

Encodage des liaisons en spécifications GPS (norme ISO 5459)

FRÉDÉRIC CHARPENTIER*

La norme ISO 5459 de 2011 est essentielle à la description des liaisons dans la conception architecturale. Une révision majeure a été proposée début 2018, mais sans aboutir. L'objet de cet article est de reprendre les principales évolutions attendues de cette norme.

Le 6 février 2018, l'ensemble des experts ISO des 25 pays participants et des 27 pays observateurs se réunissaient dans l'immense salle de conférence du British Standards Institute (BSI) à Londres pour traiter des 137 pages, soit 1157 commentaires [1] relatifs à l'amendement de la norme ISO 5459 en date de 2011. Plus d'une soixantaine d'experts sont présents pour défendre leurs remarques concernant le projet d'amendement [2]. Deux jours ont été prévus pour traiter l'ensemble des commentaires. Or, ce ne fut pas suffisant et le projet fut rejeté.

Les experts français avaient piloté l'évolution de cette norme depuis la précédente révision de 1981 [3] en 2011 [4]. Trente années se sont écoulées pour cette première révision majeure, avec un changement de paradigme profond entre les normes de dessins techniques et les normes de spécifications géométriques. Quatre projets d'amendement furent nécessaires pour finaliser le projet de norme afin d'obtenir son homologation en 2011.

Ce 6 février, l'histoire semble se répéter, le second projet d'amendement de la norme est rejeté.

À l'heure du tout numérique, vous pourriez vous poser la question de l'intérêt des travaux de ce comité technique (213), où le PLM permet de gérer l'ensemble des activités de conception du bureau d'étude à l'industrialisation en passant par le contrôle. Que révèle cette profusion de commentaires pour une norme qualifiée de volontaire (norme d'application volontaire) ?

Cet article présente les évolutions majeures de ce changement de paradigme entre les normes de dessins techniques et les normes de spécifications géométriques du produit au travers de cette norme applicative essentielle à la description des liaisons dans la conception architecturale.

MOTS-CLÉS

conception & définition, cotation, modélisation, post-bac

* Agrégé hors classe de SII en CPGE au lycée Baggio, docteur en mécanique, chercheur associé au Laboratoire de mécanique physique (LMP) de l'université de Bordeaux, à l'Institut de mécanique et d'ingénierie (I2M). Expert représentant la France au niveau international à l'ISO/TC213 (GPS).

La classe d'invariance

Le point de départ de la précédente révision est la notion de classe d'invariance. Initialement, le paragraphe relatif à ce concept et à son tableau de classe se situait dans le corps de la norme. Mais au fil des projets d'amendement de la norme ISO 5459 de 1981, ce texte et son tableau se retrouvent dans l'annexe B (informative).

À la lecture de ce paragraphe de la norme, les remarques sont les mêmes, les éléments sont trop conceptuels. Pourtant, ce texte est la clé nécessaire pour comprendre le changement de paradigme.

Le modèle de surfaces associées technologiquement et topologiquement (Satt) diffusé par Clément [5] repose sur l'association binaire et récursive de deux surfaces fonctionnelles (ou groupe de surfaces) entre elles. Le but poursuivi est d'associer entre elles toutes les surfaces fonctionnelles d'un assemblage dans un mécanisme. Un Satt peut être une surface simple ou composée de plusieurs surfaces **1**. Il est fondé sur la notion de classe d'invariance **2**, définie par les déplacements laissant invariante la surface.

Dans un mécanisme, lorsqu'un composant est en contact avec un autre, il y a entre les deux composants une liaison. Sa description consiste à définir le nombre de mobilités que peut avoir un composant par rapport à un autre. Ces mobilités sont appelées les degrés de liberté. Les six degrés de liberté sont identifiés à partir des éléments de situation de type plan, droite et point, ou par une combinaison de ces éléments de situation de la liaison. La nature de la liaison mécanique dépend de la nature géométrique des surfaces en contact (groupe fonctionnel).

La liaison peut être décrite par l'union de deux groupes fonctionnels (Gf) de surfaces appartenant aux solides :

$$\text{Liaison} = \text{Gf}\{\}_{\text{composant1}} \cup \text{Gf}\{\}_{\text{composant2}}$$

Prenons le cas d'une liaison plane et d'une liaison pivot :

$$\begin{aligned} \text{Liaison}_{\text{plane}} &= \text{Gf}\{\text{plan}\}_{\text{composant1}} \cup \text{Gf}\{\text{plan}\}_{\text{composant2}} \\ \text{Liaison}_{\text{pivot}} &= \text{Gf}\{\text{cône}\}_{\text{composant1}} \cup \text{Gf}\{\text{cône}\}_{\text{composant2}} \end{aligned}$$

Type de surface	Déplacements
Sphère	Trois rotations autour du point, centre de la sphère
Plan	Deux translations dans le plan et une rotation autour d'un axe perpendiculaire au plan

1 Exemples de déplacement laissant invariante la surface. Exemple de Satt pour un cylindre (surface simple) : degré d'invariance : une rotation, une translation ; élément de situation : droite ; caractéristique intrinsèque : rayon.

Classe d'invariance	Exemple de type de surfaces	Degrés de liberté sans contrainte	Éléments de situation
Complexe	Surface réalisée à partir d'un nuage de points non structuré dans l'espace	Aucun	Plan Droite Point
Prismatique	Prisme avec une base elliptique Prisme avec une base en développante de cercle	Une translation d'une ligne d'un plan	Plan Ligne (droite) coplanaire
De révolution	Cercle Cône Tore	Une rotation autour d'un axe	Droite Point
Hélicoïdale	Ligne hélicoïdale Surface hélicoïdale avec une base en développante de cercle	Combinaison d'une translation et d'une rotation autour d'une seule droite	Droite
Cylindrique	Droite Cylindre	Une translation et une rotation autour d'une seule droite	Droite
Plane	Plan	Une rotation perpendiculaire au plan et deux translations le long de deux lignes du plan	Plan
Sphérique	Sphère	Une rotation autour d'un point	Point

2 Classe d'invariance

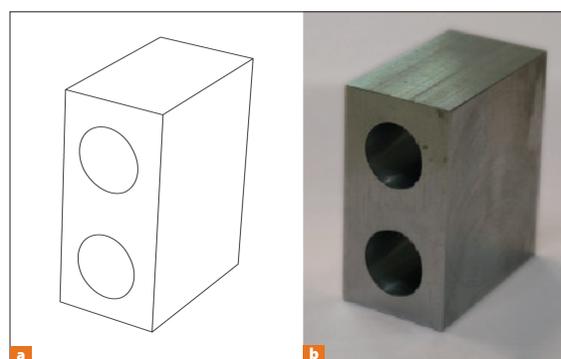
Il existe une relation entre les degrés de liberté de la liaison et les degrés d'invariance de groupes fonctionnels identiques et en union (U).

$$\text{Degrés de liberté}_{\text{liaison}} = \text{degrés d'invariance}_{\text{groupe fonctionnel}}$$

Revenons sur le cas de la liaison pivot. Il est rare de retrouver un groupe fonctionnel de surfaces réduit à une seule surface, le cône pour chaque composant 1 et 2. Généralement, le groupe fonctionnel est constitué de deux surfaces, un plan et un cylindre perpendiculaire au plan.

$$\text{Liaison}_{\text{pivot}} = \text{Gf}\{\text{plan, cylindre}\}_{\text{composant1}} \cup \text{Gf}\{\text{plan, cylindre}\}_{\text{composant2}}$$

Pour $\text{Gf}\{\text{plan, cylindre}\}_{\text{composant1}}$, le plan a un degré d'invariance de 3 et le cylindre de 2. En prenant la surface dont le degré d'invariance est le plus faible



3 a Modèle nominal ; b « image » des surfaces réelles (skin model)

et en analysant les degrés d'invariance de l'autre surface, seul le degré d'invariance (rotation) autour de l'axe du cylindre est conservé.

La combinaison de deux classes d'invariance correspond à l'une des sept classes d'invariance, ici la classe de révolution.

Il reste à déterminer la hiérarchisation des surfaces dans la constitution du groupe fonctionnel. Pour la conception architecturale, les critères permettant de hiérarchiser les surfaces sont, pour le premier, l'aire de la portion de surface appartenant à la liaison et, pour le second, le plus grand nombre de degrés de liberté bloqués.

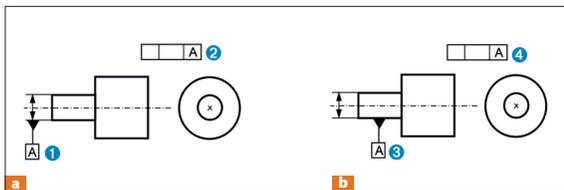
Les groupes fonctionnels des surfaces intervenant dans la liaison sont définis.

Remarque : en conception architecturale, les flux fonctionnels ne sont pas pris en compte.

Quel est l'intérêt de développer tout ce chapitre sur la classe d'invariance et dont l'intérêt pour le spécificateur semble bien éloigné ? La norme ISO 5459 ne sert qu'à décrire « la référence spécifiée ». Et pourtant, nous venons d'introduire deux modèles différents. Le premier est un modèle non idéal permettant d'identifier la peau de la pièce (élément intégral réel) et l'autre un modèle idéal permettant de trouver les éléments de situation (point, droite, plan) du groupe fonctionnel en fonction de son degré d'invariance. Nous devons « identifier » les surfaces et « trouver » les éléments de situation. Nous sommes entrés dans le cœur de l'écriture de la norme ISO 5459.

Les modèles

Le concepteur définit un « composant » (pièce) de géométrie parfaite avec des formes et des dimensions adaptées aux fonctions techniques élémentaires [8], le modèle nominal (ou les éléments idéaux) [6] 3a. À partir de cette géométrie nominale (ou idéale), le concepteur produit imagine un modèle de la surface réelle (élément non idéal, le skin model [7]), représentant les variations possibles de la surface réelle du composant 3b.



4 Modèle associé au décodage des écritures normatives)

Le *skin model* est constitué d'un seul élément, une surface réelle (interfaces entre la matière et son environnement) dont les différentes parties jouent des rôles fonctionnels distincts dans le mécanisme aux échelles microgéométrique et/ou macrogéométrique. Ce rappel est essentiel afin d'identifier les surfaces appartenant au groupe fonctionnel (Gf) du composant et de trouver ces éléments de situation.

Remarque : la représentation même de la surface réelle du composant (*skin model*) est une filtration par l'outil de description, la photographie. Sa représentation peut conduire à faire émerger de faux concepts. Afin de donner une « image » de la surface réelle du composant, l'illustration est une photographie 3b.

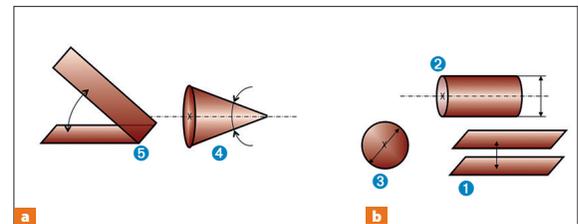
À l'issue de ces quelques rappels, quels sont les éléments identifiés lors du décodage des écritures normatives de la figure 4 ? Vous seriez étonnés des réponses lors de la présentation des deux exemples 4a et 4b. Le processus permettant de développer une référence spécifiée (PERS) se déroule en trois étapes. La première consiste à « identifier » la surface en contact avec l'autre surface du composant pour créer la liaison. Dans l'exemple 4a, l'écriture 1 identifie la peau de la pièce. Cet élément est une portion (de l'image) de la peau de la pièce, c'est-à-dire une surface nominalement cylindrique. Cet élément appartient à un modèle non idéal. Ce dernier est un modèle primitif [8] qui, avec le principe de la pièce rigide, correspond à un modèle avec des variations dimensionnelles (linéaires), angulaires et de forme. Ce modèle primitif est nommé le *skin model*.

L'écriture 2 permet de « trouver » le ou les éléments de situation. Ici, une droite. Cet élément appartient à un modèle idéal. Une même lettre entre les deux écritures 1 et 2 permet de suivre le processus d'élaboration de la référence spécifiée (PERS), de la peau à l'élément de situation. À ce stade du processus, il manque une étape permettant d'opérer la transformation d'un modèle non idéal vers un modèle idéal.

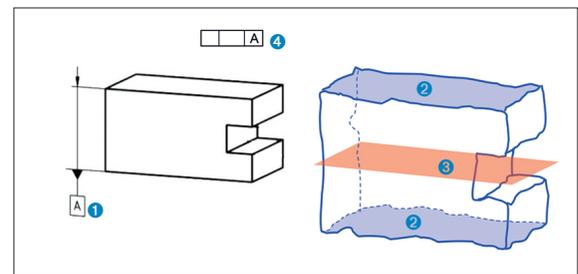
Nous reprendrons ce dernier point permettant de passer de l'étape 1, la peau, à l'étape 3, l'élément de situation (point, droite, plan) plus tard.

Dans l'exemple 4b, l'écriture 3 identifie la peau de la pièce. Cet élément est une portion de l'image de la peau de la pièce.

À ce stade de l'analyse, la réponse est sans appel ; les écritures 1 4a et 3 4b ont exactement la même signification.



5 Entités dimensionnelles : a) taille angulaire ; b) taille linéaire



6 Entité dimensionnelle biplan

Le concepteur imagine un modèle de la surface réelle : le skin model

D'où vient cette légende urbaine qui demande d'apposer le patin en face de la taille de cette entité dimensionnelle linéaire ? La réponse vient de la définition même de l'entité dimensionnelle [6]. Ces entités 5 se scindent en deux sous-familles, les linéaires et les angulaires.

Une entité est un objet comme un cylindre de révolution 5 1 ou un biplan 5 5. Or ce dernier objet correspond à une collection de deux surfaces bornées, qui au nominal sont parallèles et en vis-à-vis. Afin d'identifier chaque surface 6 2 qui compose l'objet, il est nécessaire de positionner le patin de l'élément de référence (de l'objet) au droit de la flèche 6 1.

Pour des entités dimensionnelles de révolution (cylindre, sphère, cône de révolution), la surface étant unique et continue, le patin peut se situer n'importe où.

La norme ISO 5459 de 1981 représente par défaut le patin strictement dans le prolongement de la cote afin de simplifier et d'unifier l'écriture des éléments de référence (élément intégral réel) des entités dimensionnelles, tout en prenant en compte les deux cas particuliers (coin et biplan). La légende urbaine est née et de là : à considérer que l'élément de référence 6 1 a la même signification que la référence spécifiée 6 4, il n'y a qu'un pas, souvent franchi, mais c'est faux.

Si nous situons la norme dans le contexte de l'époque, en 1981, alors il est à noter que cette norme est initialement une norme de dessin technique où le seul modèle identifié est un modèle idéal, le modèle nominal. Il faudra attendre le langage Geospelling [9] et la création du comité technique ISO/TC213 (1994), les normes de spécification géométrique des produits, pour comprendre et pour définir

correctement les niveaux d'abstraction entre le modèle idéal avec ses éléments de situation, et le modèle non idéal, le *skin model*, avec ses surfaces (éléments intégraux réels). Nous sommes bien dans un changement de paradigme.

Processus d'élaboration d'une référence spécifiée (PERS)

Le processus pour établir une référence spécifiée s'effectue en trois étapes 7. La première est « d'identifier » l'élément de référence, la peau de la pièce (modèle non idéal). La dernière est de « trouver » le ou les éléments de situation (modèle idéal). Entre ces deux étapes, il est nécessaire de définir une opération permettant de passer d'un modèle non idéal, tel qu'une surface nominale plane (modèle infini), à un modèle idéal, tel qu'un point, une droite ou un plan possédant un nombre fini de propriétés (modèle fini). La réduction des propriétés entre deux ensembles correspond à du filtrage. Or, ce dernier est particulier, car il associe à la surface nominale géométrique un élément géométrique de même nature afin de trouver les éléments de situation. La norme définit ce filtrage particulier par une opération d'association.

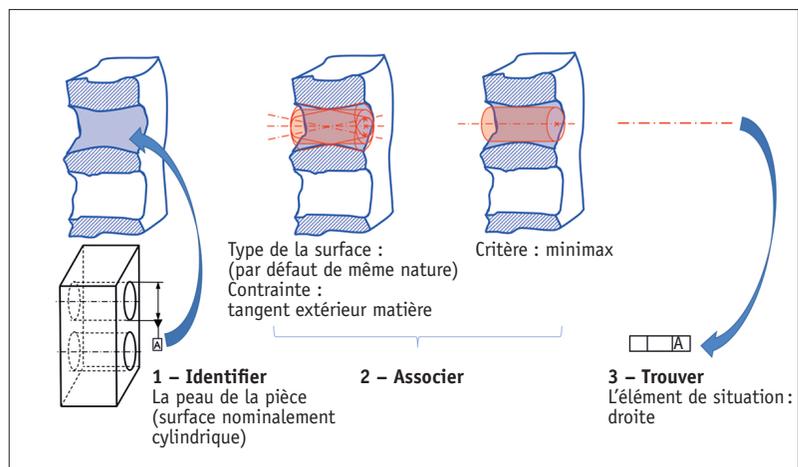
Les trois étapes du processus pour établir une référence spécifiée sont : identifier, associer et trouver. Une opération d'association se caractérise par trois propriétés 8.

Exemple d'une référence spécifiée de type droite

La droite référence spécifiée « A » (trouver) de la figure 7 est l'élément de situation du cylindre associé (associer) à la peau de la pièce, l'élément de référence « A » (identifier). Le diamètre du cylindre associé est variable, car ce dernier ne modifie pas la classe d'invariance de cette surface.

Par contre, dans le cas de l'association du cône, la variation de sa caractéristique intrinsèque (l'angle) modifie sa classe d'invariance, initialement de 1, en rotation. Lorsque l'angle varie pour atteindre la valeur de 180°, le cône devient un plan dont le degré d'invariance est 3, et pour 0°, une droite, soit 2. Il faut donc garder l'angle fixe lors de l'opération d'association d'un cône à un élément de référence (l'élément intégral réel) afin de conserver les propriétés des degrés de liberté de la liaison. Ces derniers sont égaux aux degrés d'invariance du groupe fonctionnel (Gf) 9.

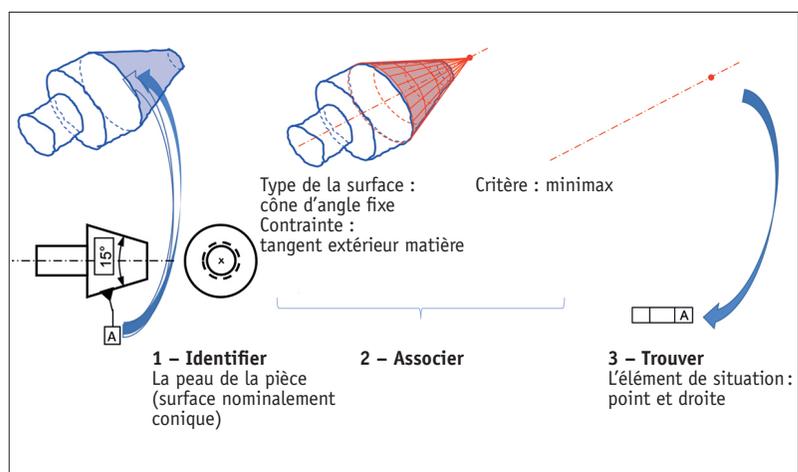
Rappel important : à l'étape « identifier », pour les surfaces de type cône de révolution ou cylindre de révolution, le patin de l'élément de référence peut être ou non en face de la flèche de la spécification dimensionnelle 7 9. Le décodage est identique ; il correspond à la surface réelle (l'élément intégral).



7 Processus d'élaboration d'une référence spécifiée (PERS) [10]

Propriétés	Général	Pour établir une référence spécifiée (par défaut)
Type	Le type de l'élément associé est par défaut le même que le type de l'élément intégral nominal	
Contrainte	Sans contrainte ou tangent extérieur matière (et/ou) orientation (et/ou) position (et/ou) taille maximale...	Tangent extérieur matière
Critère	Minimax, moindres carrés, arithmétique...	Minimax

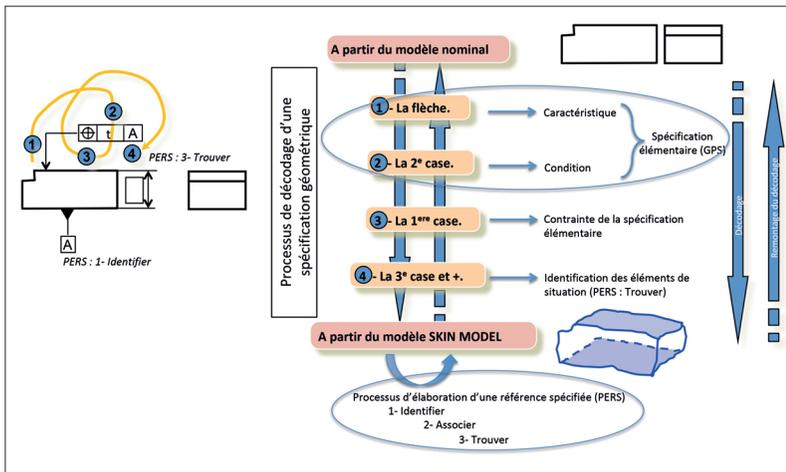
8 Propriétés d'une opération d'association



9 Cas du cône – référence spécifiée A : point et droite (en trois étapes)

À ce stade, les modèles sont identifiés et le processus d'élaboration de la référence spécifiée (PERS) également. Il se compose de trois étapes : identifier, associer, trouver.

Identifier consiste à reconnaître les éléments surfaciques participant aux contacts générés par la liaison. Ils sont issus des hypothèses de modélisation de la liaison. **Associer** consiste à établir un lien entre le *skin model* (modèle non idéal) et le modèle idéal définissant les éléments de situation. L'opération d'association définit trois propriétés. Dans le cadre du processus



10 Processus global de décodage d'une spécification géométrique par zone ou par gabarit

d'établissement d'une référence spécifiée, ces propriétés établissent des règles par défaut :

- type : surface de même nature ;
- contrainte : tangent extérieur matière ;
- critère : minimax.

La donnée de sortie de cette étape est la ou les surfaces géométriques associées. Ces surfaces possèdent des éléments de situation.

Trouver consiste à établir quels sont les éléments de situation (point, droite, plan) à partir des surfaces géométriques. Ces éléments de situation matérialisent les degrés d'invariance du groupe fonctionnel du composant participant à la création de cette liaison.

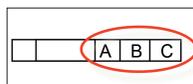
Référence simple

Une référence simple fait appel à une seule surface. Or, identifier une seule surface n'est pas suffisant pour développer une liaison mécanique. Il peut être nécessaire d'ajouter d'autres surfaces appartenant à ce même composant. Cet ensemble de surfaces constitue un groupe fonctionnel. Ces surfaces sont issues des hypothèses de modélisation de la liaison dont l'objectif est de trouver les éléments de situation décrivant les degrés d'invariance du groupe fonctionnel.

Avant d'entreprendre cette réflexion, la question est d'identifier à quel niveau du processus PERS il est nécessaire d'apporter des éléments complémentaires.

L'étape « identifier » consiste à rechercher les surfaces réelles intervenant dans la liaison. L'étape « trouver » consiste à identifier par défaut les éléments de situation des surfaces géométriques associées. Donc, ce ne sont pas à ces deux étapes du processus que les éléments complémentaires interviennent, mais à l'étape « associer ».

À cette étape, des écritures supplémentaires apportent les éléments nécessaires à la construction des surfaces géométriques associées avec les éléments de référence et entre elles si nécessaire.



11 Système de référence

Elles apportent des règles complémentaires aux trois propriétés de l'opération « association ». Elles peuvent également éliminer quelques-unes des règles par défaut.

Quelles sont ces écritures complémentaires ? Dans l'ensemble, le processus de décodage d'une spécification géométrique [11] (par zone ou par gabarit) s'effectue en quatre temps 10.

Le processus d'élaboration d'une référence spécifiée (PERS), avec ces trois étapes, intervient dans le 4^e temps du processus global de décodage. Ce temps traite du décodage des spécifications géométriques relatives (orientation, position, battement).

La référence spécifiée simple correspond à une seule case après les deux premières 10 4. Trouver l'élément de situation de la référence spécifiée simple correspond strictement au processus d'élaboration d'une référence spécifiée. D'autres types de spécification existent, le système de référence ou la référence commune.

Types de spécification

Le système de référence

Le système de référence peut comporter deux ou trois cases au maximum. Dans le cas de trois cases, la première correspond à la référence primaire, la seconde à la secondaire et la troisième à la tertiaire. La référence secondaire est contrainte strictement en orientation par rapport à la référence primaire. La référence tertiaire est contrainte strictement en orientation par les références secondaire et tertiaire.

Quelles sont les modifications des propriétés de l'opération d'association (étape 2) ?

Le système de référence de la figure 11 est composé de trois cases, avec pour chaque case une référence spécifiée.

À l'étape 2 du processus d'élaboration d'une référence spécifiée, seule la propriété « contrainte » a des règles supplémentaires correspondant à des contraintes strictement d'orientation des surfaces géométriques associées 12.

En considérant le cas d'un système de référence constitué de deux cases 13 et en appliquant le PERS, le plan élément de situation de la référence spécifiée secondaire « B » du système de référence ne contient pas la droite, référence spécifiée primaire « A ». Or, l'intention du concepteur est de modéliser un arrêt en rotation généré par le biplan de la rainure de la clavette en contact avec cette dernière.

L'arbre de construction du modèle produit indique bien les contraintes de position et d'orientation du biplan par rapport au cylindre définies par le concepteur. Pourtant, lors du décodage de la spécification 10, la référence secondaire implique une seule contrainte supplémentaire. Cette contrainte est l'orientation de la surface géométrique (biplan)

à être parallèle à l'élément de situation de la référence spécifiée primaire « A ».

En 2010, en tant qu'expert représentant la France au comité technique ISO 213, j'avais signalé ce problème en apportant dans un premier temps une première réponse considérant l'état de l'art des documents normatifs. Ajouter un nota ! Tout texte écrit au plan ou signifié dans le modèle produit est prioritaire sur les écritures normatives. Or, les nota sont souvent enclins à des interprétations, surtout lorsqu'ils sont traduits en anglais ou dans une autre langue. Ainsi, pour éliminer ce nota, j'ai proposé de rajouter un modificateur DF, pour distance fixe **14**.

Le PERS de la référence spécifiée secondaire « B » inclus le modificateur distance fixe dans la propriété de contrainte de l'opération d'association. La contrainte de position par rapport à la référence spécifiée primaire « A » est ajoutée aux contraintes « tangent extérieur matière » et « contraint en orientation » par rapport à la référence spécifiée primaire « A » **15**.

Nous avons introduit le modificateur [DF] (*fixed distance*) dans une nouvelle proposition d'article de travail soumis pour un vote afin de créer un comité de projet en 2014 pour élaborer le projet d'amendement de la norme ISO 5459 de 2011. Pour information, la procédure de normalisation est structurée en différentes étapes où, à chaque stade, les concepts sont développés afin d'atteindre le stade de projet (DIS) au cours duquel les pays peuvent émettre des observations techniques. Si plus de 70 % des pays membres votent « oui », alors la norme passe au stade de projet final (FDIS) pour modifier le texte afin de le rendre plus explicite, mais aucune observation technique ne peut être prise en compte. L'étape suivante est son homologation. En dessous des 70 %, la norme est rejetée. À 100 %, la norme est directement homologuée.

Or en février dernier, au BSI, le modificateur [DF] a soulevé de nombreuses remarques. Mais, il permet surtout de lever des significations implicites du modèle nominal qui souvent se révèlent erronées pour les rendre explicites et dont le but est la rigueur dans l'encodage [8] des fonctions techniques élémentaires en spécifications (géométriques).

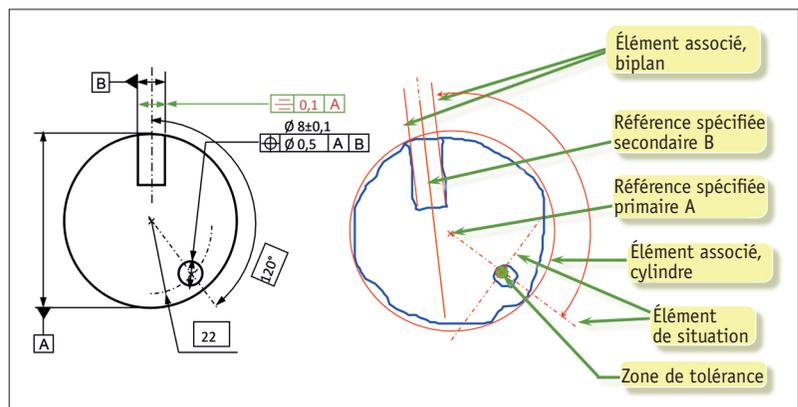
La référence commune

La référence commune ajoute des contraintes supplémentaires entre les surfaces géométriques associées aux éléments de référence (identifier). Ces contraintes sont de position et d'orientation. Elles interviennent dans la construction des éléments à associer à l'étape « associer » **16** :

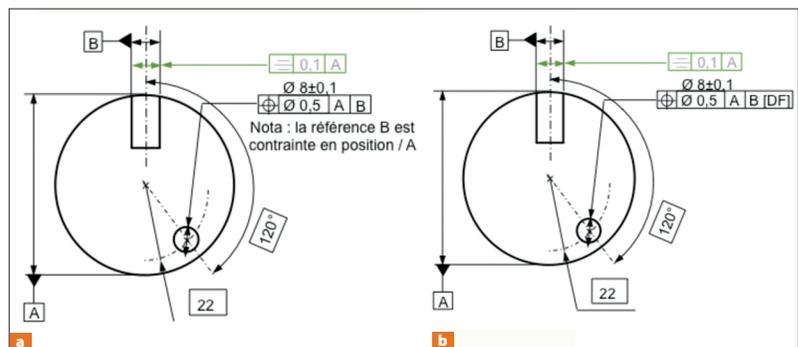
- type : surfaces de même nature ;
- contrainte : tangent extérieur matière + contraintes en position et en orientation des deux plans entre eux (objet deux plans) ;
- critère : minimax pour l'objet deux plans.

Propriétés	Référence primaire	Référence secondaire	Référence tertiaire
Type	Le type de l'élément associé est par défaut le même que le type de l'élément intégral nominal	Le type de l'élément associé est par défaut le même que le type de l'élément intégral nominal	Le type de l'élément associé est par défaut le même que le type de l'élément intégral nominal
Contrainte	Tangent extérieur matière	Tangent extérieur matière et contraint en orientation par rapport à la référence primaire	Tangent extérieur matière et contraint en orientation par rapport aux références primaire et secondaire
Critère	Minimax	Minimax	Minimax

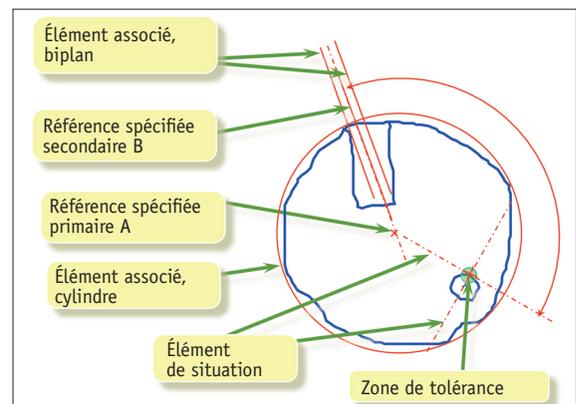
12 Propriétés d'une opération d'association



13 Système de référence [10]



14 Contrainte en position de la référence secondaire [10] : **a** avec nota ; **b** avec modificateur [DF]



15 PERS du système de référence [10]

En synthèse

Le choix du type de référence spécifiée, simple, système de référence ou référence commune, apporte des contraintes supplémentaires aux propriétés par défaut de l'opération d'association.

Des écritures complémentaires telles que le modificateur [DF] complètent ou modifient les propriétés vues précédemment.

Modificateurs

Certains modificateurs sont présents depuis 1988, comme le modificateur M pour l'exigence du maximum de matière et L pour l'exigence du minimum de matière. Depuis l'amendement de 2011 de la norme ISO 5459, de nombreux modificateurs apparaissent pour répondre plus finement au comportement des liaisons. Avec le projet de norme, ces modificateurs deviennent plus nombreux et révèlent l'importance de modéliser au plus près du comportement réel du produit. L'objectif de ce chapitre n'est pas d'inventorier l'ensemble des modificateurs présents (ISO 5459:2011) et à venir (DIS/ISO 5459.2/2017), mais de définir à l'étape « associer » quels sont les apports ou les modifications des propriétés par défaut.

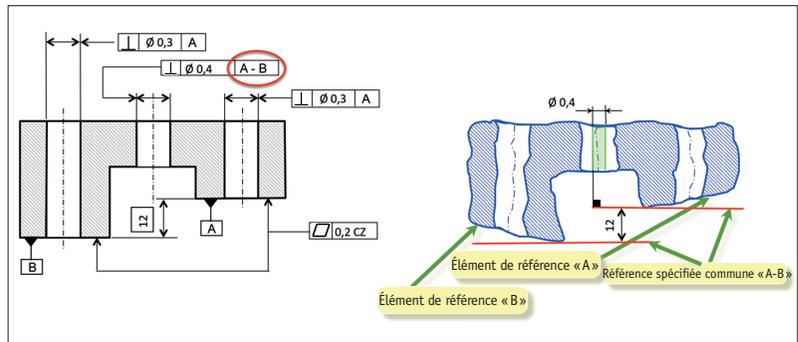
Le modificateur le plus important est l'élément de contact [CF] (*contacting feature*). Un vrai changement de paradigme dans l'approche des concepts de la définition des surfaces intervenant dans l'élaboration d'une liaison. En effet, lors de l'encodage des fonctions en spécification, il n'était pas rare de souhaiter associer à la peau de la pièce non pas la surface géométrique de même nature, mais la surface géométrique de la peau de la pièce qui vient en contact avec la surface sur laquelle nous souhaitons définir les éléments de situation **17**.

Ces exemples ne sont pas ceux que nous utilisons au quotidien. La question de l'utilisation du [CF] semble très loin des préoccupations du concepteur. Mais est-ce bien le cas ?

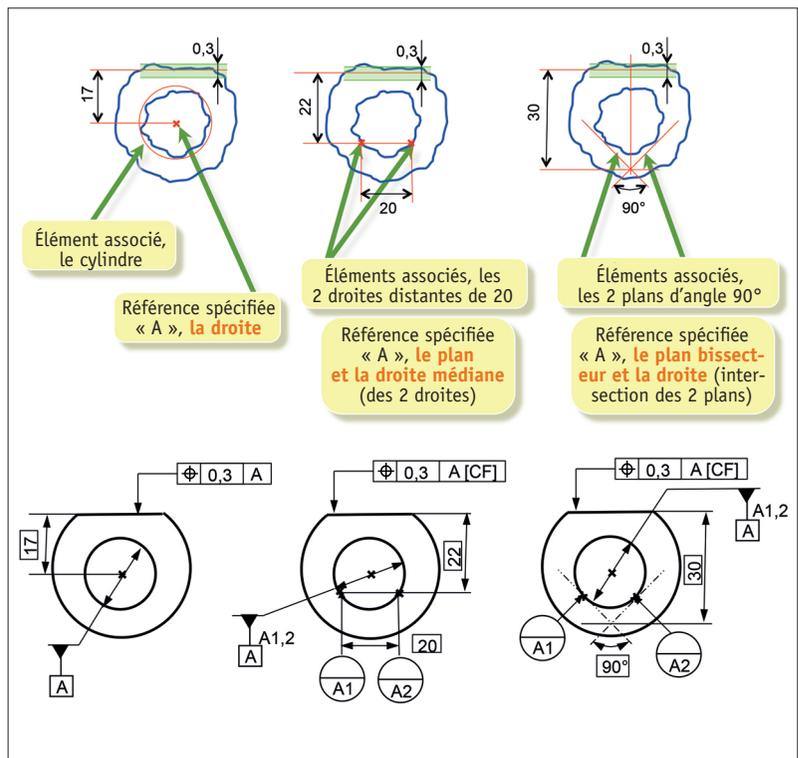
Prenons le cas d'une liaison encastrement, dont le groupe fonctionnel d'une des deux pièces en interface est constitué d'un plan primaire, d'un cylindre et d'un biplan **18**.

L'encodage [8] de la fonction en spécification dans la phase considérée du profil de vie du composant conduit à déterminer un système de référence de mise en position (SRMP) **18**, exemple **1** dont les éléments de situation sont plan, droite et point (PERS « trouver »).

Les modificateurs et les contraintes du SRMP interviennent à l'étape « associer » du PERS. Le SRMP implique que l'élément secondaire est contraint strictement en orientation par rapport à l'élément primaire et que l'élément tertiaire est contraint strictement en orientation par rapport aux éléments secondaire, mais également primaire :



16 PERS d'une référence commune



17 Modificateur [CF] [10]

- pour l'élément secondaire, le modificateur « L » contraint le cylindre associé à la peau de la pièce dans sa dimension au minimum de matière ;

- pour l'élément tertiaire, le modificateur « L » contraint le biplan associé à la peau de la pièce dans sa dimension au minimum de matière et ajoute une contrainte de position par rapport à l'élément de situation secondaire.

Le jeu maximal dans la liaison est « défavorable » à la condition fonctionnelle géométrique exprimée par la spécification géométrique. Dégrader cette écriture tout en respectant le modèle de simulation **18**, exemple **1** est possible et répond aux attentes du concepteur. En effet, le jeu minimal obtenu par l'écriture dégradée est plus important que le jeu minimal issu du modèle de simulation avec l'exigence du minimum de matière sur les deux références spécifiées.

Quelle devrait être l'expression de l'écriture dégradée ? L'exemple 2 est sans nul doute l'écriture la plus répandue pour exprimer le système de référence de mise en position. Or ce SRMP n'impose plus la contrainte de position de l'élément tertiaire par rapport à l'élément de situation secondaire. Écrit autrement, le plan médian ne passe pas par la droite « B », élément de situation du cylindre. Ainsi dégradé, le groupe fonctionnel ne répond plus aux hypothèses de la liaison. Cette écriture est fonctionnellement fautive. Elle est donc à proscrire. Cet exemple est similaire à la problématique illustrée à la figure 13.

Il faut donc ajouter un modificateur apportant une contrainte de position en plus de la contrainte d'orientation définie par le système de référence de l'élément tertiaire par rapport à l'élément secondaire. Ce modificateur est la distance fixe [DF].

L'exemple 3 est celui qui devrait être écrit par défaut sur tous les composants dans le cas d'une liaison encastrement dont le groupe fonctionnel est défini par un plan, un cylindre et un biplan.

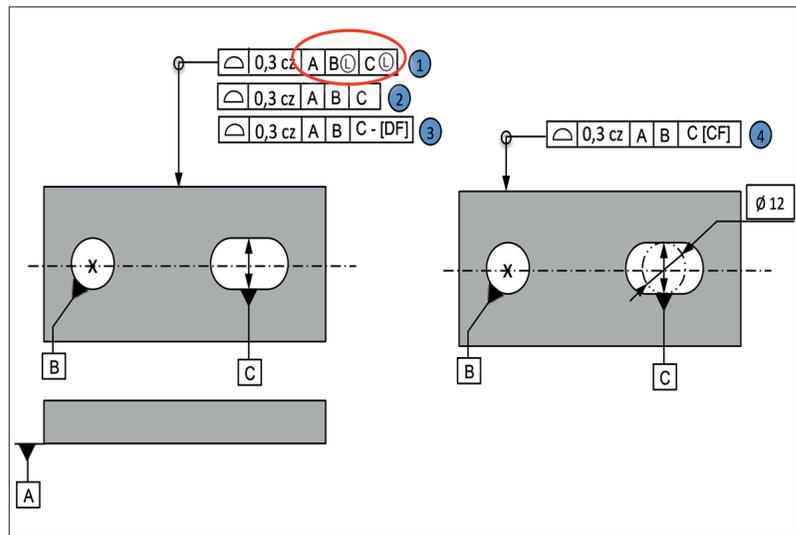
Le choix d'un biplan pour gérer le jeu minimal radial du pion de diamètre 12 génère un élément de situation de type plan. Or l'élément en contact avec ce biplan est un cylindre. L'idée est de définir l'élément de situation de la surface en contact avec la pièce étudiée. À l'étape « associer », il faut changer la propriété du type de surface consistant à associer une surface géométrique de même nature à la peau de la pièce (l'élément de référence) par la surface géométrique de la peau de la pièce venant en contact avec la pièce étudiée. Pour changer la propriété par défaut, il est nécessaire d'introduire un modificateur, ici le [CF] pour l'élément de contact (exemple 4).

Le modificateur « élément de contact » est un changement de paradigme profond, où il est possible de spécifier directement l'interface à partir de la seule surface du composant étudié.

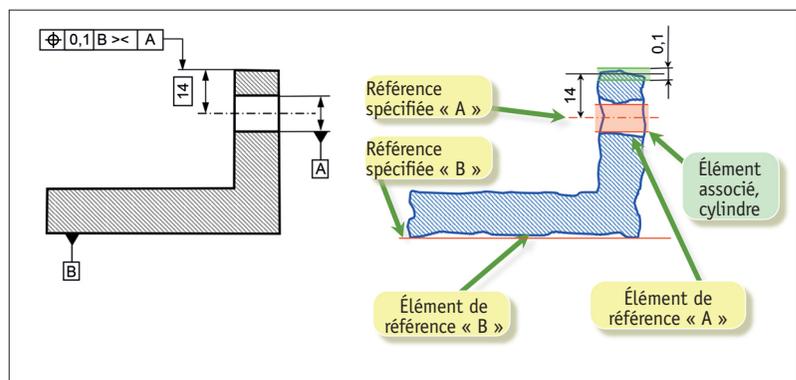
Je ne pouvais pas terminer ainsi sur les modificateurs sans évoquer le modificateur « OO » (*orientation constraint only*), en orientation seulement. Ce modificateur n'apparaît pas ainsi dans le dernier amendement de la norme ISO 5459 de 2011, il est remplacé par >> 19.

Ce modificateur libère la contrainte de position de la référence primaire. La référence secondaire est contrainte en orientation par rapport à la référence primaire. L'élément de situation de la spécification est contraint en position par rapport à la référence secondaire (et non par rapport à la référence primaire) 19.

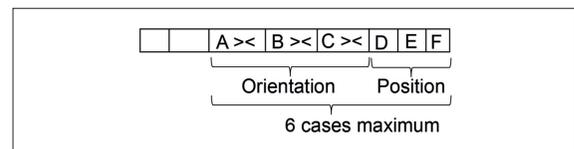
En regardant de plus près, l'application de ce modificateur >> (en orientation seulement) entraîne des modifications sur la structure du cadre des spécifications géométriques. Le nombre de cases maximal



18 Modificateurs



19 Modificateur >> [10]



20 Prochaine structure du cadre

est aujourd'hui de cinq 11. Or le modificateur >> appliqué aux trois premières références spécifiées modifie ce cadre et conduit à ajouter trois cases supplémentaires au maximum 20.

Cette évolution de la structure du cadre de la spécification géométrique n'est pas encore proposée dans le texte du prochain amendement de la norme ISO 5459 de 2011. Si les concepts sont d'ores et déjà présents, la modification de la structure est loin d'être envisagée. Cette évolution est prévue dans l'amendement du prochain amendement. Il faut laisser du temps au temps.

En synthèse, les modificateurs apportent des compléments essentiels dans la modélisation des liaisons mécaniques. Ils interviennent exclusivement dans l'étape « associer » du processus d'élaboration d'une référence spécifiée (PERS).

Conclusion

Trente années furent nécessaires pour l'amendement de 2011 complétant la norme existant en intégrant le changement de paradigme entre les normes de dessin technique et celles de spécification géométrique. Le *skin model* représente l'image de la peau de la pièce, il est totalement antagoniste au modèle nominal, modèle extrêmement pauvre, voire totalement inadapté [8], pour élaborer des simulations du comportement du mécanisme.

L'évolution de la norme ISO 5459 de 2011 répond à des exigences de modélisation du comportement mécanique au plus près du comportement réel du système réalisé. L'amendement présenté à Londres en février dernier conforte les orientations prises et ajoute des éléments essentiels pour affiner les modèles de simulation.

La chaîne numérique initialement pensée se développe à partir du modèle nominal du système. Dans cette vision, ce modèle peut se propager jusqu'à son industrialisation sans prendre en compte les dispersions des moyens, tant ces derniers sont devenus extrêmement capables. Le prototypage et la fabrication additive confortent cette vision de la chaîne numérique.

En fait, il n'en est rien, bien au contraire.

La métrologie d'une part et la puissance des calculateurs d'autre part bouleversent cette vision initiale de la chaîne numérique. La vulgarisation de l'utilisation du scanner 3D et de la tomographie permet la modélisation de l'image de la peau de la pièce en vérification. L'intégration du *skin model shape* [12] permet de modéliser l'image de la peau de la pièce [13] en conception produit (spécification). D'où l'importance de définir un langage de modélisation des écarts géométriques entre l'image de la pièce et l'intention du concepteur. Nous sommes bien au cœur du principe de dualité [14].

Pour autant, certains industriels restent encore dans une vision très idéale du produit (modèle nominal). L'amendement de la norme ISO 5459 (de 2011) a conforté la prise en compte du modèle primitif, le *skin model*, mais prolonge les concepts engagés depuis plus de vingt-cinq années. Non, nous ne parlons plus de cotation ou de cotation fonctionnelle ; cette expression est morte en 1995. Le changement de paradigme est déjà bien loin ; la spécification est le maître mot.

Les 1 157 commentaires des experts témoignent de la prise de conscience de ces évolutions majeures. L'Angleterre, l'Allemagne, l'Italie et la Pologne s'engagent dans des plans de formation importants pour permettre à tous les acteurs du produit d'être formés à l'utilisation de ces nouveaux amendements de normes ISO GPS. ■

*La métrologie
et la puissance
des calculateurs
bouleversent
la vision initiale
de la chaîne
numérique*

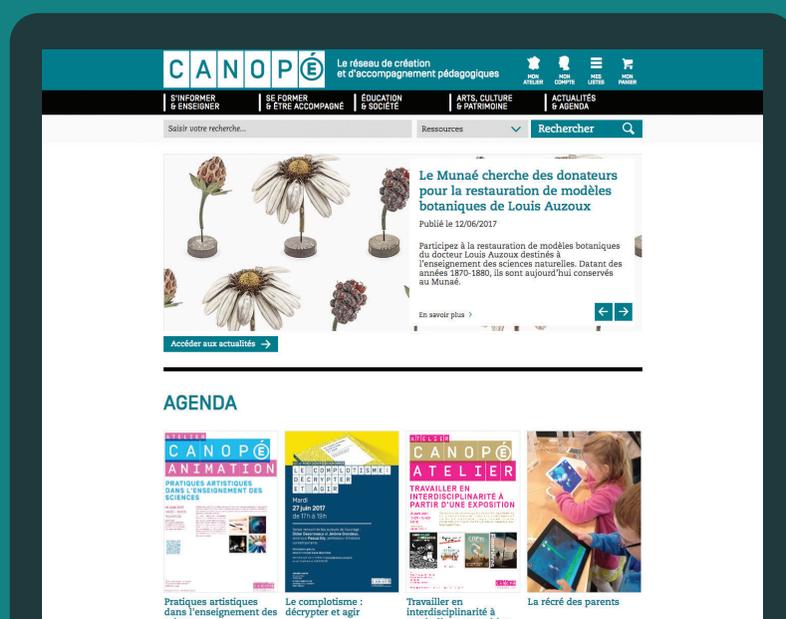
RÉFÉRENCES

- [1] N317 ISO/TC213/WG2, « Datums and datum systems – DIS 5459.2 – Follow-up to the comments », édition ISO, 2018, 148 p.
- [2] N 308 ISO/TC213/WG2, « Datums and datum systems – ISO 5459 submitted to ISO CS for launching the second DIS enquiry », édition ISO, 2017, 110 p.
- [3] ISO 5459:1981, « Dessins techniques – Tolérancement géométrique – Références spécifiées et systèmes de références spécifiées pour tolérances géométriques », édition ISO, 1981.
- [4] ISO 5459:2011, « Spécification géométrique des produits (GPS) – Tolérancement géométrique – Références spécifiées et systèmes de références spécifiées », édition ISO, 2011, 82 p.
- [5] A. Clément, A. Rivière, C. Cubeles-Valade, « L'intégration du tolérancement et de contrôle via le modèle SATT », *Revue du GAMI*, vol. 50, n° 4, 1997.
- [6] ISO 17450-1:2011, « Spécification géométrique des produits (GPS) – Concepts généraux – Partie 1 : Modèle pour la spécification et la vérification géométriques », édition ISO, 2011, 63 p.
- [7] ISO 17450-3:2016, « Spécification géométrique des produits (GPS) – Concepts généraux – Partie 3 : Éléments tolérancés », édition ISO, 2016, 19 p.
- [8] Pr NF X50-103, « Analyse fonctionnelle technique – Encodage des fonctions techniques en spécifications géométriques », Document N151, CN Afnor X50, 2018, 26 p.
- [9] Alex Ballu, Luc Mathieu, Jean-Yves Dantan, « Formal language for GeoSpelling », *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 2014, 35 p.
- [10] Frédéric Charpentier, *Mémento de spécification géométrique des produits. Normes ISO-GPS*, Éditions Afnor et Canopé, 4^e édition, 2015, 160 p.
- [11] Frédéric Charpentier, « Décoder les spécifications géométriques », *Technologie – Sciences et techniques industrielles*, n° 174, mai-juin 2011.
- [12] Benjamin Schleich, Nabil Anwer, Luc Mathieu, Sandro Wartzack, « Skin Model Shapes: A new paradigm shift for geometric variations modelling in mechanical engineering », *Computer-Aided Design*, Vol. 50, 2014, p. 1-15.
- [13] Nabil Anwer, Frédéric Charpentier, Bertrand Nicquevert, « Partition – Basic ideas – proposal for ISO 18183-1 », Shanghai, 2016.
- [14] ISO 8015:2011, « Spécification géométrique des produits (GPS) – Principes fondamentaux – Concepts, principes et règles », édition ISO, 2011, 11 p.

RETROUVEZ

TOUTE L'OFFRE

SUR RESEAU-CANOPE.FR



Les dernières publications, vidéos et autres **ressources numériques**



Les **formations**, animations et événements proposés par les Ateliers Canopé



Les **actualités** locales et nationales de Réseau Canopé

RESEAU-CANOPE.FR
CANOPE

LE RÉSEAU DE CRÉATION
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES

reseau-canope.fr