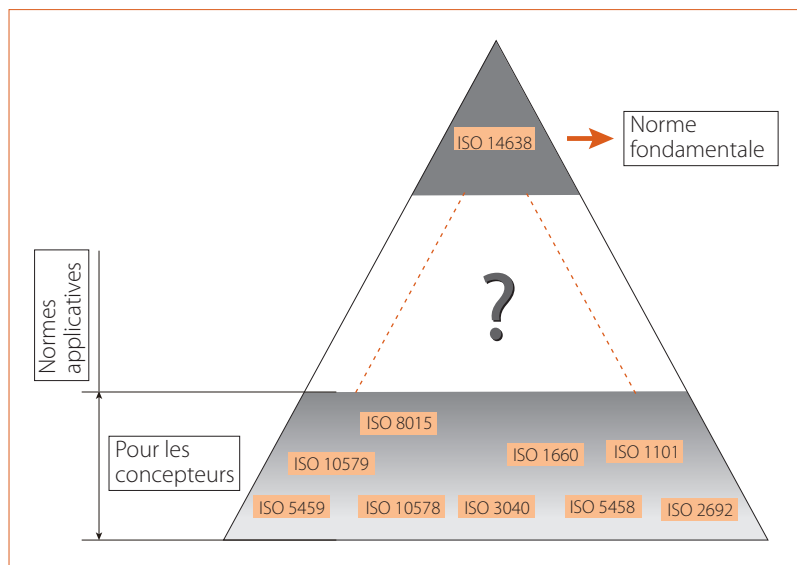
La norme ISO 17450 scindée en deux parties est un point important dans la fracture constatée dans



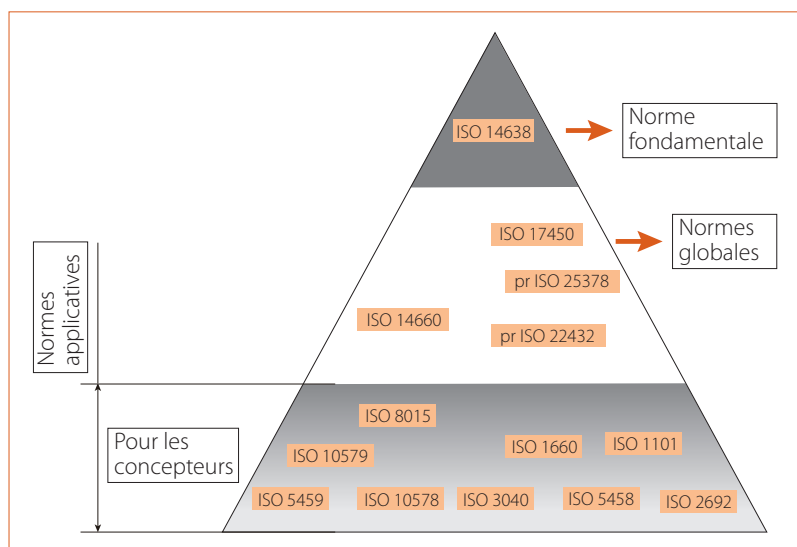
3 Les neuf normes de base du concepteur produit



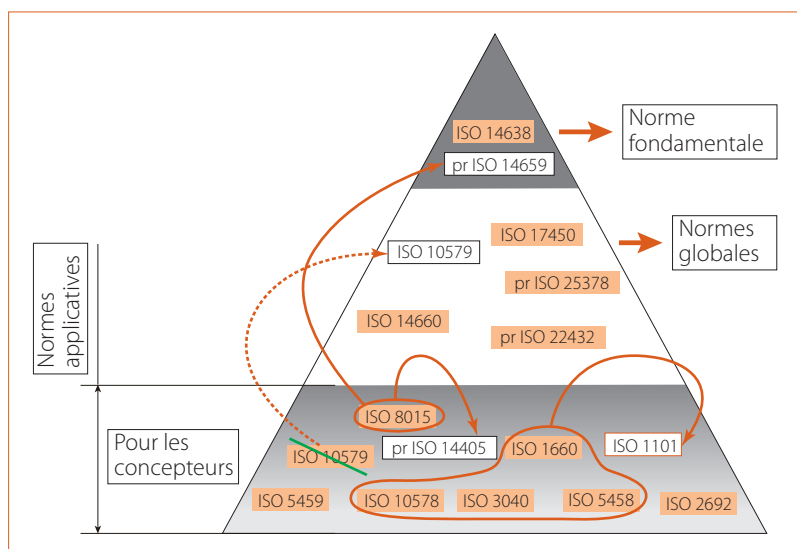
4 Une contradiction entre les normes : le cas du symbole « x »



5 La hiérarchisation des normes GPS



6 Les normes globales



7 Impacts des normes globales sur les normes de base

l'apprentissage des normes ISO de tolérancement. En effet, les neuf normes de base apportent des éléments applicatifs qui permettent de tolérancer, mais aucun concept. À partir de la publication de cette norme, on passe de l'*interprétation* des normes ISO de tolérancement à la *signification*.

Les termes lecture et écriture disparaissent pour devenir respectivement *décodage* et *encodage* d'une spécification. Pour le formateur de formateurs habitué à enseigner les neuf normes de base, cela peut sembler un point de détail. Il n'en est rien...

Cette fracture, identifiée par certains sans qu'ils en aient pour autant compris les causes, est essentielle. Elle se caractérise par cette phrase si souvent prononcée par les formateurs inscrits au stage du plan académique de formation sur les normes ISO-GPS : « Je sais coter ISO, mais pas GPS. »

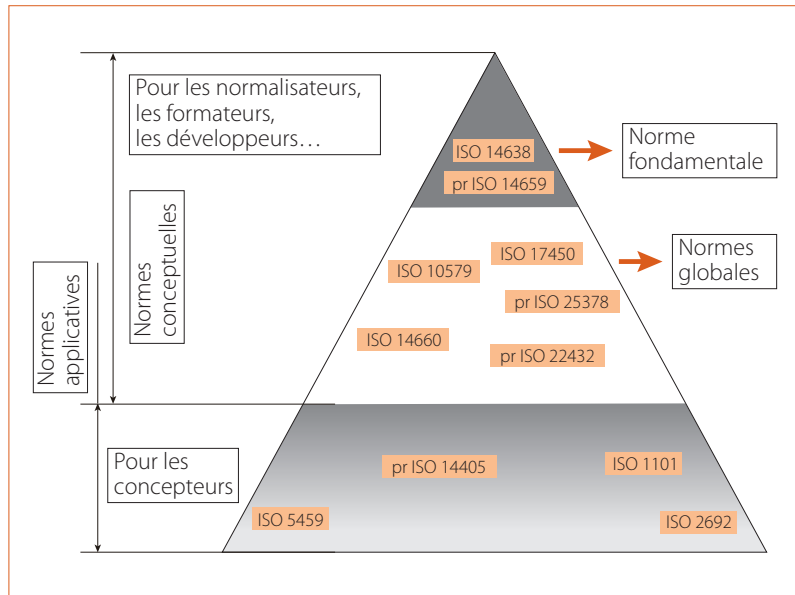
L'impact des normes globales sur les normes de base

A priori, l'impact est faible, voire inexistant, conduisant naturellement à considérer les normes globales comme une vue de l'esprit, propre à complexifier une normalisation déjà fort indigeste. En fait, il n'en est rien, bien au contraire, même si les titres et numéros des normes n'ont pas changé, pouvant laisser croire que l'appellation GPS légitime les pratiques ancrées dans l'interprétation. Les implications des normes globales modifient considérablement les structures des normes de base :

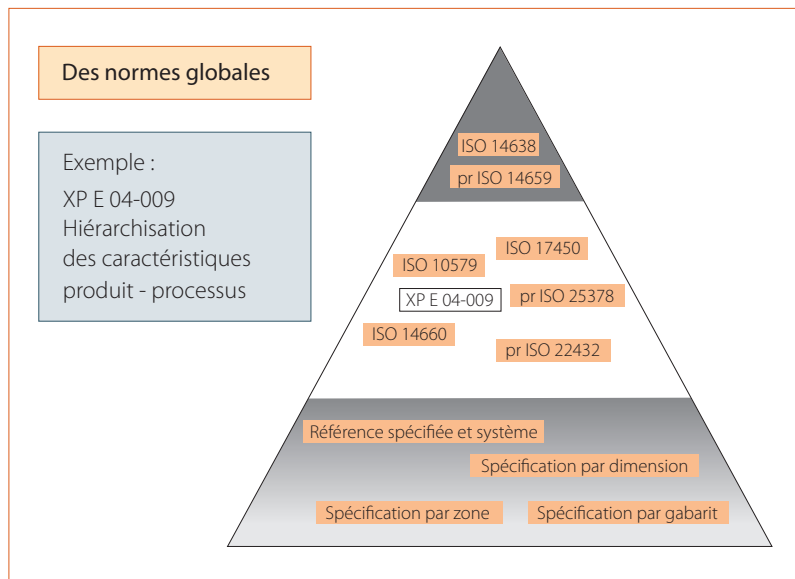
- Pour la norme ISO 8015 [12], les normes globales permettent de répondre à des incohérences sur les notions de dimension. La dimension linéaire disparaît de cette norme et prend un développement tout autre au travers d'une norme en projet, la PR NF EN ISO 14405 [13] sur les tailles linéaires [7]. Le principe de l'indépendance n'est plus dans la norme applicative, mais remonte au niveau de la norme des normes, la PR NF EN ISO 14659 : 2007 [6] [7], c'est-à-dire au-dessus des normes globales pour prendre place au niveau des normes fondamentales. Le principe de l'indépendance rejoint les treize autres principes, dont celui sur l'invocation, point clé au niveau de l'industrie dans le suivi des caractéristiques du produit au cours du temps.

Que reste-t-il au niveau de cette norme de base, la norme NF ISO 8015 : 2006 ? Rien, ou peu de chose. En effet, le projet de norme PR NF EN ISO 2129 : 2008 est aujourd'hui rebaptisé en PR NF EN ISO 14405-2 pour tout ce qui concerne les tailles et les distances hormis les tailles linéaires. À très court terme, la norme NF ISO 8015 est vouée à disparaître avec la norme NF ISO 406 : 1995.

- La norme NF ISO 10578 [14] concernant les zones de tolérance des éléments projetés est déjà intégrée dans la norme NF EN ISO 1101 : 2006 [5].



8 Le synoptique des normes : fondamentales, globales et de base



9 Le cas de la norme globale HCPP

● Lors de la réunion du groupe UNM 08 (« GPS-Spécification », en mars dernier, la question de la révision de la norme NF ISO 5458 : 1999 fut traitée. En effet, elle pose problème : contradictions avec la norme ISO 1101, incohérences avec la norme ISO 5459 : 1981. Le projet d'amendement de la norme ISO 1101, ISO 1101 : 2004/DAMd 1 [15], apporte tous les termes et les définitions permettant de répondre de façon univoque au besoin fonctionnelle de la collection de zones. La norme NF ISO 5458 est donc amenée à disparaître à très court terme.

● Les deux normes ISO 1660 et ISO 3040 sont dans les projets de norme 1101. Ces deux normes ne sont plus légitimes, elles disparaîtront aussi.

● La norme ISO 5459 est souvent employée dans les formations, mais avec les principes issus de la norme française, la NF E 04-554. Or les différences entre les deux normes sont fondamentales, voire inconciliables [3]. Le projet de norme PR NF EN ISO 5459 : 2004 [16] est en rupture avec la NF E 04-554, mais reste dans la continuité de l'ISO 5459 : 1981. Il est impératif de prendre en compte les concepts de ce projet, qui ne sont que les conséquences des normes globales sur l'évolution de la norme, sans quoi une importante fracture est à craindre.

Alors, peut-on encore enseigner les neuf normes de base ? La réponse est irrévocablement et doublement non.

La première raison en est une restructuration des normes en quatre grandes normes de base issues des concepts 8 :

- Spécifications par zone (NF EN ISO 1101 : 2006) [5]
- Spécifications par dimension (PR NF EN ISO 14405 : 2004) [13]
- Spécifications par gabarit (NF EN ISO 2692 : 2006) [17]
- Références spécifiées (PR NF EN ISO 5459 : 2004) [16]

La seconde raison s'appuie sur les termes et les définitions issus des normes globales qui rayonnent sur les normes de base. L'exemple de la norme NF ISO 10579 [18] montre que le symbole *free* pour l'état libre est aujourd'hui à la fois dans l'ISO 1101 et l'ISO 14405. Dès lors cette norme n'est plus une norme de base mais une norme globale qui définit les concepts d'« état libre » et d'« état contraint » [7]. Le « principe de la pièce rigide » est l'un des principes définis dans la norme PR NF EN ISO 14659 : 2007.

Mais la rupture dans la formation des normes ISO de tolérancement ne s'est pas produite qu'à ce niveau.

Des exemples sur des normes globales ou complémentaires

La structure hiérarchique des différentes normes étant en place, il est possible de compléter le synoptique précédent 8 en y ajoutant d'autres normes.

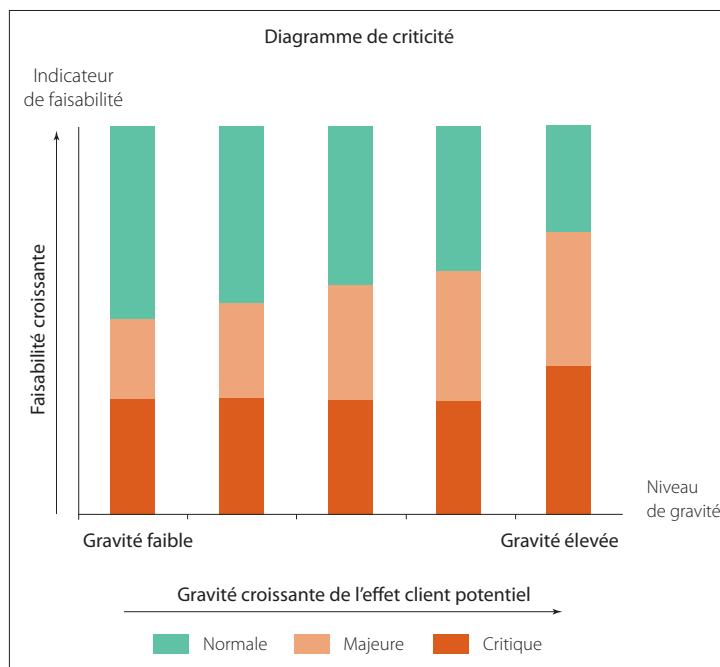
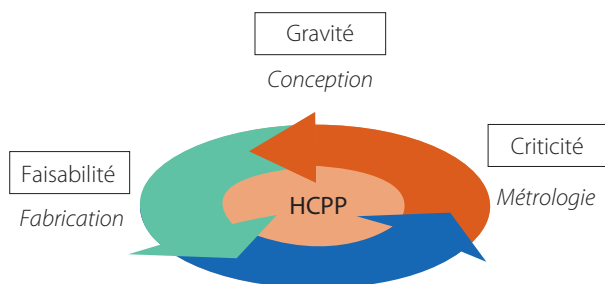
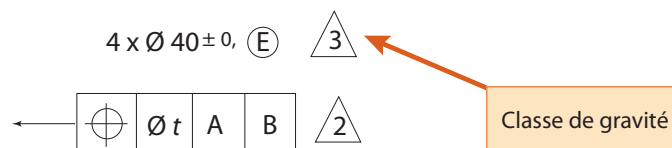
Prenons pour exemples les normes XP E 04-009 [4] sur la hiérarchisation des caractéristiques produit-processus et NF E 04-013 de décembre 2008 [19] sur la symbolisation des prises de pièces. Il ne s'agit nullement de détailler ces deux normes, mais d'étudier leur apport dans la structure normative existante ; pour plus d'informations, il est nécessaire de consulter les normes en question.

La hiérarchisation des caractéristiques produit-processus, XP E 04-009 : 2003

Cette norme aide à identifier, en prévisionnel, les caractéristiques prioritaires sur lesquelles les efforts seront concentrés, en les consignnant et en les faisant connaître.

Des normes globales

Exemple :
XP E 04-009
Hiérarchisation des caractéristiques produit - processus



10 Le traitement de la gravité

Sur le plan des enjeux, la hiérarchisation des caractéristiques produit-processus (HCCP) est à la fois :

- un outil économique qui contribue à affecter au mieux les ressources humaines, financières et matérielles de l'entreprise ;
- un outil qualité qui contribue à la maîtrise réfléchie de la conformité des caractéristiques du produit, en vue de satisfaire le client.

Cette norme est une norme globale dont les concepts influent sur les normes de base **9**.

La classe de gravité est associée à chaque spécification en fonction du risque client **10**.

La symbolisation des prises de pièces, NF E 04-013 : 2008

L'étude de la mise en situation d'une pièce par rapport à un environnement extérieur (technologiquement défini ou non) dans le cadre d'une fabrication ou d'un contrôle prend en compte :

- la notion d'isostatisme d'une pièce ;
- la géométrie réelle de la pièce, comme le feraient les spécifications géométriques et les références qui peuvent leur être affectées.

Il est important de souligner que le contrat de la phase **11** ne fait l'objet d'aucune norme. Ce terme permet

La définition du *contrat de la phase* (dans un processus de fabrication) selon la norme NF E04-013 : 2008

Contrat de la phase : document contractuel qui définit les caractéristiques des surfaces actives de la pièce dans une phase donnée.

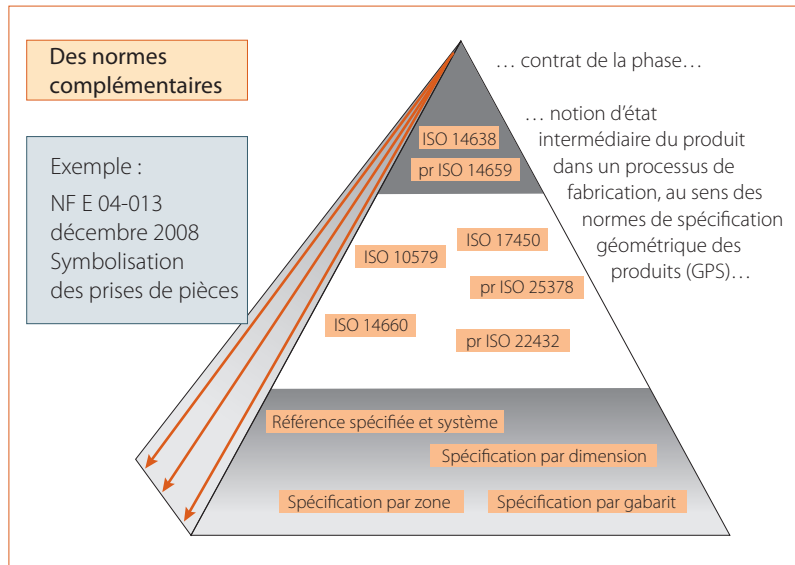
Note 1 : Les caractéristiques sont issues des spécifications GPS de la pièce ; elles sont indépendantes du moyen choisi, des opérations retenues pour réaliser les spécifications. Elles sont intrinsèques à la pièce dans la phase considérée.

Note 2 : Un contrat de la phase fait apparaître les spécifications géométriques et les références associées, si nécessaire, pour les surfaces actives dans la phase considérée.

Note 3 : Des documents (ou fiches) techniques peuvent compléter le dossier associé au contrat de la phase (fiche technique niveau 1, fiche technique de posage et de maintien niveau 2, fiches techniques d'outillage, fiches techniques de réglage des procédés intervenant dans la phase considérée, fiches techniques des contrôles bord de ligne, fiches techniques de suivi de production, etc.).

À retenir

- Les normes sont réexaminées tous les cinq ans. Elles peuvent être amendées, publiées à nouveau en l'état, voire annulées. Elles évoluent en fonction des besoins identifiés en amont, mais aussi par les retours d'expérience issus de l'industrie.
- Il est nécessaire d'associer la date des normes à leur nom afin de suivre leur évolution au regard des caractéristiques spécifiées au plan.
- Les normes ne sont plus interprétées, mais elles signifient. La signification est alors univoque.
- Les normes de base sont réorganisées en quatre normes : les spécifications par dimension, par zone et par gabarit, auxquelles vient s'ajouter la norme sur les éléments de référence et les références spécifiées.



Le cas de la norme de symbolisation des prises de pièces

d'introduire la notion d'état intermédiaire du produit dans un processus de fabrication, au sens des normes de spécification géométrique des produits. Afin d'illustrer le propos, la définition de « contrat de la phase » selon la norme est donnée en encadré.

Adapter l'enseignement

L'évolution des normes de tolérancement ISO en normes ISO-GPS n'est pas une évolution, mais bien une révolution, et l'enfermement dans un apprentissage par les neuf normes applicatives conduit à une fracture importante. Il est nécessaire d'inverser ce processus, et ce constat conduit naturellement à s'interroger sur les bonnes pratiques pédagogiques à mettre en œuvre, qui feront l'objet de la seconde partie de cet article. ■

Pour s'abonner à Saga Web

À partir de la page d'accueil du site du CNR CMAO, www.cnr-cmao.ens-cachan.fr, cliquez sur « Sites à consulter », puis sur « Éditeurs & industrie », enfin sur le logo de l'Afnor pour accéder aux modalités de souscription de l'abonnement à Saga Web Éducation nationale. Cet abonnement, d'un coût 2,04 € TTC par élève utilisateur, avec un minimum de 306 € TTC par an et par établissement, donne droit à :

- l'accès 24 h/24 et 7 j/7 à la collection de normes ;
- l'exploitation documentaire de la norme dans un cadre strictement pédagogique ;
- l'insertion partielle d'extraits de normes dans les supports des formations initiales des jeunes.

Bibliographie

JET 09

Le présent article s'appuie principalement sur la conférence de Frédéric Charpentier et les questions issues de l'atelier animé par Marguerite de Luze et Catherine Lubineau de l'UNM :

- [1] CHARPENTIER (F.), « Points sur la normalisation. Quels enseignements ? », Journées européennes du tolérancement (JET éducation), Annecy, 23 mars 2009 www.cotation-iso.fr/points-sur-la-normalisation-jet-09-t288.html
- [2] LUBINEAU (C.), DE LUZE (M.), « Nouveautés en normalisation GPS », Journées européennes du tolérancement (JET industrie), Annecy, 24 mars 2009 www.cotation-iso.fr/nouveautes-en-normalisation-gps-jet-09-t294.html

Technologie

- [3] CHARPENTIER (F.), « Les nouvelles normes, une évolution nécessaire », n° 151, septembre-octobre 2007

Normes

Les normes suivantes (sauf l'ISO 1101 : 2004/DAmD 1[15]) sont en vente en ligne sur le site de l'Afnor

www.boutique.afnor.org

- [4] XP E 04-009 : 2003 : « Spécification géométrique des produits (GPS) – Hiérarchisation des caractéristiques produit-processus », Afnor, 2003
 - [5] NF EN ISO 1101 : 2006 : « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Tolérancement de forme, orientation, position et battement », Afnor, 2006
 - [6] PR NF EN ISO 14659 : 2007 : « Spécification géométrique des produits (GPS) – Principes fondamentaux – Concepts, principes et règles », Afnor, 2007
 - [7] FD CR ISO/TR 14638 : 1996 : « Spécification géométrique des produits (GPS) – Schéma directeur », Afnor, 1996
 - [8] XP CEN ISO/TS 17450-1 : 2008 : « Spécification géométrique des produits (GPS) – Concepts généraux – Partie 1 : modèle pour la spécification et la vérification géométriques », Afnor, 2008
 - [9] NF ISO/TS 17450-2 : 2004 : « Spécification géométrique des produits (GPS) – Concepts généraux – Partie 2 : principes de base, spécifications, opérateurs et incertitudes », Afnor, 2004
 - [10] NF EN ISO 14660-1 : 1999 : « Spécification géométrique des produits (GPS) – Éléments géométriques – Partie 1 : termes généraux et définitions », Afnor, 1999
 - [11] PR NF EN ISO 25378 : 2007 : « Spécification géométrique des produits – Spécifications – Caractéristiques et conditions », Afnor, 2007
 - [12] NF ISO 8015 : 2006 : « Dessins techniques – Principe de tolérancement de base », Afnor, 2006
 - [13] PR NF EN ISO 14405 : 2006 – « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement dimensionnel – Tailles linéaires », Afnor, 2006
 - [14] NF ISO 10578 : 1996 : « Dessins techniques – Tolérancement d'orientation et de position – Zone de tolérance projetée », Afnor, 1996
 - [15] ISO 1101 : 2004/DAmD 1 : « Representation of specifications in the form of a 3D model », ISO, 2004 www.iso.org
 - [16] PR NF EN ISO 5459 : 2004 : « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Références spécifiées et systèmes de références spécifiées », Afnor, 2004
 - [17] NF EN ISO 2692 : 2007 : « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Exigence au maximum de matière (MMR), exigence du minimum de matière (LMR) et exigence de réciprocité », Afnor, 2007
 - [18] NF ISO 10579 : 1994 : « Dessins techniques – Cotation et tolérancement – Pièces non rigides », Afnor, 1994
 - [19] NF E04-013 : 2008 : « Spécification géométrique des produits (GPS) – Symbolisation des prises de pièces », Afnor, 2008
- Rappelons que l'Afnor et l'Éducation nationale ont passé un accord qui donne aux professeurs et aux élèves l'accès à l'ensemble des normes à travers le service en ligne Saga Web (voir ci-contre).