

Exploitation du concept
G.P.S.
et de la normalisation
pour la Spécification
Géométrique des
Produits

- Livret 1 : Introduction au concept GPS
Livret 2 : Langage graphique normalisé, syntaxe et sémantique
Livret 3 : Exercices de lecture de spécifications
Exercices d'écriture de spécifications

Introduction

Le Concept de Spécification Géométrique des produits (Geometrical Product Specification) proposé par l'organisation internationale de normalisation (ISO) a pour but de fournir des normes cohérentes dans les domaines de la spécification et de la vérification de la géométrie des produits (ISO/TR 14638).

La spécification de la géométrie des produits consiste à définir les caractéristiques géométriques fonctionnelles entre les pièces, les caractéristiques macro et micro géométriques des surfaces des pièces elles-mêmes à divers stades de leur transformation ainsi que les limites de leur variation qui assureront le fonctionnement attendu des produits.

La vérification de la géométrie des produits quant à elle, doit permettre de s'assurer par la mise en œuvre de moyens métrologiques que les pièces physiques réalisées sont bien conformes aux spécifications. Cette vérification est non seulement pratiquée sur les pièces dans leur état final mais également à divers stades de leur transformation. Elle procède très généralement par la quantification des caractéristiques spécifiées, suivie d'une évaluation des incertitudes de mesure.

La spécification et la vérification de la géométrie des produits constituent deux activités importantes de la maîtrise de la qualité des produits. Elles concernent divers services d'une entreprise, les études, les méthodes, la production et le contrôle pour ne citer que les principaux. Les acteurs de ces services ont besoin de communiquer et pour cela, ils doivent disposer d'un langage commun.

De grandes entreprises ont déjà engagé la formation de leurs techniciens à ce langage commun.

Le CERPET (Centre d'Etudes et de Recherche Pédagogique de l'Enseignement Technique) a décidé sous l'égide de la Direction de l'Enseignement Scolaire de mettre en place une innovation pédagogique, pilotée par l'Inspection Générale STI, afin de permettre aux professeurs de disposer sur le serveur du Centre National de Ressources (<http://www.cnr-cmao.ens-cachan.fr>) d'un document d'accompagnement du plan de formation engagé au plan national et démultiplié dans les académies.

Ce travail collectif réalisé par : Alain CHARPANTIER, Jean-Pierre DELOBEL, Benoît LEROUX, Claude MURET et Dominique TARAUD, doit permettre à chaque enseignant relevant du génie mécanique de disposer d'une ressource précieuse, conforme à l'état des travaux de l'ISO, et permettant dans un délai rapide une formation des élèves et des étudiants plus rigoureuse à la définition et au contrôle des produits industriels. Ce dossier s'inscrit dans la stratégie de formation qui se développe dans l'ensemble des académies, suite aux deux actions du PNF qui visaient à former des formateurs académiques (CNAM 1996 et 1998).

Cette introduction ne serait pas complète si je n'adressais pas des remerciements sincères à Luc MATHIEU, Maître de conférences au Conservatoire National des Arts et Métiers, enseignant - chercheur à l'ENS de Cachan et expert international à l'ISO, pour l'important travail d'expertise qu'il a accepté de réaliser à partir des productions de l'équipe et pour l'aide déterminante qu'il apporte dans le cadre du plan national de formation.

Je formule des souhaits pour que ce document soit très largement diffusé et utilisé. La qualité des relations à venir entre donneurs d'ordres et sous traitants en dépend largement.

Paris le 15 janvier 1999

Michel AUBLIN

Inspecteur Général de l'Education Nationale

Livret 1 :
Introduction au
concept **GPS**

La Spécification Géométrique des Produits

liée au concept **G.P.S.**

Livret 1: Introduction au concept GPS

Ce livret d'auto formation au concept de Spécification Géométrique des Produits s'adresse à tous les professeurs de Génie mécanique des lycées technologiques et professionnels, quels que soient les niveaux auxquels ils enseignent.

Son principal objectif est de les sensibiliser aux principes mis en œuvre lors de la cotation géométrique des produits, ainsi qu'aux conséquences que cela induit dans leur enseignement.

Ce livret, premier d'une série de trois, se veut d'un accès facile, et devrait servir de point de départ à une démarche de formation personnelle indispensable dans le domaine de la spécification géométrique des produits industriels.



Il s'agit ici de :

- ⊕ comprendre les principes proposés et les démarches associées ;
- ⊕ découvrir les principaux termes de vocabulaire ;
- ⊕ justifier les fonctions des livrets 2 et 3, qui approfondissent deux aspects importants du concept de spécification selon les normes ISO en cours et en développement.

Ce dossier se divise en deux parties principales :

- ⊕ Pourquoi le concept GPS, expliquant rapidement les constats, les évolutions ayant amené à faire évoluer les normes de cotation en s'appuyant sur un modèle particulier ;
- ⊕ Comment la norme associée au concept GPS répond et répondra à ce besoin d'évolution.

Affiche présentant le concept de Spécification Géométrique des Produits, envoyée par l'UNM (Union de la Normalisation de la Mécanique située à Courbevoie) en 1997 dans chaque établissement enseignant les Sciences et Techniques Industrielles.

1.Objectifs du concept GPS

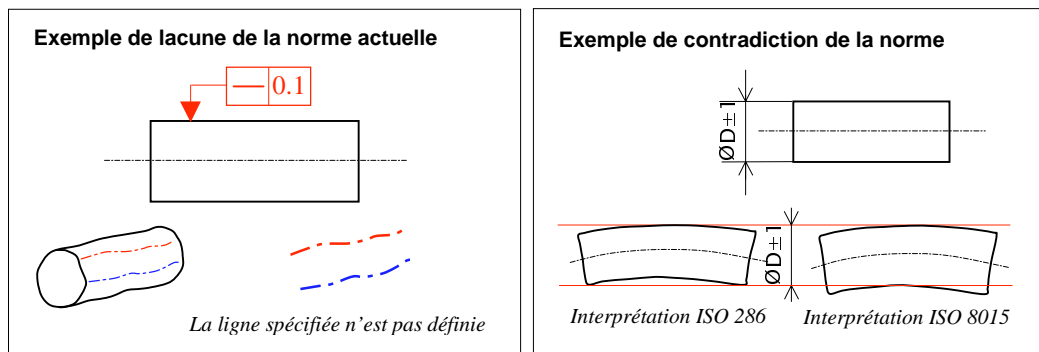
Comme toute évolution technique, le concept de Spécification Géométrique des Produits (dit GPS, pour Geometrical Product Specification), répond globalement à une demande d'amélioration de la qualité des produits et à une volonté de réduction des coûts d'étude et de réalisation.

Cette demande s'accroît actuellement de part :

- ⊕ le développement de la sous-traitance, de plus en plus souvent internationale, obligeant les entreprises à mieux gérer leur communication technique avec des partenaires lointains de cultures parfois différentes ;
- ⊕ la mise en place de plans d'assurance qualité très exigeants, internes et externes aux sociétés, introduisant des contraintes réglementaires dans les relations entre client et fournisseur, interdisant les interprétations approximatives de spécifications demandées ;
- ⊕ le développement important de l'utilisation des outils de CAO, qui permet de généraliser la construction de modèles géométriques susceptibles, dans les années qui viennent, de servir de base au développement d'outils de cotation assistés et/ou automatiques et de raccourcir le cycle conception, spécification, réalisation, qualification.

Au niveau de la norme ISO, la réponse actuellement en cours de développement, consiste à définir et proposer un langage de spécification des produits caractérisé par :

- ⊕ l'expression sans ambiguïté des exigences fonctionnelles des mécanismes ;
- ⊕ une base théorique robuste, permettant la caractérisation précise de conditions fonctionnelles, de leur contrôle ainsi que la prise en compte des évolutions futures des systèmes informatiques ;
- ⊕ un code univoque et international ;
- ⊕ une cohérence globale de l'ensemble des normes, évitant les « oublis », les redondances ou les interprétations multiples.



L'ensemble de ces objectifs s'inscrit dans l'adoption du concept GPS, base de développement de séries de normes particulières, cohérentes entre elles, visant à traiter de tous les aspects de la vie d'un produit, de sa conception à sa qualification.

La matrice GPS

Historiquement, les normes ISO traitant de la cotation travaillaient parallèlement sur trois grands domaines : ajustement et métrologie, états des surfaces et tolérancements géométriques.

Face à la multiplication de normes différentes, aux interprétations parfois divergentes, le normalisateur a créé un comité technique unique, chargé de la « Spécification et de la vérification dimensionnelle et géométrique des produits ».

Pour unifier les normes actuelles et futures et garantir la cohérence du système en cours de construction, la norme ISO propose une démarche de classification des normes selon deux axes :

- ⊕ les caractéristiques géométriques d'un élément géométrique, permettant de le caractériser en taille, forme, orientation, position, etc.
- ⊕ Les étapes de la cotation géométrique et dimensionnelle d'un produit, permettant de caractériser des éléments géométriques, d'évaluer les écarts dimensionnels, de définir et contrôler les instruments de mesure.

Le tout s'inscrit dans un tableau à double entrée, dit « matrice GPS » qui permet de dresser un bilan des normes actuelles, de repérer les redondances et les manques et de programmer le développement des normes à venir.

La matrice GPS, et la démarche qui y est associée, est décrite précisément dans le document ISO suivant : Spécification géométrique des produits (GPS) Schéma directeur FD CR ISO/TR 14638 Décembre 96.

Matrice GPS simplifiée et incomplète illustrant le principe de travail retenu par le normalisateur

Normes GPS globales						
Maillons	1	2	3	4	5	6
Caractéristiques géométriques de l'élément	Indication dans la documentation du produit	Définition des tolérances.	Définitions des caractéristiques des éléments	Evaluation des écarts, limites de tolérances	Exigences des équipements de mesures	Exigences d'étalonnage, étalons d'étalonnage
Normes générales						
1 Taille	ISO 406	ISO 286	ISO 1938	ISO 1938	ISO 1938	ISO 1938
2 Distance	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
3 Rayon	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
4 Angle	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
5 Forme d'une ligne	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
6	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
7 Forme d'une surface	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
8	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
9 Orientation	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
10 Position	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
11 Battement circulaire	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
12	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
13 Références	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
14 Rugosités de surface	ISO 1302	ISO 4287	ISO 4288	ISO 4288	ISO 3274	ISO 5436
15 Ondulation de surface	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
16 Défauts de surface	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
17 Arêtes	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••

Les références des normes indiquées ne sont que des exemples, l'objectif du normalisateur étant de remplir chaque case de la matrice par une norme respectant les concepts GPS.

Enfin, cette approche permet d'envisager des « chaînes de normes » qui , associées à un besoin identifié de spécification géométrique, permettrait d'appliquer des procédures de spécification et de qualifications cohérentes entre elles.

2. Les principes du concept GPS

Les concepts fondamentaux supportant le tolérancement géométrique des produits selon la norme ISO peuvent être abordés à différents niveaux :

- ⊕ **Au niveau du principe général**, permettant de définir une condition de fonctionnement d'un mécanisme par une condition géométrique liant des surfaces, définie par le concepteur, interprétée par le réalisateur et vérifiée par le contrôleur ;
- ⊕ **Au niveau géométrique des produits**, amenant les spécificateurs et les contrôleurs à définir des éléments géométriques liés aux surfaces du mécanisme, et à les associer de façon à traduire leurs exigences (de fonctionnement, de réalisation ou de mesure) ;
- ⊕ **Au niveau du langage symbolique** utilisé pour communiquer entre techniciens et ingénieurs, garantissant une expression univoque des besoins fonctionnels et des vérifications.

2.1 Le principe général

Il est fondé sur la volonté de rendre cohérentes les démarches de spécification et de vérification, afin, qu'à toutes les étapes de conception, de la réalisation et de la qualification du produit, le « contrat fonctionnel » exprimé par le concepteur puisse être compris, respecté et vérifié et cela pour un coût minimal.

On peut décrire ce principe en considérant les deux démarches suivantes :

- ⊕ de conception, amenant à proposer des spécifications fonctionnelles ;
- ⊕ de qualification, amenant à vérifier si les spécifications fonctionnelles sont respectées.

Phase de conception d'un mécanisme.

Lors de cette phase, le technicien imagine une solution qui sera traduite mentalement et graphiquement par une image prévisionnelle de la réalité.

Cette représentation est sensée respecter des conditions de fonctionnement qui, dans un second temps, sont transformées en diverses spécifications (sur des surfaces ou entre des surfaces). Ces spécifications sont autant de limitations géométriques imposées aux surfaces fonctionnelles pour garantir le bon fonctionnement du système.

Ces conditions permettent de limiter les variations de dimension, de forme, d'orientation et de position entre des surfaces fonctionnelles « influentes » au regard de la condition visée.

Pour exprimer ces limitations, on définit des éléments géométriquement parfaits (plans, cylindres, etc.) liés aux surfaces imaginées susceptibles de représenter les limites de la matière.

La condition fonctionnelle sera respectée si la surface « spécifiée » se situe à l'intérieur de cette zone de tolérance.

Cette démarche permet de spécifier toutes les pièces composant le produit.

Si chaque pièce respecte ces spécifications, toutes les conditions de montage, de fonctionnement, de démontage seront respectées et le produit sera qualifié.

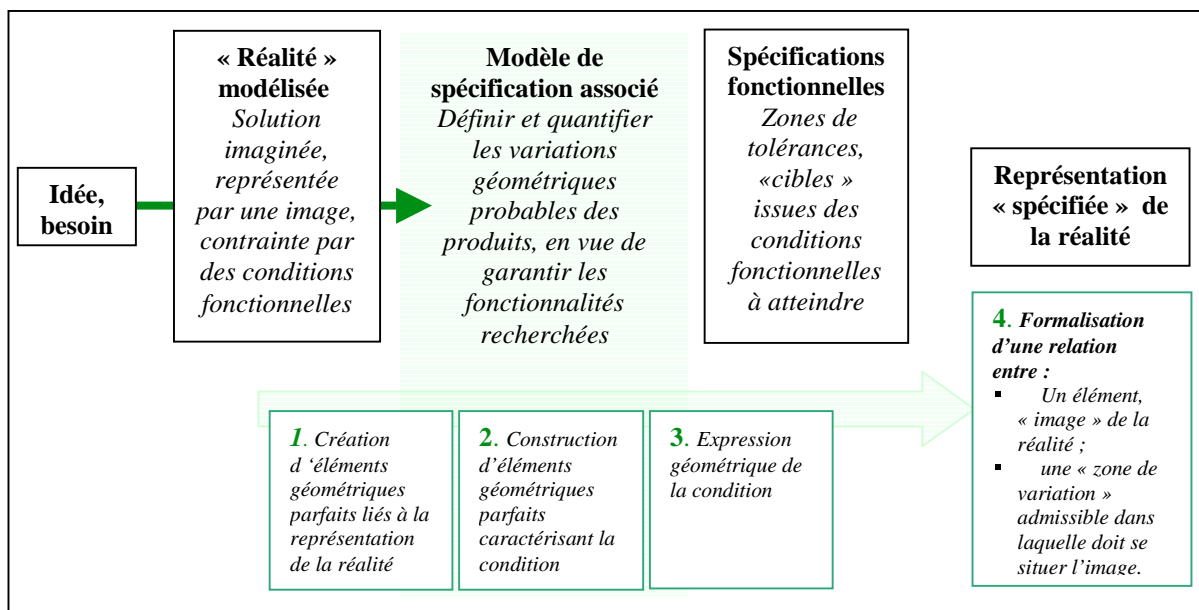


Schéma illustrant la place du modèle de spécification dans le concept GPS

Phase de vérification des spécifications d'une pièce

Cette phase se déroule pendant la réalisation physique du produit et concerne les pièces isolées et les systèmes mécaniques associés (montage, démontage, caractéristiques de fonctionnement). Le technicien lit, comprend et contrôle les spécifications définies par le concepteur.

Pour cela, il suit une démarche de vérification fondée sur une acquisition de la réalité (la pièce fabriquée) à partir de laquelle il associe aux surfaces mesurées des éléments géométriques parfaits, construits de façon à retrouver le « contrat géométrique » correspondant à la spécification exigée.

Cette démarche se traduit donc par la création d'un modèle géométrique de vérification, suivi du mesurage d'une pièce et du calcul des écarts dimensionnels entre la réalité fabriquée (issue de points réels palpés) et des éléments géométriques de référence (points, lignes, surfaces réelles ou associées) liés à cette réalité.

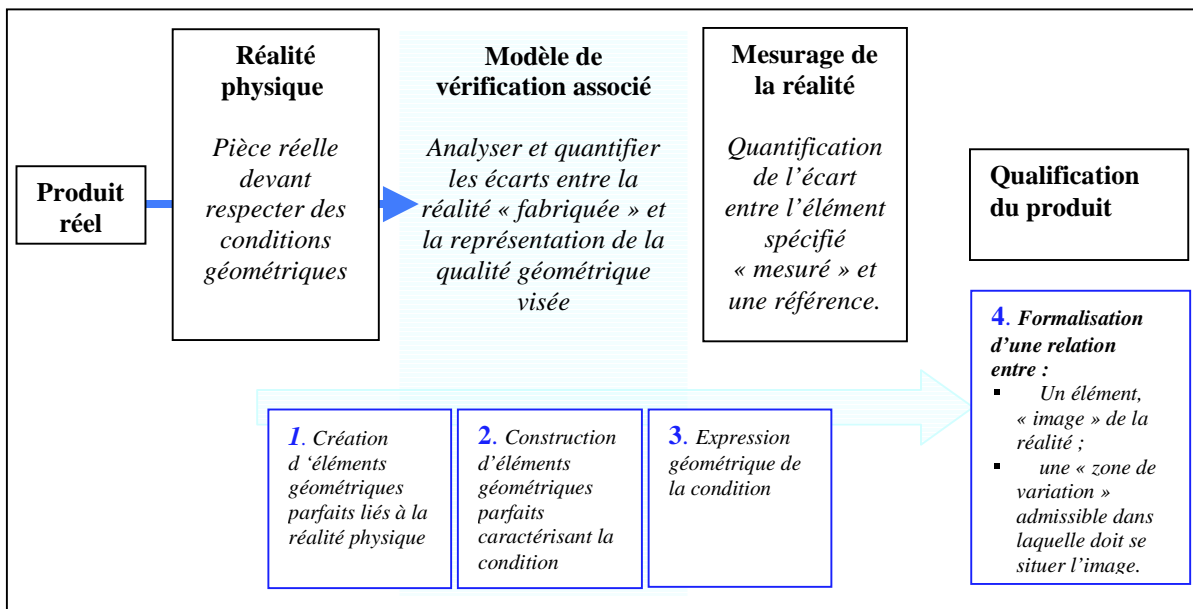


Schéma illustrant la place du modèle de vérification dans le concept GPS

La spécification géométrique des produits : concept fédérateur entre spécificateur et vérificateur

L'objectif recherché dans le concept GPS est de proposer une cohérence générale entre les deux démarches décrites ci-dessus.

Le modèle géométrique proposé se veut suffisamment évolué pour pouvoir être appliqué dans chacune des phases, au niveau des modèles de spécification et de vérification. Cette unicité de modèle permettra au

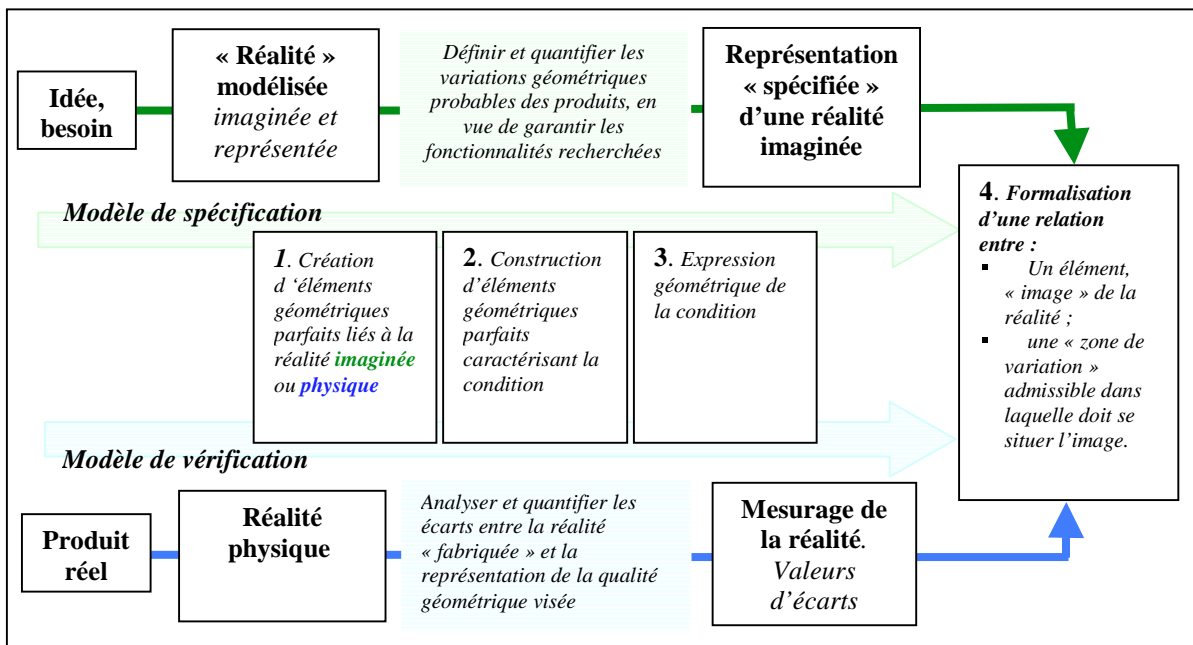


Schéma illustrant l'unicité du modèle géométrique recherché dans le concept GPS

vérificateur de bâtir une démarche qui a de grandes chances de refléter la contrainte exprimée par le spécificateur.

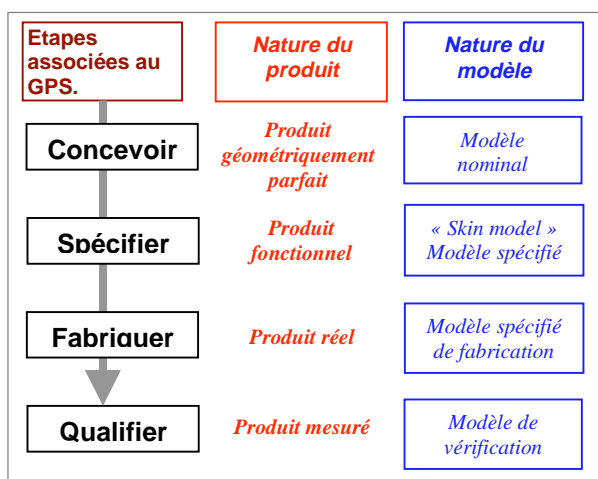
Le concept GPS permet de rapprocher ces deux démarches, depuis les définitions des tolérances, des éléments géométriques associés aux surfaces « imaginées » ou « réelles » jusqu'à la maîtrise de la qualité des mesurages (voir extrait de la matrice GPS ci dessous, typant les normes globales).

Caractéristiques géométriques de l'élément	Indications dans la documentation du produit	Définition des tolérances.	Définitions des caractéristiques des éléments	Evaluation des écarts, limites de tolérances	Exigences des équipements de mesures	Exigences d'étalonnage, étalons d'étalonnage
--	--	----------------------------	---	--	--------------------------------------	--

2.2 Un concept « transversal »

Le principe présenté ci-dessus montre que les démarches liées au concept GPS s'appliquent à différentes étapes de la vie d'un produit, lors de :

- ⊕ la conception, par l'expression des spécifications issues des conditions fonctionnelles
- ⊕ la réalisation, par l'expression de spécification de fabrication parfois nécessaires,
- ⊕ la qualification du produit, lors de la création du modèle de vérification et du protocole d'acceptation.



Le « skin model » d'une pièce

Un des apports importants du concept GPS se situe au niveau du modèle de spécification qui utilise la notion de pièce représentée non idéale, appelée aussi « modèle de la peau de la pièce », ou encore « skin model ».

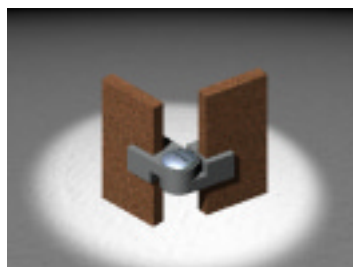
Lors de la démarche de conception, le technicien bâtit son modèle de spécification sur une représentation d'un produit qui n'existe pas.

Pour définir des éléments géométriques caractérisant la variation d'une « surface nominale » à l'intérieur d'une zone de tolérance « fictive », il lui faut donc imaginer un modèle « non parfait » de sa pièce, présentant des défauts probables ou possibles, liés aux procédés d'obtention choisis, au matériau... Ce

modèle particulier sera considéré comme présentant une seule surface (comme sur une pièce réelle), d'où l'appellation de « modèle de la peau de la pièce ».

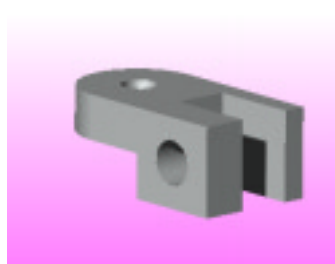
Exemple sur un produit simple : une charnière pour panneaux d'affichage

1. Mise en situation de la charnière



Chaque charnière est composée de deux pinces assemblées par une vis. Lors de l'assemblage, l'opérateur règle l'angle des deux pinces avant de serrer la vis. Pour simplifier l'exemple qui suit, on étudie l'assemblage des deux panneaux par une seule pince.

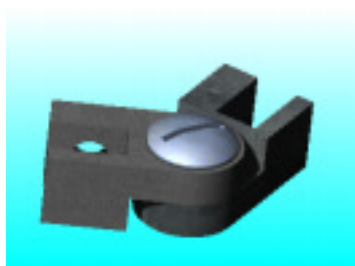
3. Modèle nominal d'une pièce



Le modèle nominal de la pièce est un modèle idéal, composé de surfaces parfaites, de dimensions nominales « exactes », assemblées selon des contraintes géométriques et topologiques parfaitement définies.

2. Représentation d'une solution

Le modèle nominal définit géométriquement et topologiquement les formes, les dimensions et les contraintes entre les volumes et les surfaces composant le produit.



Il peut être représenté graphiquement par une vue 3D ou par une représentation plane. Il décrit une solution de fonctionnement possible répondant aux cahiers des charges fonctionnel et aux contraintes de productions.

4. Skin model » d'une pièce



Le « Skin model » est une représentation imaginée du produit avec des défauts possibles. La surface totale du modèle est continue, façonnant la peau du modèle.

Dans la représentation proposée, les défauts de la peau du modèle sont amplifiés pour bien illustrer le concept de « skin model ».

Le passage par ce modèle particulier permet d'appliquer une démarche de spécification analogue à la démarche de vérification.

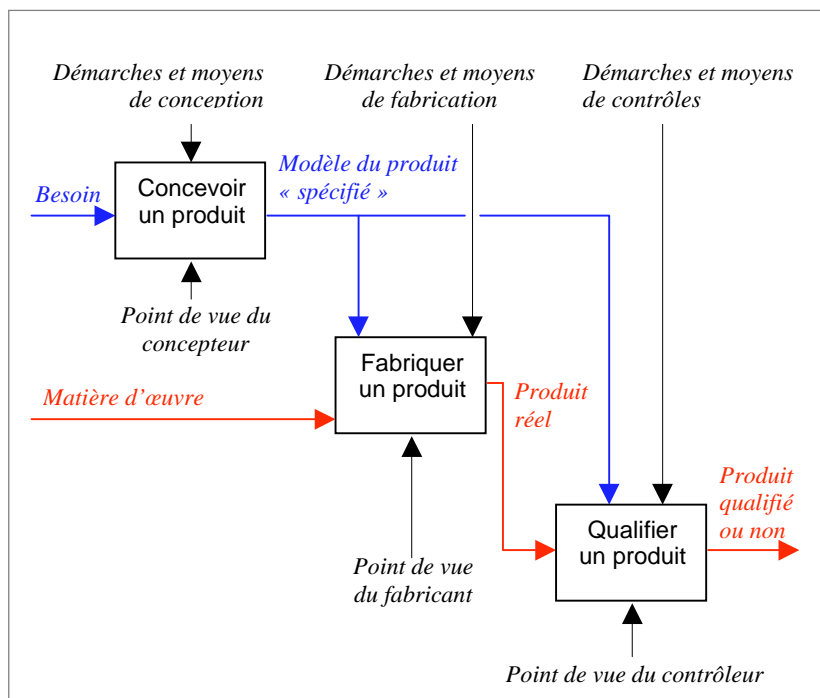
Dans ce cas, le technicien « part » du skin model pour « extraire » un élément géométrique imparfait, opération similaire à celle du vérificateur qui, à partir du palpage de points de la surface réelle, construira un élément géométrique parfait, point de départ d'opérations de constructions du modèle de vérification.

Le concept GPS dans la chaîne industrielle de vie du produit

Les schémas proposés ci-dessous illustrent l'importance d'un concept de spécification géométrique des produits lors des étapes de conception, réalisation et qualification d'un produit.

La schématisation proposée permet de faire ressortir les liens existants entre les étapes ainsi que les phases utilisant directement, soit en écriture, soit en lecture, les concepts GPS et son langage ISO.

Les étapes concernées par le concept GPS

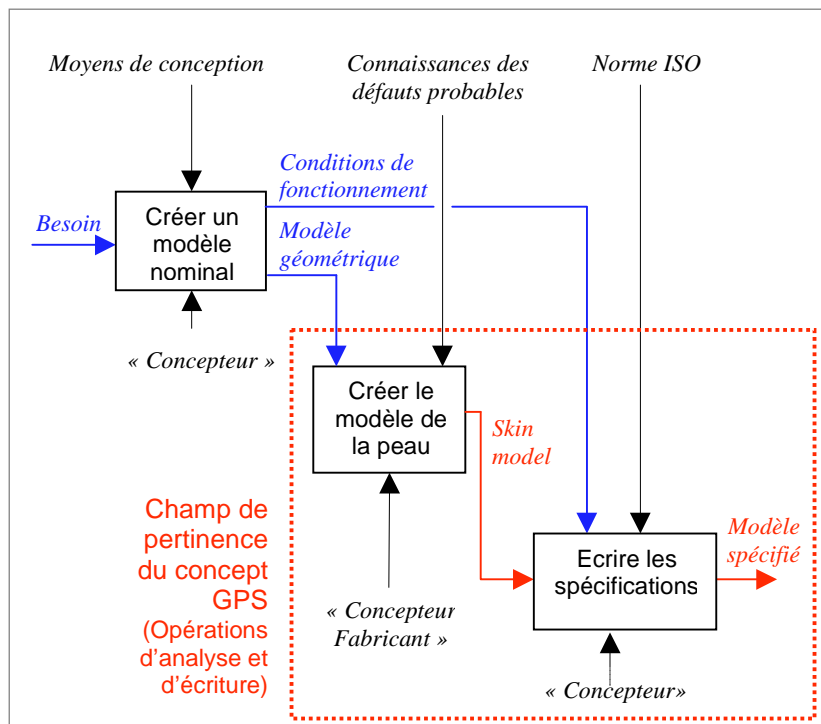


Le concept GPS veut répondre aux besoins de tous les acteurs intervenant dans le cycle de conception et de réalisation d'un produit. Pour être efficaces et répondre aux exigences actuelles de la qualité totale, les différents techniciens doivent communiquer et se comprendre.

Comme le montre le schéma ci-contre, les spécifications géométriques d'un produits influent sur les trois grandes étapes de sa création :

- Lors de la conception,
- Lors de la fabrication,
- Lors de la qualification, comme cahier des charges à la préparation de la fabrication et des protocoles de vérification (mesurage et contrôle).

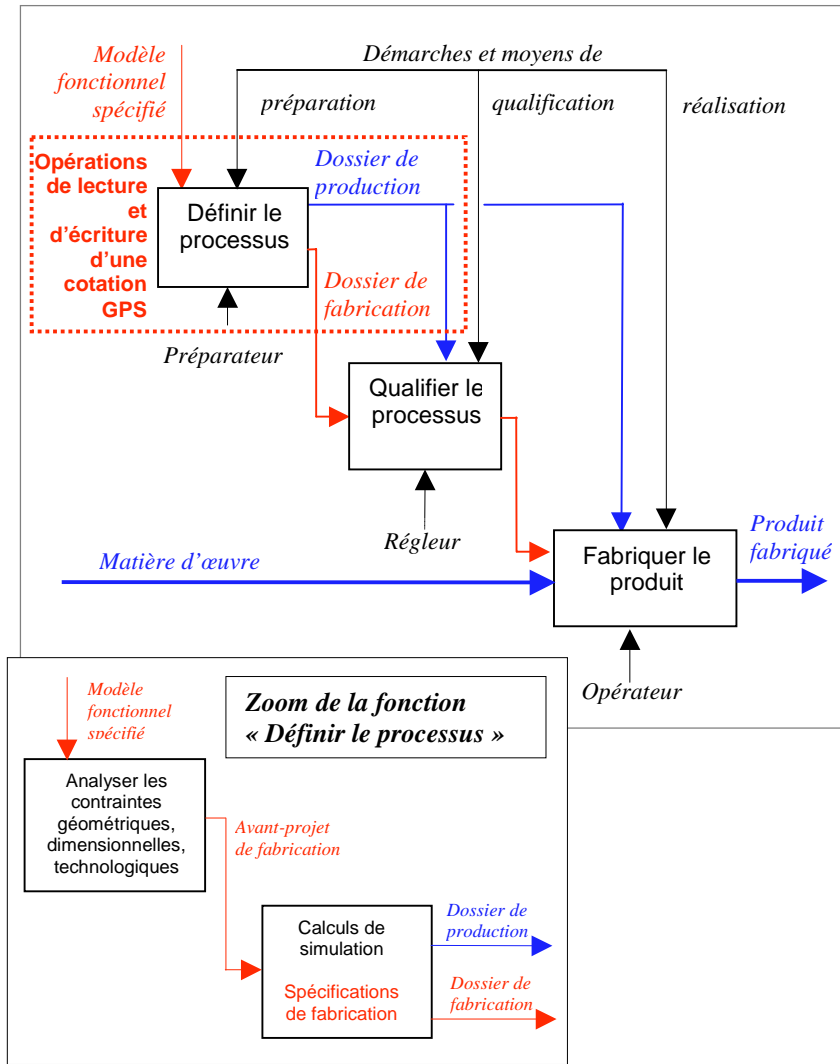
Etape 1 : Concevoir et spécifier géométriquement



Le concept GPS suppose 3 étapes principales :

- La création d'un modèle nominal, composé de surfaces parfaites (ou idéales), liées entre elles par des conditions géométriques parfaitement définies et répondant fonctionnellement au besoin ;
- L'élaboration, à partir du modèle nominal, d'un modèle « non parfait » de la peau du produit, définit en tenant compte des défauts possibles sur la pièce réelle, permettant d'extraire des surfaces « non idéales » qui supporteront des conditions dimensionnelles et géométriques entre elles ;
- La traduction et l'écriture de ces conditions à l'aide d'un langage ISO, univoque, interprétable de façon unique par tout technicien.

Etape 2 : Préparer le processus et réaliser le produit



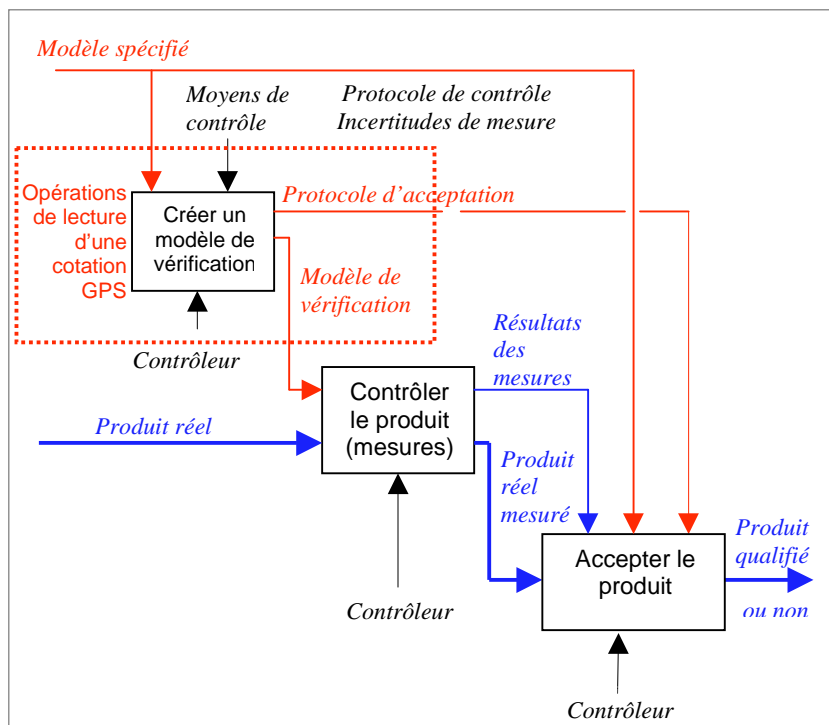
La deuxième étape correspond à l'étude du processus retenu ainsi qu'à la production des produits.

Le technicien de préparation :

- analyse les spécifications fonctionnelles définies par le concepteur ;
- propose un processus (machines, outillages, réglages) capable de respecter ce contrat fonctionnel. Au cas où le processus défini l'oblige à considérer de nouvelles dimensions ou de nouvelles spécifications (transferts de cotes, simulations, calculs de bruts), il est parfois amené à restreindre les zones de tolérances proposées par le concepteur, donc à complexifier la réalisation du produit et à en augmenter son coût.

Une bonne coopération au niveau de l'industrialisation du produit (relation produit, procédé) permet d'optimiser la spécification fonctionnelle en fonction du procédé et de limiter les restrictions d'éventuelles spécifications de fabrication.

Etape 3 : Contrôler et qualifier le produit



La dernière étape permet de contrôler et de qualifier le produit réalisé.

Pour cela, le technicien doit :

- analyser les spécifications fonctionnelles et de fabrication ;
- créer un modèle géométrique de vérification, tenant compte des moyens de mesurage disponibles et de la précision attendue. Cette phase se fait en utilisant une démarche similaire à celle ayant permis la spécification, mais en partant du produit réel ;
- élaborer un protocole d'acceptation des produits, intégrant, si nécessaire, un volet « assurance qualité »

3. Démarche de spécification fonctionnelle d'un produit

Cette étape intervient après que le technicien ait :

- ⊕ imaginé un mécanisme, répondant à un cahier des charges ;
- ⊕ représenté ce mécanisme, par le biais d'un modèle nominal ;
- ⊕ exprimé, pour le mécanisme, les conditions garantissant le bon fonctionnement ;
- ⊕ définir les surfaces influentes du mécanisme permettant de transformer les conditions de fonctionnement en des conditions géométriques fonctionnelles entre pièces ;
- ⊕ traduire, pour chaque pièce, les conditions fonctionnelles sous la forme de contraintes dimensionnelles et géométriques.

Pour spécifier fonctionnellement chaque pièce, il peut alors :

- ⊕ imaginer le « skin model » de la pièce, compte tenu des choix technologiques effectués (matériau, procédés, processus);
- ⊕ découper des parties du « skin model » pour définir des surfaces non parfaites, correspondant aux surfaces influentes repérées lors de l'étape précédente ;
- ⊕ associer, selon des critères précis (moindres carrés, minimum de matière, etc.) à ces surfaces non parfaites, des éléments géométriques idéaux (points, droites, plans, cylindres, etc.) ;
- ⊕ construire, avec ces éléments géométriques idéaux :
 - soit une « image » de la surface spécifiée, qui doit respecter une condition géométrique ;
 - soit la zone de tolérance à laquelle doit appartenir l'image de la surface spécifiée.

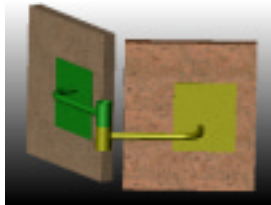
Il reste alors au technicien à quantifier la valeur des dimensions caractérisant la zone de tolérance.

Cette valeur peut être trouvée expérimentalement, par similitude avec d'autres mécanismes, et, dans certains cas calculée.

Ces procédures de calcul ne seront pas abordées dans ce livret, car elles font appel à des modélisations mathématiques complexes et restent lourdes à appliquer manuellement. Néanmoins, il est probable que les progrès des outils informatiques (logiciels de CAO) permettront prochainement de proposer des valeurs déduites de l'architecture des mécanismes et des conditions fonctionnelles recherchées.

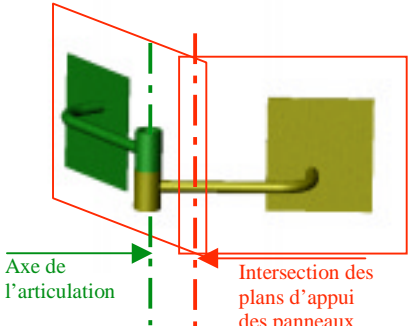
Exemple sur un produit simple : une charnière pour panneaux d'affichage

1. Expression d'une condition de fonctionnement

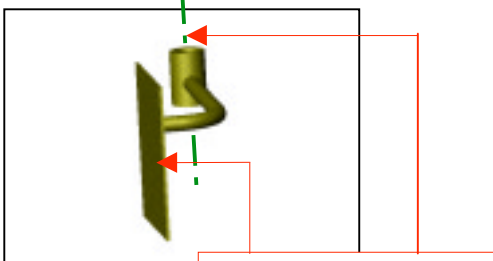


Une des conditions de fonctionnement de la charnière est que, quelle que soit l'orientation des panneaux, ces derniers restent « parallèles ». Cette condition doit être décrite géométriquement pour pouvoir être traduite par une spécification. Cette condition globale doit aussi être interprétée sur chaque pièce composant le produit.

La droite d'intersection des deux plans représentant les panneaux est **parallèle** à l'axe de l'articulation de la charnière.

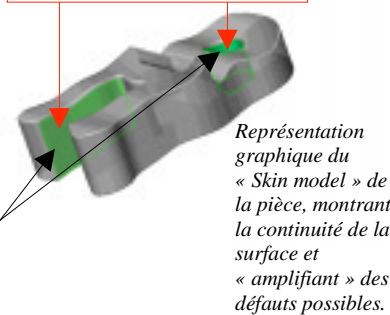


2. Expression d'une condition fonctionnelle



Sur l'une des pinces, la condition de fonctionnement précédente se traduit, en autre, par une condition de parallélisme entre deux surfaces

La surface d'appui du panneau doit être **parallèle** à l'axe de l'alésage de l'articulation.



Représentation graphique du « Skin model » de la pièce, montrant la continuité de la surface et « amplifiant » des défauts possibles.

Surfaces influentes de la pièce

3.1 Exemples de construction de spécifications selon le concept GPS

Dans la cadre du livret de présentation du concept GPS et avec le soucis de faire comprendre globalement les principes généraux utilisés, les 4 pages suivantes illustrent les démarches de spécifications de défauts de forme, d'orientation et de position proposées dans le concept GPS.

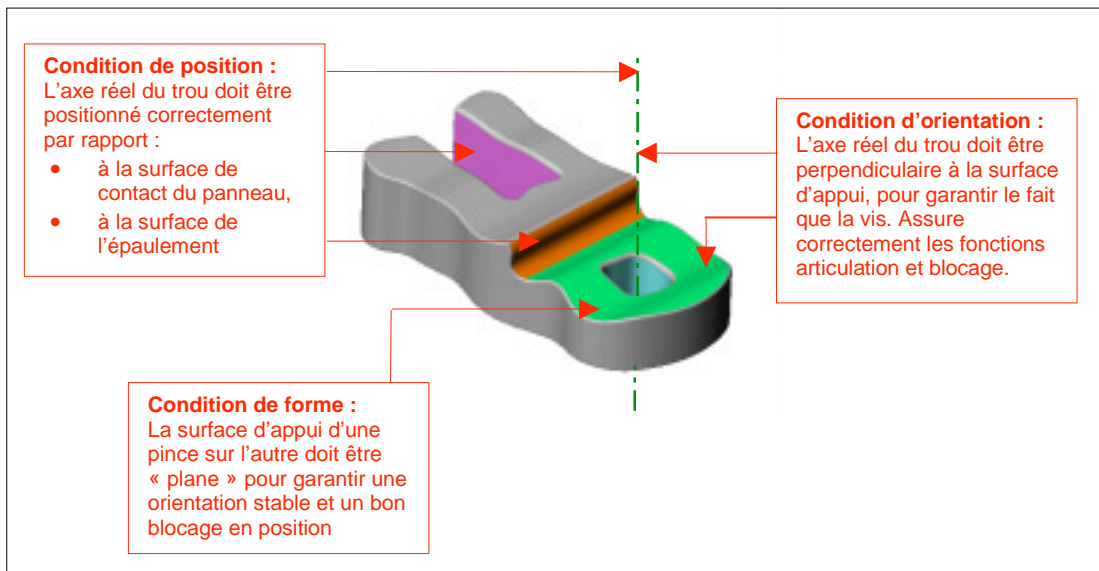
Dans cette phase de présentation, pour ne pas compliquer la tâche des lecteurs, les commentaires joints aux exemples ne respectent pas le vocabulaire normalisé. Afin d'éviter toute ambiguïté, les termes relevant d'une définition précise de la norme ISO sont mis « en italique ». Les lecteurs pourront donc se reporter à la deuxième partie du livret pour y trouver leur définition et leur contexte d'utilisation.

Les exemples ont été choisis parce qu'ils sont courants et font parti des connaissances de base de tout technicien. Il ne faut pas forcément chercher un lien direct avec l'exemple de la charnière illustrant ce livret, quoique la cotation de ce produit intègre probablement ce type de spécifications.

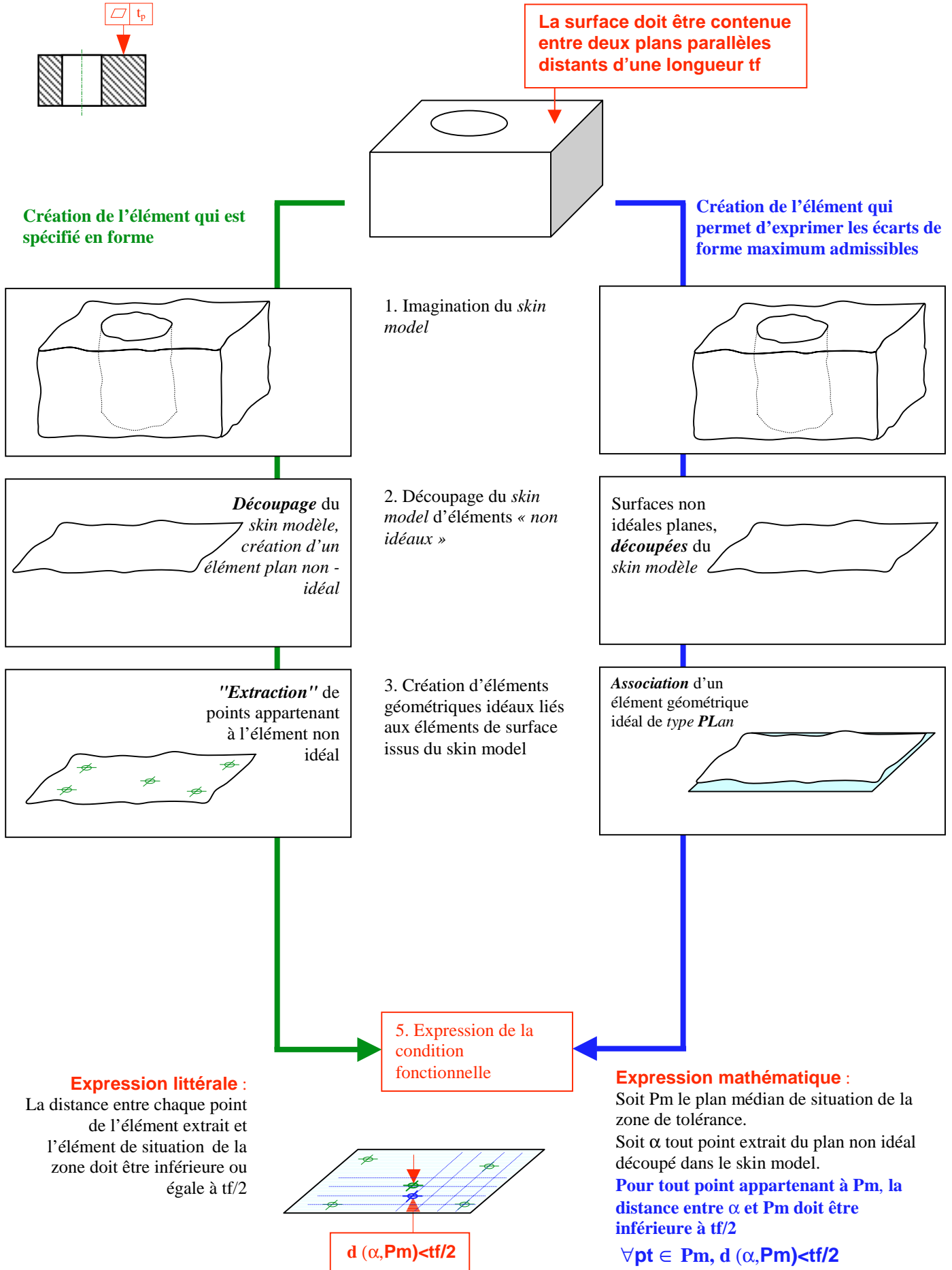
La présentation graphique retenue est essentiellement didactique. Elle permet de bien faire ressortir les quatre points fondamentaux de toute spécification :

- ⊕ L'expression du besoin, fonctionnel, traduit par la formalisation de conditions géométriques que doivent respecter des éléments d'une pièce (dimensions ou surfaces) ;
- ⊕ La définition de l'élément géométrique spécifié, celui qui doit respecter une contrainte ;
- ⊕ La définition de la « zone de tolérance », créée pour exprimer les écarts admissibles de l'élément spécifié ;
- ⊕ L'expression de la condition fonctionnelle définie, qui peut s'exprimer selon trois « langages » :
 - Son expression symbolique, proposée dans le langage ISO, qui sera abordé dans la deuxième partie de ce dossier et traité précisément dans les deux autres livrets.
 - Son expression littérale, employée dans les communications orales entre technicien, mais n'ayant pas de sens géométrique précis ;
 - Son expression mathématique, fondée sur des relations mathématiques précises, univoques, permettant sa définition et sa vérification ;

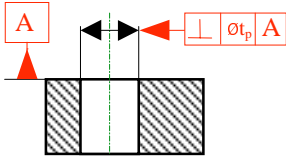
Illustration des relations entre conditions fonctionnelles et spécifications géométriques



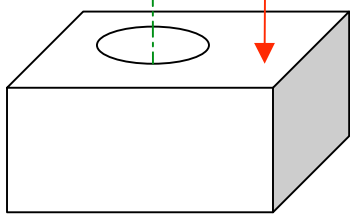
Analyse littérale d'une spécification de forme



Analyse littérale d'une spécification d'orientation

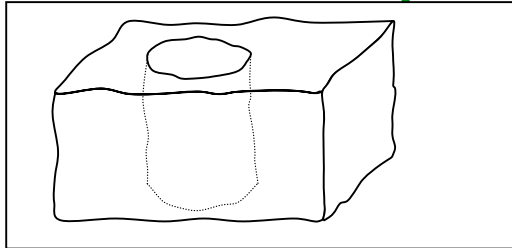


L'axe de l'alésage doit être perpendiculaire à la surface

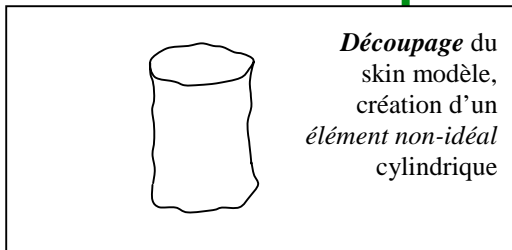
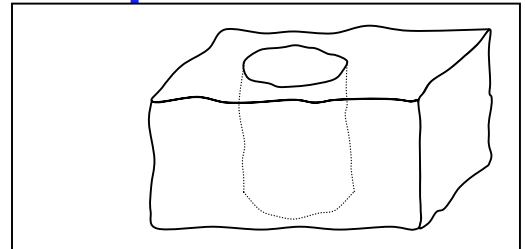


Création de l'élément qui est spécifié en orientation

Création de l'élément qui permet d'exprimer les écarts d'orientation

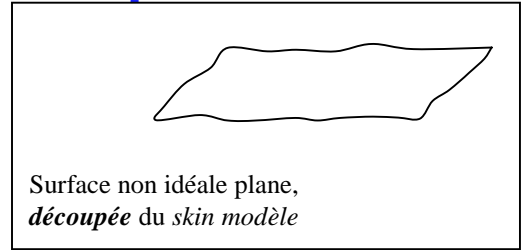


1. Imagination du skin model

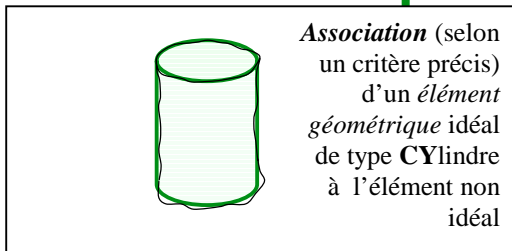


Découpage du skin modèle, création d'un élément non-idéal cylindrique

2. Découpage du skin model d'éléments « non idéaux »

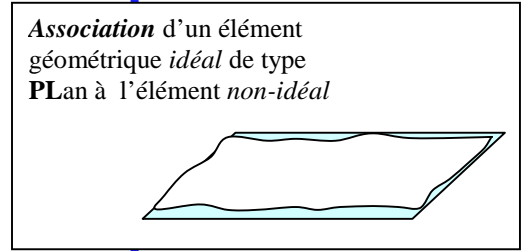


Surface non idéale plane, découpée du skin modèle

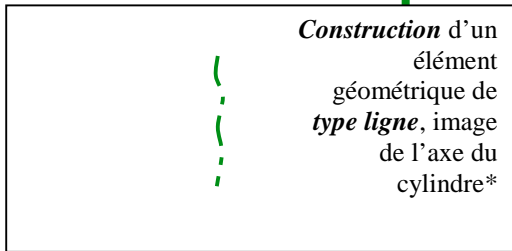


Association (selon un critère précis) d'un élément géométrique idéal de type CYlindre à l'élément non idéal

3. Création d'éléments géométriques idéaux liés aux éléments de surface issus du skin model

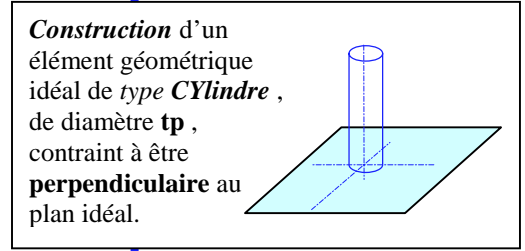


Association d'un élément géométrique idéal de type PLaN à l'élément non-idéal



Construction d'un élément géométrique de type ligne, image de l'axe du cylindre*

4. Création d'éléments géométriques idéaux, contraints géométriquement

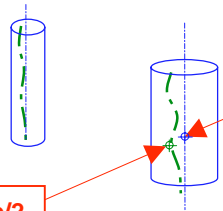


Construction d'un élément géométrique idéal de type CYlindre, de diamètre tp, contraint à être perpendiculaire au plan idéal.

* Voir page suivante

5. Expression de la condition fonctionnelle

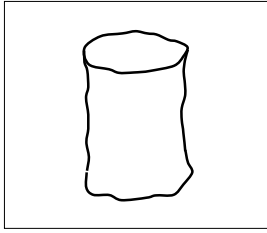
Expression littérale :
L'axe du cylindre relié au cadre de tolérance doit être compris dans une zone cylindrique de diamètre tp et perpendiculaire à la surface de référence A



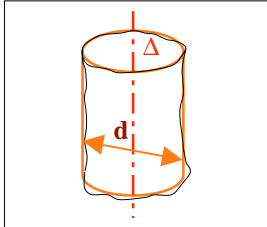
$d(\delta, D) < tp/2$

Expression mathématique :
Soit δ , l'image de l'axe de l'alésage
Soit D l'axe du cylindre idéal de diamètre tp, perpendiculaire à A.
Pour tout point appartenant à δ , la distance entre δ et D doit être inférieure à $tp/2$
 $\forall pt \in \delta, d(\delta, D) < tp/2$

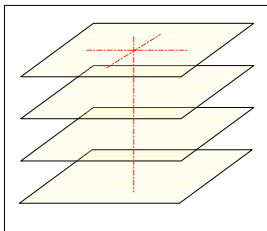
Principe de construction d'un « axe réel » de cylindre



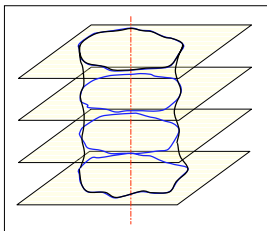
1. **Découpage** de la peau du « skin model » d'un élément cylindrique non-idéal.



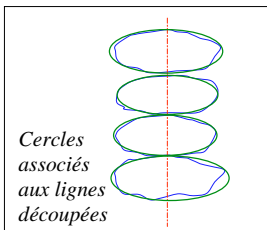
2. **Association**, selon un critère normalisé, d'un élément idéal de type **Cylindre**, caractérisé par son diamètre d et son axe Δ .



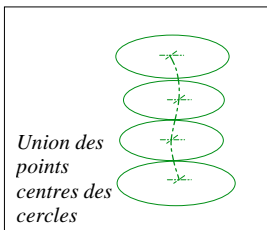
3. **Construction** d'un ensemble indénombrable d'éléments idéaux de type **PLans**, contraints à être **perpendiculaires** à l'axe Δ .



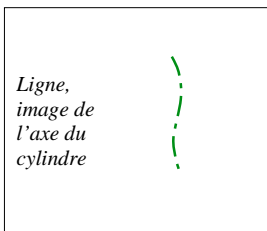
4. **Découpage** de la surface cylindrique non idéale par les plans, créant des **lignes non-idéales** sur chaque plan.



5. **Association**, pour chaque ligne et selon un critère normalisé, d'un élément idéal de type **Cercle**, caractérisé par son diamètre d et son centre O .



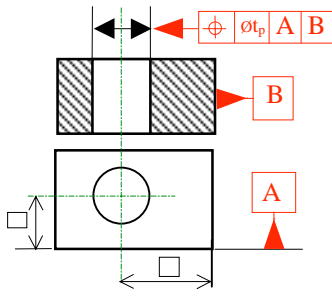
6. **Union** des éléments points centres, formant un élément non idéal .



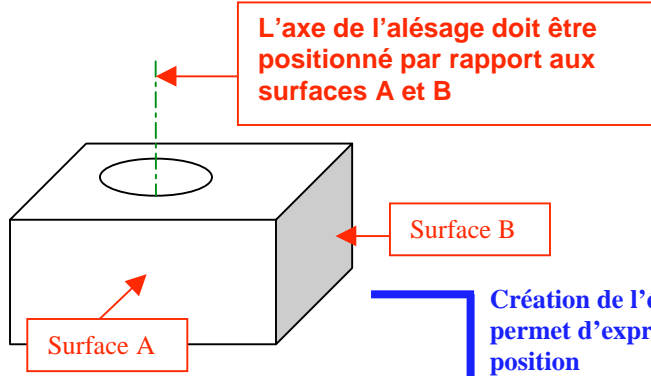
7. La ligne, lieu des centres des cercles, **devient l'image de l'axe du cylindre non idéal**.

On dit aussi que l'axe est un **élément « dérivé »** du cylindre.

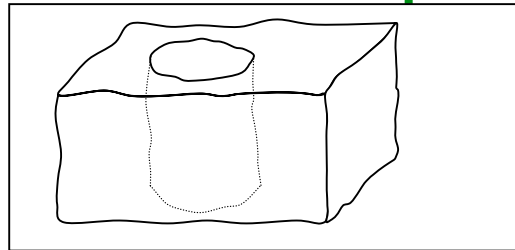
Analyse littérale d'une spécification de position



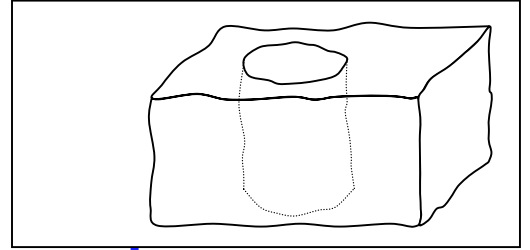
Création de l'élément qui est spécifié en position



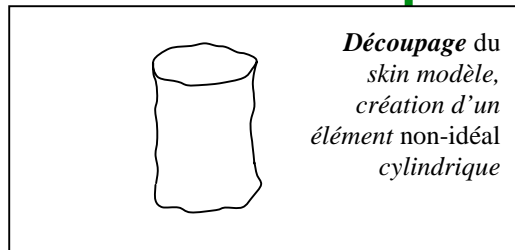
Création de l'élément qui permet d'exprimer les écarts de position



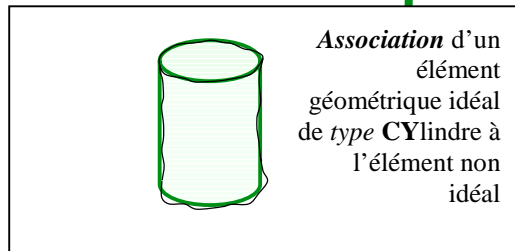
1. Imagination du skin model



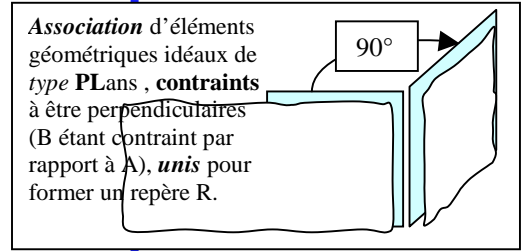
Surfaces non -idéales planes, découpées du skin modèle



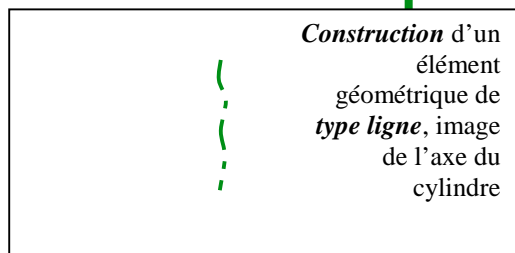
Découpage du skin modèle, création d'un élément non-idéal cylindrique



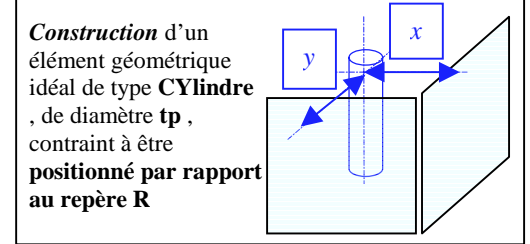
Association d'un élément géométrique idéal de type CYLindre à l'élément non idéal



Association d'éléments géométriques idéaux de type PLans , contraints à être perpendiculaires (B étant contraint par rapport à A), unis pour former un repère R.



Construction d'un élément géométrique de type ligne, image de l'axe du cylindre



Construction d'un élément géométrique idéal de type CYLindre , de diamètre tp , contraint à être positionné par rapport au repère R

4. Création d'éléments idéaux liés aux éléments géométriques idéaux, contraints géométriquement

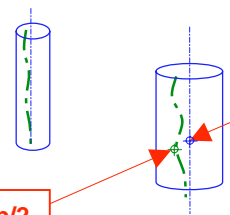
5. Expression de la condition fonctionnelle

Expression littérale :
L'axe du cylindre relié au cadre de tolérance doit être compris dans une zone cylindrique de diamètre tp dont l'axe est positionné exactement par rapport au repère R formé par les surfaces A et B

Expression mathématique :
Soit δ , l'image de l'axe de l'alésage
Soit D l'axe du cylindre idéal de diamètre tp, distant de la surface A de x et de la surface B de y.

Pour tout point appartenant à δ , la distance entre δ et D doit être inférieure à tp/2

$$\forall pt \in \delta, d(\delta, D) < tp/2$$



$$d(\delta, D) < tp/2$$

4. Les éléments géométriques

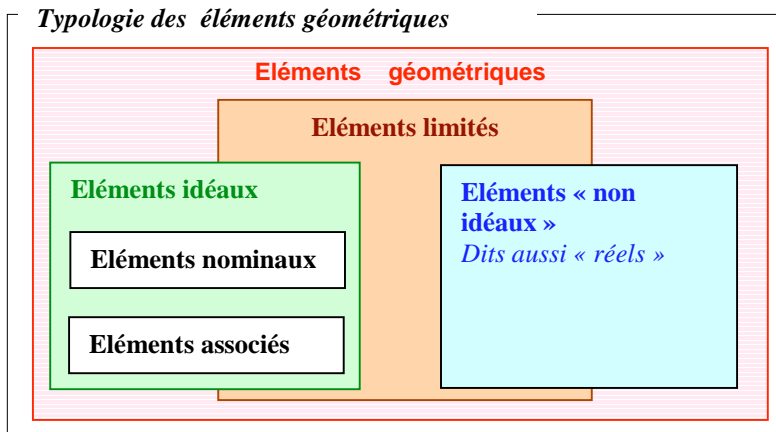
Les éléments géométriques sont fondamentaux dans le modèle de spécification GPS. Ils sont définis par un ensemble de points de l'espace affine liés par une ou plusieurs relations mathématiques. Ils sont **idéaux** ou « **non-idéaux** » (appelés réels voilà quelques temps) et sont créés par un certain nombre **d'opérations**.

4.1 Les types d'éléments géométriques

Les éléments géométriques peuvent être classés selon une typologie qui les classe selon qu'ils sont idéaux ou non, limités ou non. Les figures ci-dessous illustrent certains aspects de cette classification.

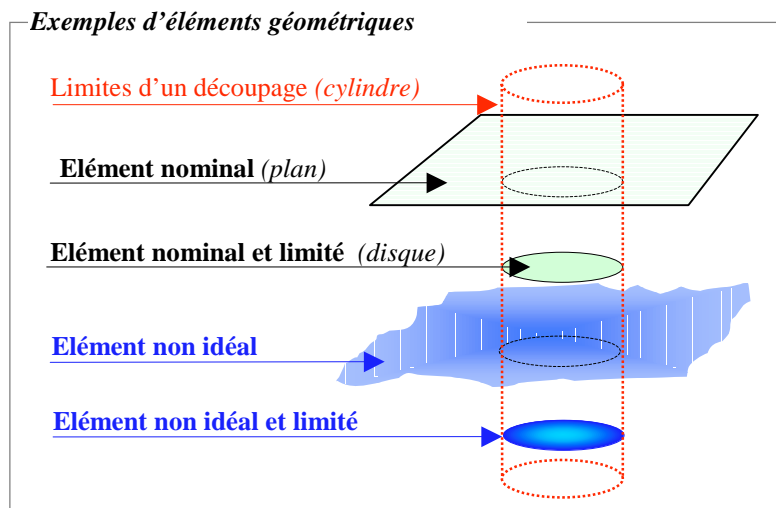
Les éléments géométriques sont répartis en trois types principaux :

- Les **éléments idéaux**, issus de modèles mathématiquement définissables. Ces éléments peuvent être :
 - ↳ nominaux (formes caractéristiques composant les modèles nominaux classiques) ;
 - ↳ associés (composition mathématique de plusieurs éléments nominaux en vue de réaliser une fonction particulière)
 Ils peuvent être infinis ou limités, selon le besoin de l'utilisateur.
- Les **éléments « non-idéaux »**, issus de pièces réelles, ne pouvant pas être défini de façon mathématique. Comme les éléments idéaux, ils sont illimités ou limités.
- Les **éléments limités**, caractérisés par le fait qu'ils sont « finis » et disposent d'une frontière permettant de limiter leur étendue.



Remarques :

- ⊕ Un modèle nominal est composé d'éléments idéaux.
- ⊕ Un « Skin model » est composé d'éléments non idéaux.
- ⊕ Un élément nominal ne peut pas être représenté dans un « même lieu » qu'un élément « non-idéal ». Un élément nominal est complètement indépendant de la surface réelle de la pièce, seuls les éléments idéaux associés peuvent se trouver représentés dans un même lieu.
- ⊕ Un élément idéal peut être lié (par une opération) à un élément non idéal.
- ⊕ Des éléments idéaux peuvent être « associés » pour former un nouvel élément idéal.
- ⊕ Tout élément géométrique idéal est caractérisé par un nombre fini de paramètres.



Les éléments géométriques limités peuvent être :

- ⊕ des points (nombre fini) ;
- ⊕ des lignes de longueur finies ;
- ⊕ des surfaces d'étendue finie...

Un élément « non idéal » peut être :

- ⊕ une partie de la surface réelle d'une pièce ;
- ⊕ l'axe d'une surface « réelle » (axe, cylindre par exemple).

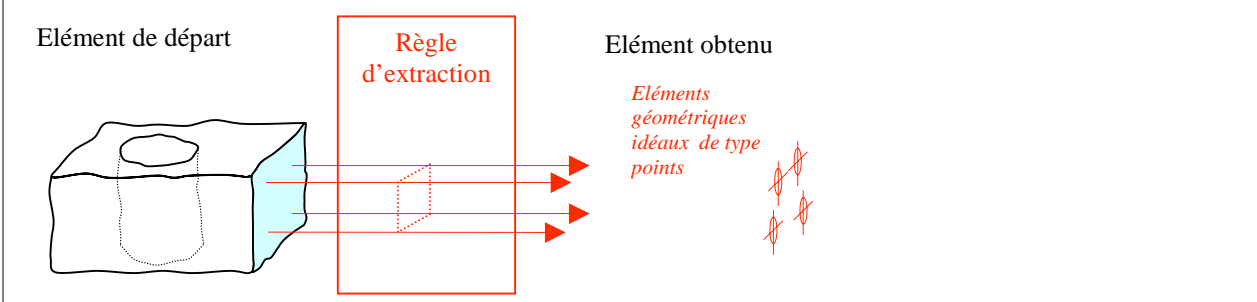
4.2 Les opérations de création des éléments géométriques

Une opération est une contrainte imposée à un ou plusieurs éléments géométriques qui permet de définir des éléments géométriques particuliers, selon des procédures normalisées, dotés de propriétés pouvant intéresser les techniciens.

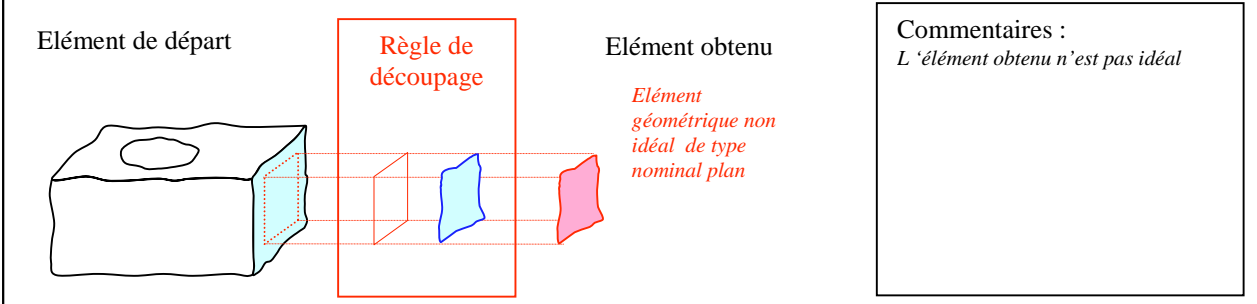
Ces opérations sont regroupées dans les classes suivantes :

- ⊕ Les **extractions**, qui permettent de définir des points à partir d'une surface ;
- ⊕ Les **découpages**, qui permettent de définir des éléments de surface limités ;
- ⊕ Les **filtrages**, qui permettent de définir des éléments significatifs d'un élément ;
- ⊕ Les **associations**, qui amènent à associer des éléments géométriques entre eux selon des critères définis ;
- ⊕ Les **unions**, qui permettent de définir des « groupes » d'éléments, en les considérant comme un élément unique ;
- ⊕ Les **constructions**, qui amènent à définir un nouvel élément construit géométriquement à partir d'autres.

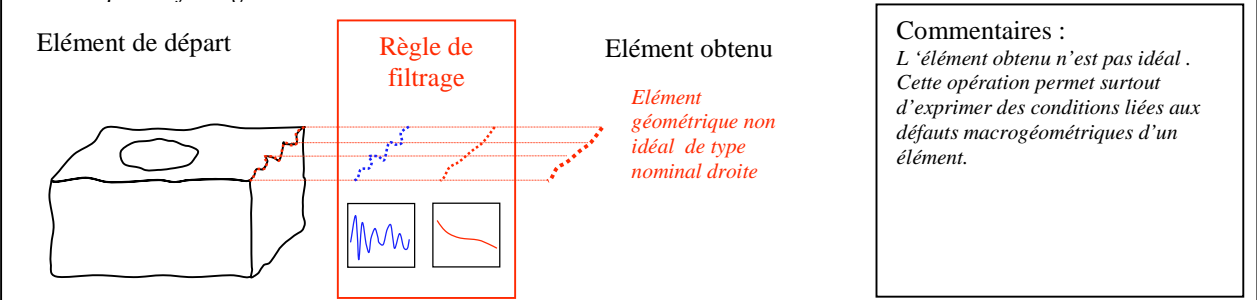
Exemple d'extraction



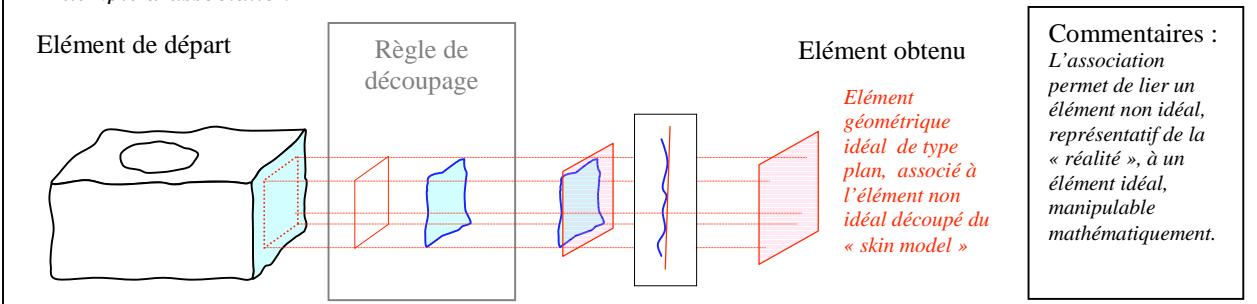
Exemple de découpage



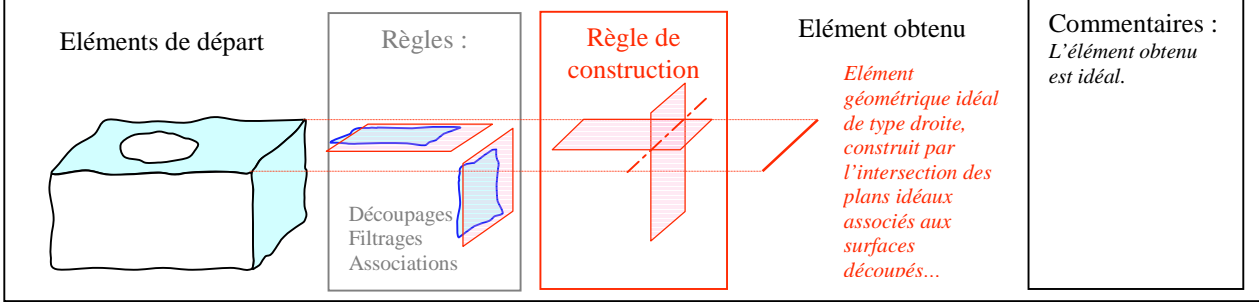
Exemple de filtrage



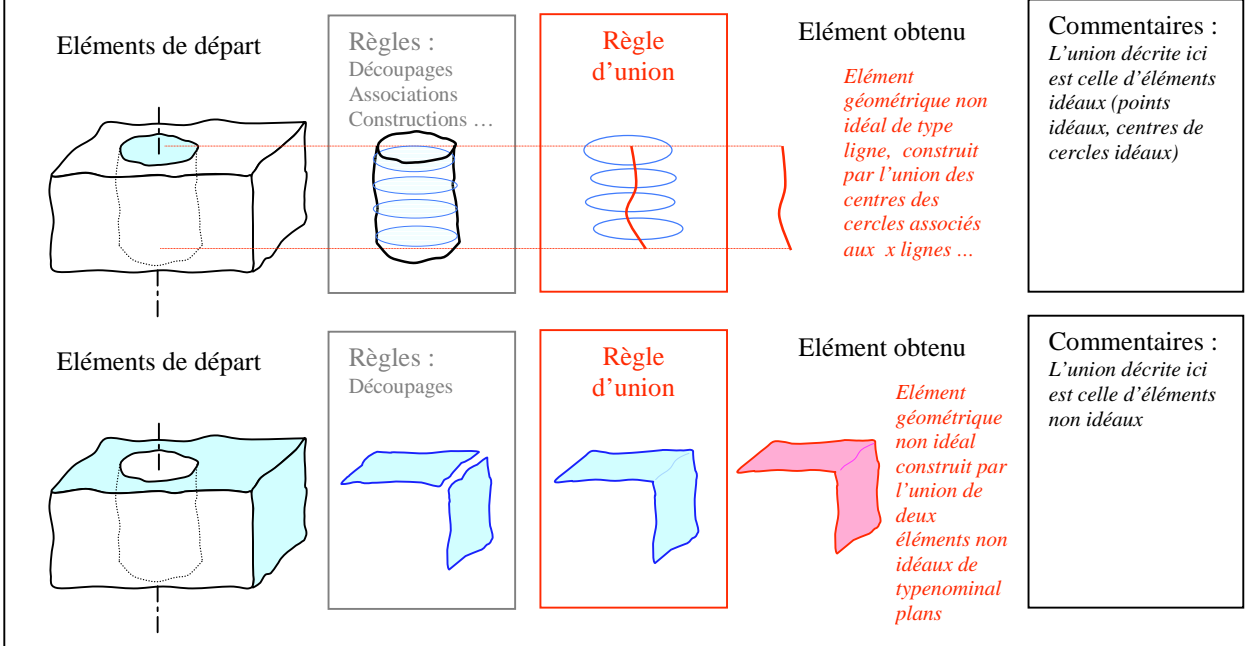
Exemple d'association



Exemple de construction



Exemples d'union d'éléments



4.3 Les caractéristiques des éléments géométriques idéaux

Les éléments géométriques idéaux vont permettre au technicien de manipuler des éléments de façon mathématique, en fonction de certaines de leurs caractéristiques. Ces manipulations seront donc précises, reproductibles et univoques, permettant ainsi d'atteindre l'objectif fixé.

Les éléments géométriques idéaux sont définis par :

- ⊕ **leur type** : qui permet de définir le caractère idéal ou non, limité ou non, associé ou non d'un élément (déjà présentés);
- ⊕ **leurs caractéristiques intrinsèques** : qui permet de définir un élément idéal simple (le diamètre et l'axe d'un cylindre par exemple) ;
- ⊕ **leurs caractéristiques de situation** : qui définissent la position et l'orientation des éléments de situation ;
- ⊕ **leur classe d'invariance** : qui permet de classer les surfaces en fonction des degrés de liberté qui ne modifient ni leur forme, ni leur position ;
- ⊕ **leurs éléments de situation** : qui servent à « placer » un élément dans l'espace .

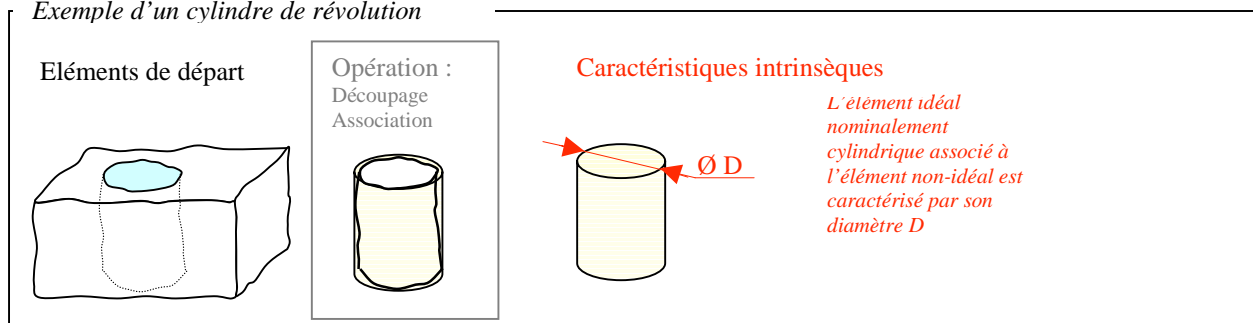
L'ensemble de ces caractéristiques permettent de créer un modèle géométrique juste, manipulable et que l'on pourra décrire de façon symbolique, à l'aide d'un code et d'un langage capable de transcrire les conditions fonctionnelles recherchées et d'élaborer des modèles de vérification correspondant aux spécifications visées.

4.31 Les caractéristiques intrinsèques d'un élément

C'est une (ou plusieurs) caractéristique qui est attachée à la définition d'un élément géométrique idéal « simple ».

Exemples d'éléments géométriques	Caractéristiques intrinsèques
Point :	<i>Aucun</i>
Sphère :	Diamètre.
Plan :	<i>Aucun</i>
Droite :	<i>Aucun</i>
Cylindre de révolution :	Diamètre.
Ligne hélicoïdale :	Pas de l'hélice et rayon.
Surface hélicoïdale à base de développante de cercle :	Angle d'hélice, angle de pression, rayon de base.
Cercle :	Diamètre.
Cône :	Angle au sommet.
Tore :	Diamètre de la directrice et de la génératrice de la ligne.
Prisme à base elliptique :	Longueurs du grand et du petit axe.
Prisme à base en développante de cercle :	Angle de pression, rayon de base.
Courbe elliptique :	Longueurs du grand et du petit axe.
Surface à pôles :	Position relative des pôles.

Exemple d'un cylindre de révolution



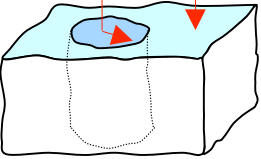
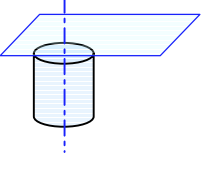
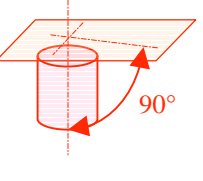
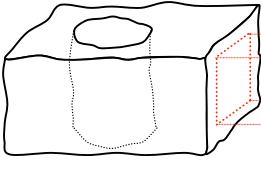
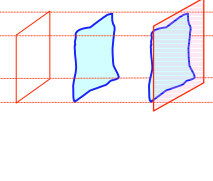

Ces dimensions ne permettant pas de positionner l'élément dans l'espace, il faut compléter cette caractéristique par d'autres permettant de définir la situation d'un élément idéal par rapport à un autre élément (idéal ou non-idéal).

4.32 Les caractéristiques de situation d'un élément

Ces caractéristiques s'appliquent :

- ⊕ entre des éléments idéaux et non-idéaux , pour positionner un élément extrait ou découpé , par exemple;
- ⊕ entre éléments idéaux, pour positionner un élément par rapport à un autre, en respectant les règles géométriques de positionnement spatial.

Exemples de caractéristiques de situation

<p>Eléments de départ</p> <p>Perpendicularité entre le trou et la face</p> 	<p>Opérations : Découpages Associations</p> 	<p>Caractéristique de situation</p> <p>La situation du cylindre est caractérisée par un angle de 90° entre l'axe du cylindre et le plan</p> 	<p>Commentaires : Caractéristiques de situation entre deux éléments idéaux.</p>
<p>Eléments de départ</p> 	<p>Opérations : Découpages Associations</p> 	<p>Caractéristique de situation</p> <p>La situation relative de l'élément associé et de l'élément découpé est définie par une fonction de type « Maximum de distance entre les points de l'élément non-idéal et le plan »</p> 	<p>Commentaires : Caractéristiques de situation entre un élément idéal et un non idéal.</p>

Les caractéristiques de situation entre les éléments idéaux se décomposent en caractéristiques d'orientation et de position. Le tableau ci-dessous montre que cela passe par deux formes particulières, soit :

- ⊕ une caractéristique d'angle, caractérisant la dimension angulaire entre deux éléments ;
- ⊕ une caractéristique de longueur, caractérisant la dimension linéaire entre deux éléments.

Caractéristiques de situation
<ul style="list-style-type: none"> • Caractéristiques d'orientation, dimension angulaire entre : <ul style="list-style-type: none"> ↔ Deux plans ↔ Droite et plan ↔ Deux droites • Caractéristiques de position, dimension linéaire entre : <ul style="list-style-type: none"> ↔ Deux points ↔ Un point et une droite ↔ Un point et un plan ↔ Deux droites ↔ Une droite et un plan parallèles ↔ Deux plans parallèles

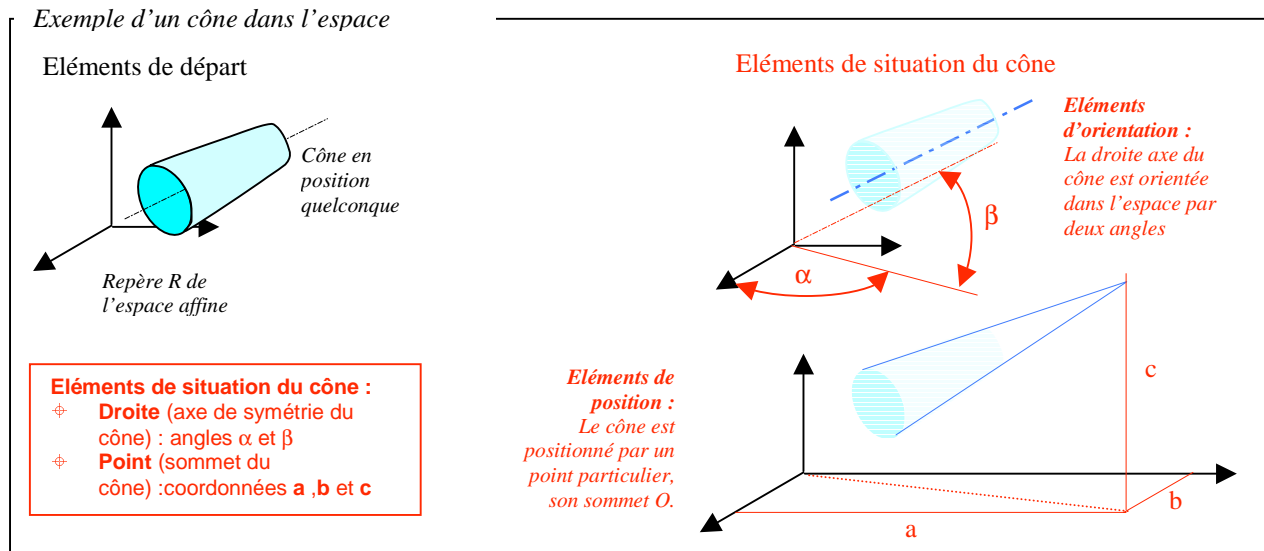
4.33 Les éléments de situation

Quatre éléments géométriques particuliers suffisent pour situer un élément dans l'espace :

- ⊕ Le point ;
- ⊕ La droite ;
- ⊕ Le plan ;
- ⊕ L'hélice.

Ces **éléments de situation** peuvent être utilisés seuls ou en commun, et permettent de définir l'orientation et la position d'éléments entre eux (qu'ils soient idéaux ou non), ou par rapport à un repère.

L'exemple ci-après illustre le cas d'un cône, situé complètement dans l'espace par deux éléments de situation, une droite (l'axe du cône) et un point (son sommet). L'autre caractéristique est intrinsèque (l'angle au sommet) et n'intervient pas dans la situation spatiale de l'élément.



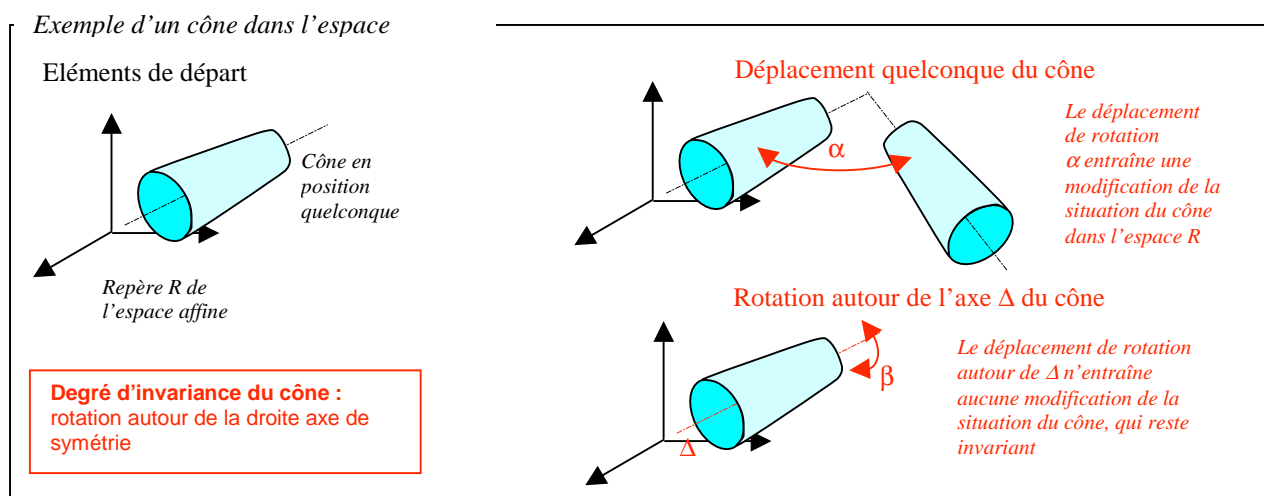
Le tableau ci-dessous présente des exemples classiques d'éléments de situation relatifs aux éléments géométriques les plus courants.

Eléments géométriques	Exemple d'éléments de situation.
Point :	Point.
Sphère :	Centre
Plan :	Plan
Droite :	Droite
Cylindre de révolution :	Axe de symétrie
Ligne hélicoïdale :	Hélice
Surface hélicoïdale à Base de développante de cercle :	Hélice
Cercle :	Plan contenant le cercle et le centre
Cône :	Axe de symétrie et sommet
Tore :	Plan contenant le tore et le centre
Prisme à base elliptique :	Plans de symétrie des axes
Prisme à base en développante de cercle :	Plans, axe de cylindre de base
Courbe elliptique :	Plan de l'ellipse et plans de symétrie
Surface à pôles :	Plans de définition des pôles

4.34 Les classes d'invariance d'un élément idéal

Lorsqu'un élément géométrique subit un mouvement dans l'espace affine, il peut :

- changer de position, de situation dans l'espace
- rester dans une situation inchangée malgré le mouvement.



Si, pour un déplacement donné, l'élément ne change pas on dit de ce mouvement particulier qu'il est un invariant de l'élément. Par exemple, la rotation d'un cylindre de révolution autour de son axe de symétrie est un **degré d'invariance** de l'élément cylindre de révolution, de même pour une translation le long de son axe.

Un degré d'invariance représente un déplacement que peut subir une surface sans que celle-ci soit changée dans sa forme ou dans sa situation dans l'espace.

Toute surface peut donc être classée en fonction des degrés de déplacements qui la laissent invariante en situation dans l'espace affine.

On distingue alors sept classes d'invariance correspondant à des types de déplacements classiques pouvant s'appliquer à des surfaces.

Classes d'invariance	Degré d'invariance
1. Quelconque	Aucun déplacement ne laisse l'élément invariant
2. Prismatique	Une translation le long d'une droite ou d'un plan.
3. Révolution	Une rotation autour d'une droite.
4. Hélicoïdale	Une rotation et Une translation combinées.
5. Cylindrique	Une rotation autour d'une droite et Une translation le long de cette droite.
6. Plane	Une rotation autour d'une droite perpendiculaire au plan et Deux translations le long de deux droites du plan.
7. Sphérique	Trois rotations autour d'un point.

4.35 Bilan sur les éléments idéaux

Les éléments idéaux sont obtenus par les opérations suivantes :

- ⊕ L'association, qui lie un élément idéal à un élément découpé du skin model ;
- ⊕ L'union, qui crée un ensemble idéal ou non à partir d'éléments idéaux ;
- ⊕ La construction, qui crée un élément idéal à partir d'éléments idéaux..

Les éléments idéaux sont définis par :

- ⊕ Un type (idéal, limité ou non, nominaux ou associés) ;
- ⊕ Une classe d'invariance, faisant appel à des caractéristiques, telles que :
 - ↳ des caractéristiques intrinsèques, propres à un élément ;
 - ↳ des caractéristiques de situation.
- ⊕ Des éléments de situation relatifs au positionnement des éléments dans l'espace.

Le tableau ci-dessous récapitule ces différentes caractéristiques.

Classe d'invariance	Eléments géométriques	Caractéristiques intrinsèques	Exemples d'éléments de situation.
Quelconque	Courbe elliptique. Surface à pôles.	Longueurs du grand et du petit axe. Position relative des pôles.	Plan de l'ellipse et plans de symétrie. Plans de définition des pôles.
Prismatique	Prisme à base elliptique. Prisme à base en développante de cercle	Longueurs du grand et du petit axe. Angle de pression, rayon de base.	Plans de symétrie des axes. Plans, axe de cylindre de base.
Révolution	Cercle. Cône. Tore.	Diamètre. Angle au sommet. Diamètre de la directrice et de la génératrice de la ligne.	Plan contenant le cercle et le centre. Axe de symétrie et sommet. Plan contenant le tore et le centre.
Hélicoïdale	Ligne hélicoïdale. Surface hélicoïdale à base de développante de cercle.	Pas de l'hélice et rayon. angle d'hélice, angle de pression, rayon de base.	Hélice. Hélice.
Cylindrique	Droite. Cylindre de révolution.	Aucun. Diamètre.	Droite. Axe de symétrie.
Plane	Plan.	Aucun	Plan
Sphérique	Point, Sphère	Aucun Diamètre.	Point. Centre.

5. Concepts de spécification par dimension et par zone

Le chapitre précédent montre pourquoi et comment le concept GPS propose de modéliser les éléments géométriques utiles à la définition mathématique des éléments spécifiés.

Il reste maintenant à expliquer comment ce concept propose de respecter une condition géométrique exprimant la condition fonctionnelle : c'est le domaine de la spécification.

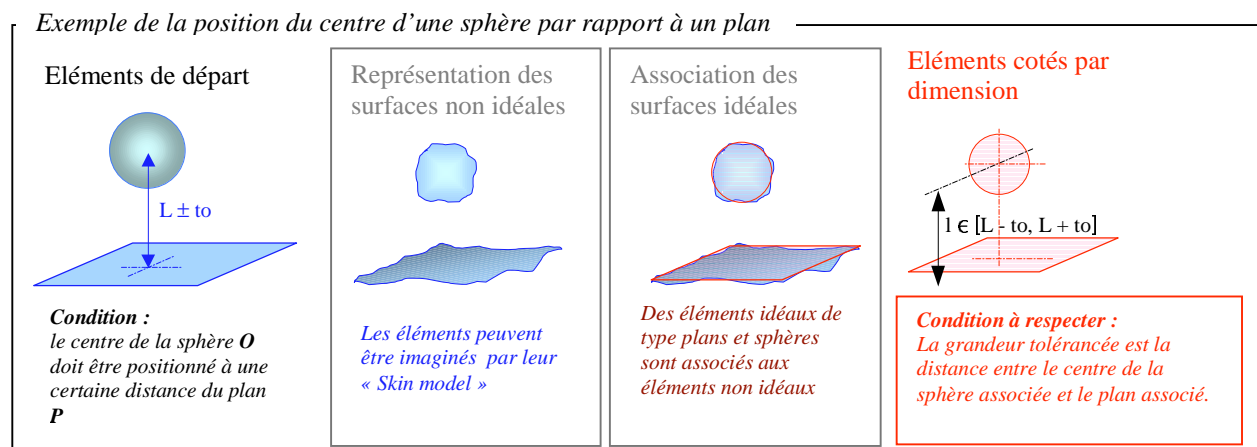
La spécification géométrique des produits, symbolisée GPS, consiste à définir, au travers d'un dessin de définition, la forme, les dimensions et les caractéristiques de surface d'une pièce qui en assurent un fonctionnement optimal, ainsi que la variation autour de cet optimal pour laquelle la fonction est toujours satisfaite.

La maîtrise de ces variations se fera selon deux méthodes ;

- ⊕ la spécification par dimension ;
- ⊕ la spécification par zone de tolérance.

5.1 La spécification par dimension

Principe : elle consiste à fixer les limites d'une grandeur de type longueur ou angle propre à un élément idéal ou entre les éléments idéaux.

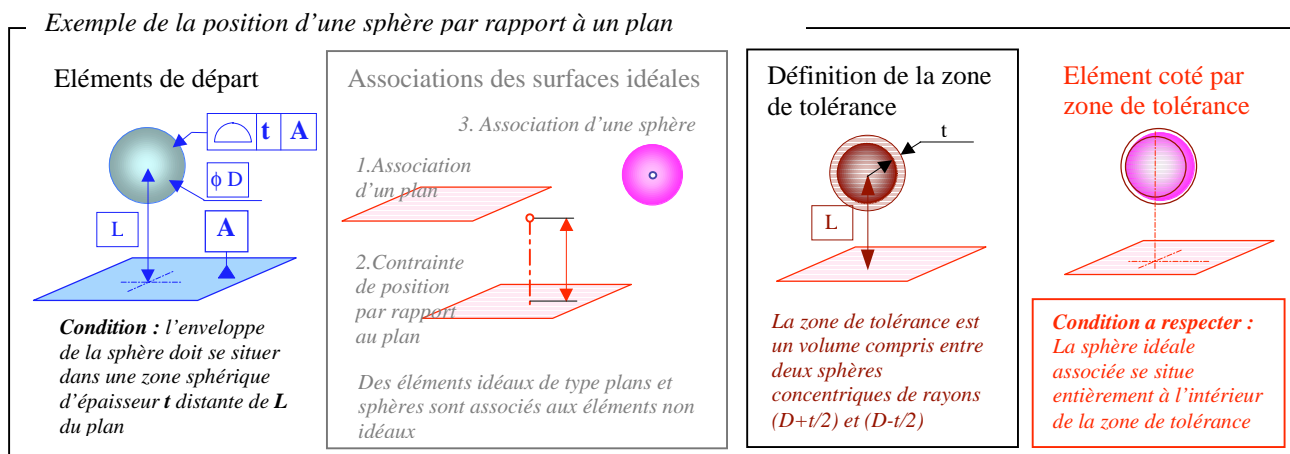


La grandeur indiquée dépend donc des règles d'association prescrites pour définir les éléments idéaux de type Plan et Sphère.

5.2 La spécification par zone de tolérance

Principe : Elle consiste à définir un espace, appelé « zone de tolérance », dans lequel doit se trouver un élément spécifié.

Cet espace est un volume (ou une surface) **limité par des surfaces idéales** (ou des lignes idéales).



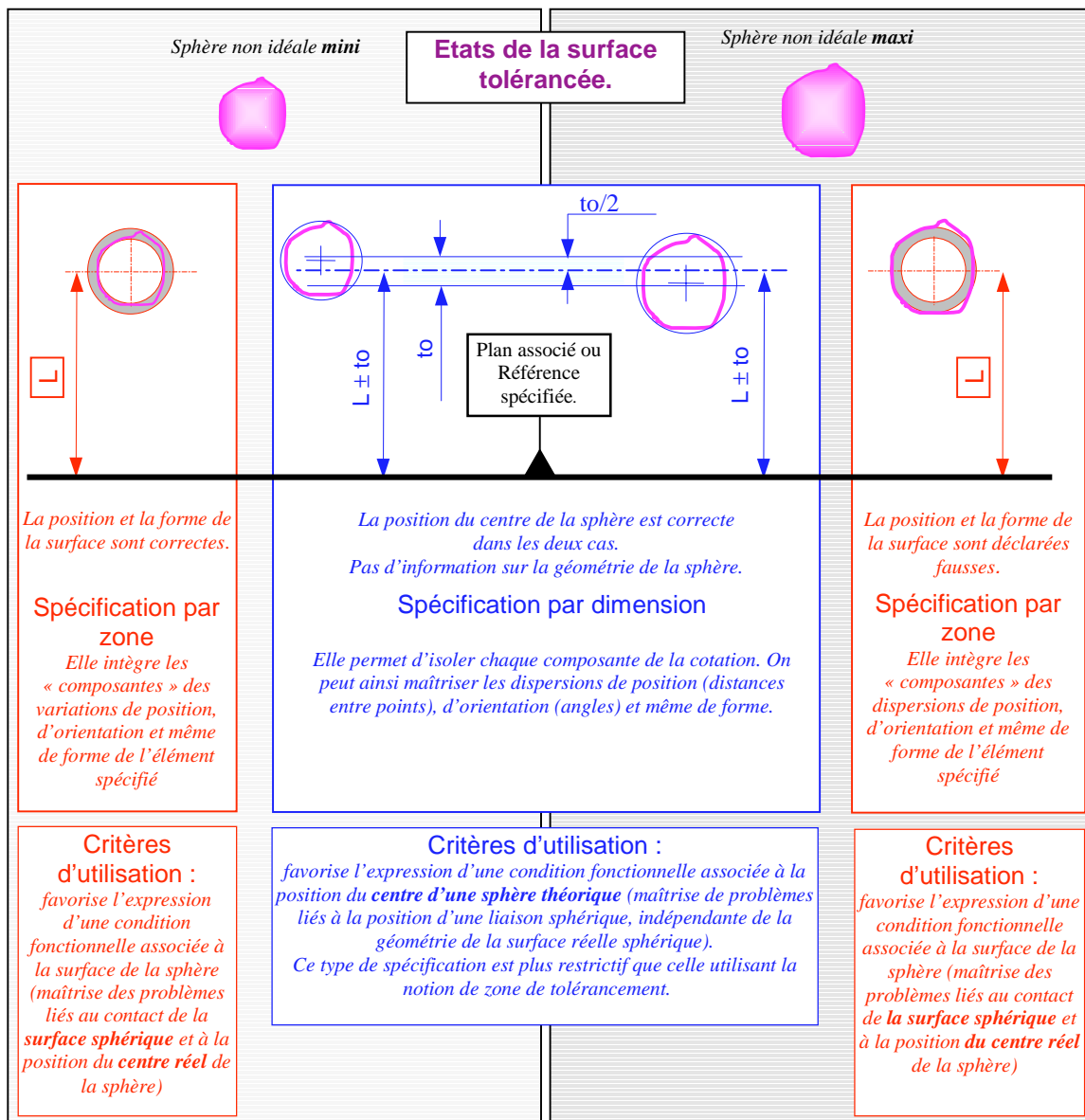
5.3 Comparaison des deux modes de spécification

Le schéma ci-dessous illustre les différences de signification entre les deux modes de spécification.

Il montre que, pour un même état, une contrainte peut être considérée comme respectée ou non et que les positions réelles des surfaces spécifiées peuvent être différentes dans l'espace, amenant des comportements fonctionnels qui peuvent être différents.

Il est donc essentiel d'exprimer clairement la condition fonctionnelle à respecter avant de choisir un mode de spécification qui la traduira le mieux possible.

L'exemple ci-dessous montre les différences entre ces deux types de cotation et le fait qu'elles n'expriment pas les mêmes besoins.



6. Coder de manière univoque la spécification

Après avoir :

- ⊕ défini des contraintes fonctionnelles,
 - ⊕ choisi le mode de spécification le mieux adapté,
 - ⊕ défini les procédures de création des éléments géométriques nécessaires à la définition d'une spécification,
- le technicien doit être capable de communiquer ces résultats avec l'ensemble de ces collègues, quelles que soient leurs cultures, leurs langues et leur environnement.

C'est par le biais de la création d'un langage symbolique, graphique, universel et univoque, connu au niveau mondial que cet objectif sera atteint, et c'est l'une des grandes ambitions du concept GPS selon la normalisation internationale ISO.

Les difficultés rencontrées dans cette mise en place sont de plusieurs ordres, soit :

- ⊕ proposer un langage symbolique fondé sur des symboles existants, connus de tous, mais dont la lecture, et l'interprétation, peut être différente des anciennes normes ;
- ⊕ proposer un modèle géométrique et mathématique stable, puissant, permettant de coder tous les cas possibles, même ceux qui ne sont pas envisagés par les normes... ce qui induit un modèle complexe, difficilement manipulable « à la main » et exigeant en formation professionnelle et initiale des acteurs, spécificateurs ou vérificateurs ;
- ⊕ proposer un langage de spécification susceptible d'être manipulé par les outils informatiques, qui sont de plus en plus utilisés et qui permettront de résoudre les calculs très complexes associés à la quantification des spécifications.

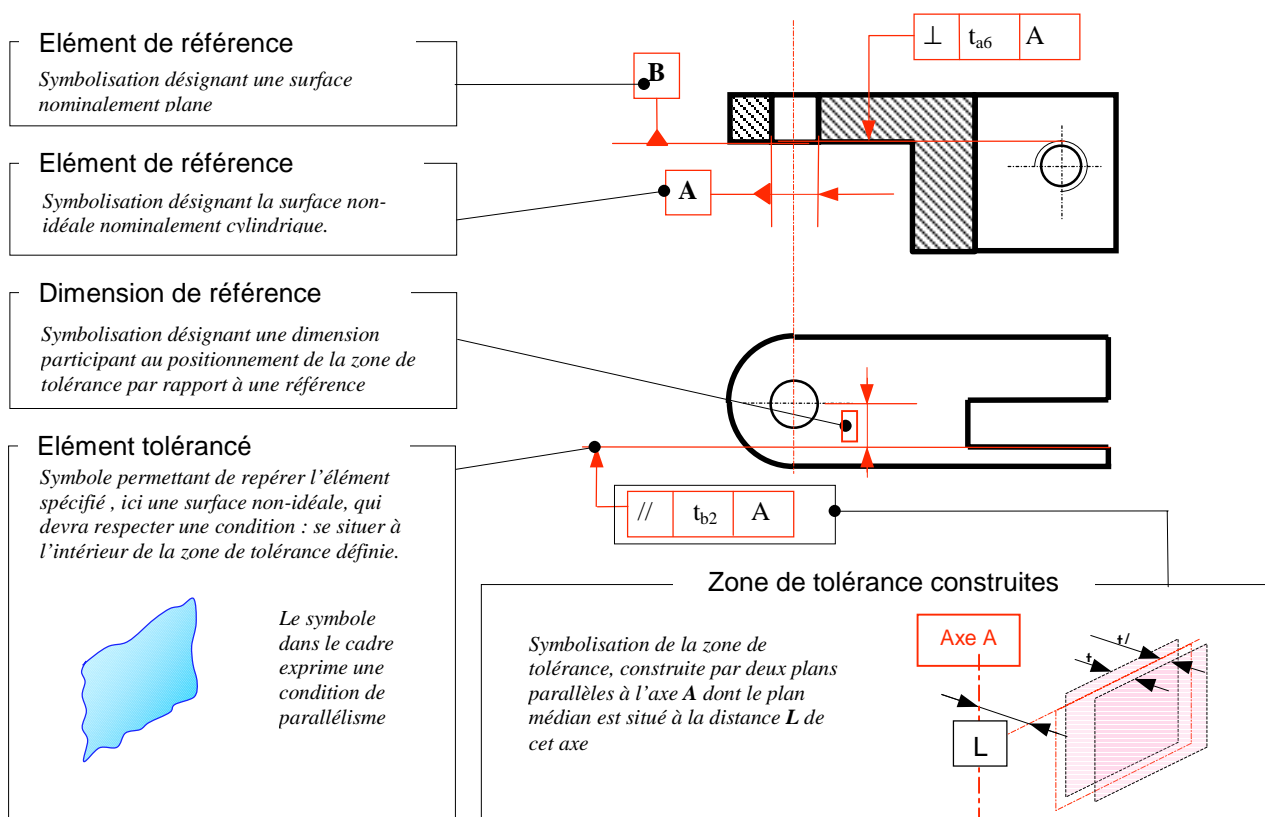
Toutes ces difficultés sont en train d'être étudiées et résolues, par des travaux de recherche universitaires et industriels, et il est fort probable que ces outils seront proposés, en tout ou partie, aux techniciens dans les prochaines années.

Ce jour, le comité de normalisation international (ISO) et national (UNM-AFNOR) ont adopté le principe du GPS et retenu le modèle géométrique présenté, dans ses grandes lignes, dans ce livret.

Il est donc important d'intégrer cet apprentissage de base dans la formation initiale des techniciens et des ingénieurs mécaniciens qui auront toujours, quel que soit leur fonction, à lire ou à écrire des spécifications (langage ISO) pour effectuer leurs tâches.

Langage ISO de codification

L'objectif de ce livret n'est pas de décrire précisément le langage symbolique adopté par l'ISO. Le lecteur trouvera dans les livrets 2 et 3 des renseignements plus complets sur ce travail fondamental. L'exemple ci-dessous présente simplement une cotation possible d'un élément de la charnière, en utilisant la symbolisation ISO et en commentant le langage symbolique utilisé.



Livret 2 :

Langage graphique
normalisé, syntaxe
et sémantique

SOMMAIRE

Sommaire	1	2-3 Tolérances géométriques	
2-1 Introduction au tolérancement normalisé		2-3-1 Introduction au tolérancement géométrique	5
Principe et exigences	2	2-3-2 Symboles	6
- Principe de l'indépendance		2-3-3 Eléments tolérancés	
- Exigences particulières:		- Généralités	7
- enveloppe		- Exemples	8
- maximum de matière		2-3-4 Références spécifiées	
- tolérance projetée		- Généralités	10
		- Exemples	11
2-2 Tolérances dimensionnelles		2-3-5 Zones de tolérances	
2-2-1 Tolérances linéaires	3	- Généralités	14
- avec principe de l'indépendance		- Exemples	14
- avec exigence de l'enveloppe		2-3-6 Synthèse	18
2-2-2 Tolérances angulaires	4		
		2-4 Ce qu'il ne faut pas écrire	18

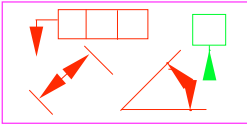
CONVENTIONS

Afin d'en faciliter leur lecture, les éléments graphiques ont été affectés de couleurs distinctives:

- éléments nominaux et skin-modèles ⇒ couleur noire en traits **épais**
- **spécifications d'éléments tolérancés et de zones de tolérance et signification** ⇒ **couleur rouge**
- **références spécifiées et signification** ⇒ **couleur verte**

Les termes non normalisés en relation avec le modèle de spécification *sont écrits en italique.*
(*skin modèle, élément non idéal, construit, uni, caractéristique de situation*)

Pour des informations plus complètes, il est vivement conseillé de consulter les normes et projets de normes cités dans cette partie.



2-1 INTRODUCTION AU TOLERANCEMENT NORMALISE

Le tolérancement normalisé définit un langage graphique dont:

- la **syntaxe** est constituée d'un ensemble de symboles et de règles d'écriture.
- la **sémantique** repose sur:
 - un principe
 - des exigences
 - des tolérances dimensionnelles
 - des tolérances géométriques

2-1-1 principe de l'indépendance

Chaque exigence dimensionnelle ou géométrique spécifiée sur un dessin doit être respectée en elle-même sauf indication particulière spécifiée.

[NF E 04-561], [ISO 8015]

Cela signifie que toutes les spécifications de dimension, de forme, d'orientation ou de position qui portent sur un élément ou ensemble d'éléments de la pièce, sont indépendantes.

En d'autres termes, il y a indépendance entre les dimensions des éléments et leur géométrie (forme, orientation, position).

2-1-2 exigences particulières

2-1-2-1 exigence de l'enveloppe

L'enveloppe de forme parfaite au maximum de matière ne doit pas être dépassée

[NF E 04-561], [ISO 8015]

Cette exigence est un moyen de limiter les écarts de forme d'un élément par une tolérance dimensionnelle en établissant une dépendance entre sa forme et sa dimension locale.

2-1-2-2 exigence du maximum de matière

L'exigence du maximum de matière se traduit par la mise en place d'une relation entre la dimension d'un élément et son orientation ou sa position.

Cette exigence est un moyen d'augmenter la tolérance d'orientation ou de position d'un élément ou d'un groupe d'éléments en fonction de la dimension des éléments concernés par la tolérance géométrique.

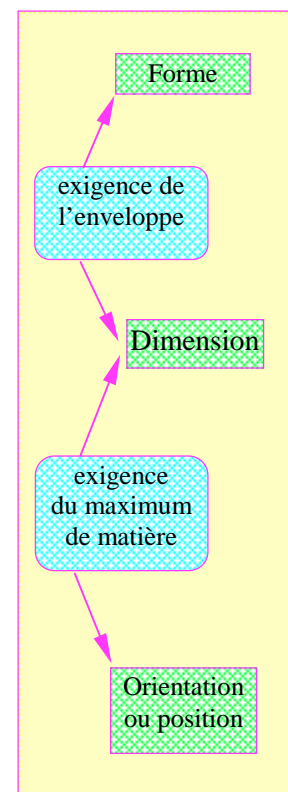
[NF E 04-555], [ISO 2692]

2-1-2-3 exigence de tolérance projetée

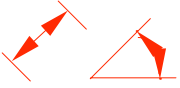
Cette exigence permet d'étendre l'élément tolérancé en dehors des limites de l'élément matériel.

2-1-2-4 exigence du minimum de matière

non normalisée en France



Introduction au GPS ⇔ Rapport Technique ISO/TR 14638:1995



2-2 TOLERANCES DIMENSIONNELLES

Les tolérances dimensionnelles portent sur des grandeurs de type longueur ou angle
[NF E 04-561], [ISO 8015]

2-2-1 tolérances linéaires

Une tolérance linéaire limite uniquement les dimensions locales réelles (distances entre deux points) d'un élément simple

- remarques:

- Actuellement, la tolérance linéaire est partiellement définie dans les normes pour deux figures géométriques appelées entités dimensionnelles:
 - une surface nominale cylindrique
 - deux surfaces nominale planes et parallèles
- par contre, la direction des bipoints n'est pas explicitée.
- Le projet de norme ISO 14660:1996 prévoit les entités dimensionnelles suivantes:
 - cylindre, sphère, deux surfaces parallèles opposées, cône, coin.

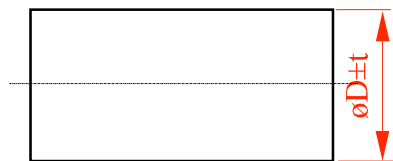
2-2-1-1 tolérances linéaires et principe de l'indépendance

- expression: $L \pm t$

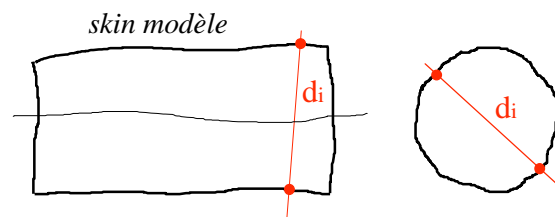
- condition de conformité:

Une pièce sera conforme si la valeur prise par les dimensions locales d_i se trouve à l'intérieur d'un intervalle défini par les tolérances.

- entité de type cylindre de révolution



expression du tolérancement

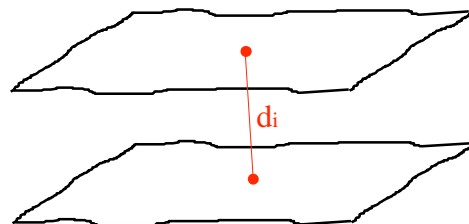


signification

- entité de type deux plans parallèles



expression du tolérancement



signification

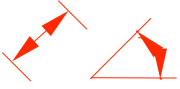
2-2-1-2 tolérances linéaires et exigence de l'enveloppe

- expression: $L \pm t \textcircled{E}$

- condition de conformité:

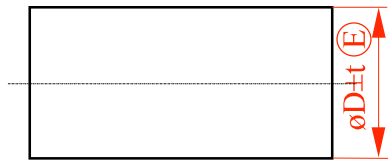
une pièce sera conforme si:

- la valeur prise par les dimensions locales d_i se trouve à l'intérieur de l'intervalle défini par les tolérances
- la dimension de l'enveloppe parfaite au maximum de matière n'est pas dépassée

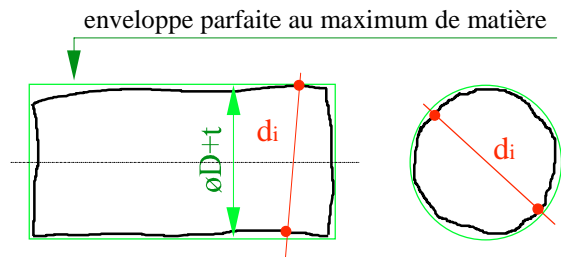


2-2 TOLERANCES DIMENSIONNELLES

- entité de type cylindre de révolution

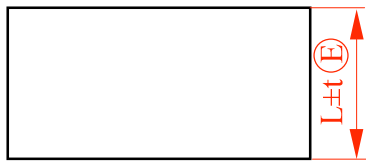


expression du tolérancement

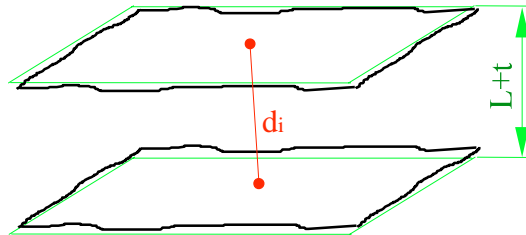


signification

- entité de type deux plans parallèles



expression du tolérancement



signification

2-2-2 tolérances angulaires

Une tolérance angulaire limite uniquement l'orientation générale des lignes ou des éléments linéaires des surfaces

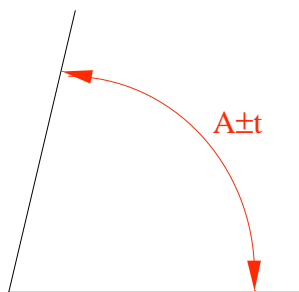
- remarques:

La tolérance angulaire est partiellement définie dans les normes pour deux droites d'un dièdre. Le plan dans lequel se trouvent les deux droites et le critère d'association des droites aux lignes réelles ne sont pas définis.

- expression: $A \pm t$

- condition de conformité:

Une pièce sera conforme si la valeur prise par la dimension **ai** se trouve à l'intérieur de l'intervalle défini par les tolérances.



expression du tolérancement



signification

Tolérances dimensionnelles générales \Rightarrow norme ISO 2768-1



2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

“Les tolérances géométriques limitent l'écart de l'élément réel (*non idéal*) par rapport à:

- sa forme
- son orientation
- sa position théoriquement exacte sans tenir compte de la dimension de l'élément” [ISO 8015]

Une tolérance géométrique comporte:

- des **éléments tolérancés**
- dans certains cas, une **référence spécifiée** ou un **système de références spécifiées** obtenu à partir **d'éléments de référence**
- des **zones de tolérances**

- remarque:

Les tolérances géométriques sont très riches en possibilités, cependant les normes qui les présentent n'expliquent pas toujours clairement les mécanismes d'expression et leur signification.

- expression:

Elles s'expriment par un cadre de tolérance à deux, trois, quatre ou cinq cases contenant:

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

case 1: le symbole de la tolérance

- forme
- orientation
- position
- battement

case 2: la dimension de la zone de tolérance

- éventuellement précédé d'un symbole modificateur $\Rightarrow \emptyset$ ou $S \emptyset$
- éventuellement suivi d'un symbole modificateur $\Rightarrow (M), (P)$

case 3: la référence spécifiée

- éventuellement suivi d'un symbole modificateur $\Rightarrow (M)$

case 3,4 et 5: le système de références spécifiées

Lorsque plusieurs spécifications s'appliquent à un même élément, les cadres de tolérances peuvent être disposés les uns en dessous des autres

	tp			
	to			
	tf			

- tolérance de position tp
- tolérance d'orientation to
- tolérance de forme tf

avec impérativement $tf < to < tp$

- définition des éléments géométriques (projet de norme Pr NF EN ISO 14660:1996)

Dessin	Pièce	Représentation de la pièce	
		extraction	association
Élément intégral nominal Élément dérivé nominal	Élément réel 	Élément extrait * Élément dérivé extrait	Élément associé Élément dérivé associé

* le point de vue de cette opération est métrologique. L'ensemble des points est fini, alors qu'en spécification, il devrait être infini.



2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

Types	Désignation	Élément tolérancé	Caractéristiques de la zone de tolérance	
			de situation	intrinsèques (écart tolérancé)
Forme				
	Rectitude	élément linéique nominalement rectiligne	aucune	∅ d'un cylindre distance entre 2 droites ou 2 plans
	Circularité	élément linéique nominalement circulaire	aucune	distance entre 2 cercles concentriques
	Forme d'une ligne quelconque	élément linéique	aucune	distance entre 2 lignes
	Planéité	élément surfacique nominalement plan	aucune	distance entre 2 plans parallèles
	Cylindricité	élément surfacique nominalement cylindrique	aucune	dist. entre 2 cylindres coaxiaux
	Forme d'une surface quelconque	élément surfacique	aucune	distance entre 2 surfaces
Orientation				
	Parallélisme	éléments linéiques nominalement rectilignes	angles	∅ d'un cylindre dist. entre 2 droites ou 2 plans
	Perpendicularité	éléments surfaciques nominalement plans		avec une référence spécifiée
	Inclinaison			
	Orientation d'une ligne quelconque	éléments linéiques	angles	distance entre 2 lignes ou 2 surfaces
	Orientation d'une surface quelconque	éléments surfaciques		avec une référence ou un système de référence spécifié
Position				
	Symétrie	éléments ponctuels, linéiq. nom. rectilignes, surfaiq. nom. plans	angles distances	dist. entre 2 dr. ou 2 plans
	Concentricité	éléments ponctuels	distance	∅ d'un cercle
	Coaxialité	éléments linéiques nominalement rectilignes	distance	∅ d'un cylindre
	Localisation	éléments ponctuels, linéiques, surfaciques	angles distances	∅ d'un cercle ou d'un cylindre dist. entre 2 droites ou 2 plans
	Position d'une ligne quelconq.	éléments linéiques		avec une référence spécifiée ou un système de références spécifiées
	Position d'une surface quelconque	éléments surfaciques		
Battement				
	Battement circulaire	éléments linéiques appartenant nominal. à un plan, cylindre, cône.	angles distances	distance entre 2 lignes distance entre 2 surfaces
	Battement total	élément surfaiq. nom. plans, cyl., coniques		avec une référence spécifiée ou un système de références spécifiées



2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

- Généralités:

Les éléments tolérancés sont des **éléments réels** (*non idéaux*), ponctuels, linéiques ou surfaciques [ISO 1101]

Les normes considèrent deux types d'éléments réels:

- les éléments directement extraits de la surface réelle de la pièce
- les éléments construits sur ces éléments extraits tels que:
 - l'axe réel (*non idéal*) nominalement rectiligne
 - la surface médiane réelle (*non idéale*) nominalement plane

La spécification géométrique s'applique:

- à un élément unique
- à un groupe d'éléments

- Exception:

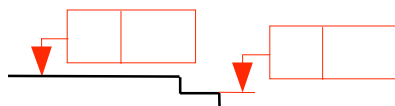
Application "tolérance projetée" ou l'élément tolérancé est un segment de droite, axe limité d'un cylindre. [NF E 04-558]

- Remarque:

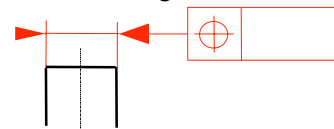
- les normes ne disent pas de manière explicite que les éléments tolérancés sont des éléments réels (*non idéaux*)
- lorsque les éléments tolérancés sont des lignes d'une surface, les normes ne définissent pas l'orientation des plans d'extraction des lignes

- Expression:

- Les éléments tolérancés sont désignés par la flèche qui relie le cadre de tolérance à en prolongement de la ligne de



pour désigner la surface

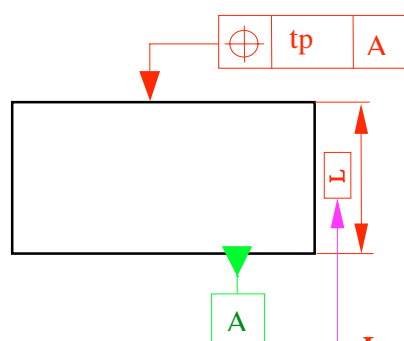


pour désigner l'axe réel ou la surface médiane réelle

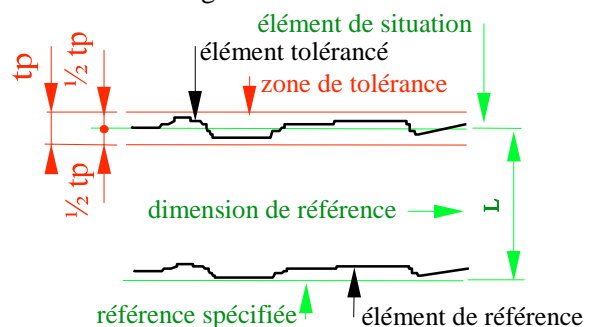
- Condition de conformité:

Une pièce sera conforme si l'élément (ou les éléments) tolérancé(s) se trouve(nt) à l'intérieur de la (ou des) zone(s) de tolérance.

expression du tolérancement



signification



Les dimensions de référence sont encadrées

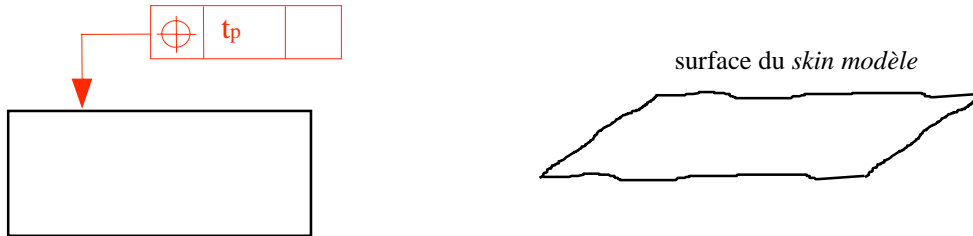
- Les dimensions de référence définissent exactement les *caractéristiques de situation* des éléments de situation de la zone de tolérance par rapport aux éléments de situation du système de référence.
- La largeur de la zone de tolérance est dans la direction de la flèche qui relie le cadre de tolérance à l'élément tolérancé, à moins que la valeur de la tolérance soit précédée du signe \emptyset .



2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

- Exemples:

Exemple 1: élément tolérancé unique, extrait, surface du *skin modèle* (non idéale) nominale plane

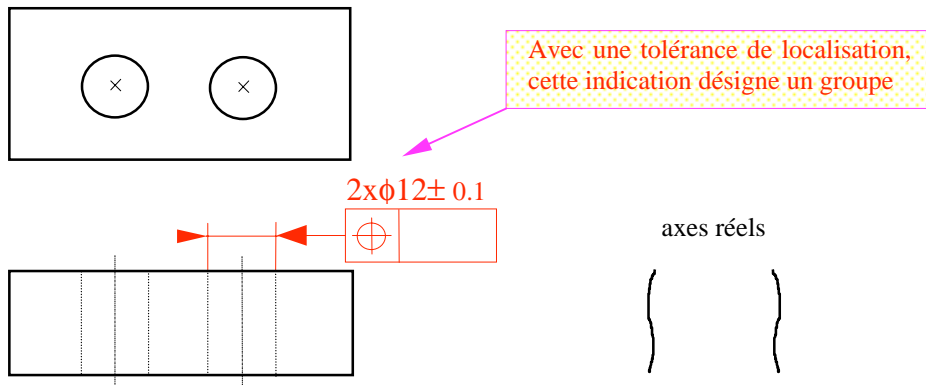


Exemple 2: élément tolérancé unique, *construit*, surface médiane réelle (non idéale) nominale plane

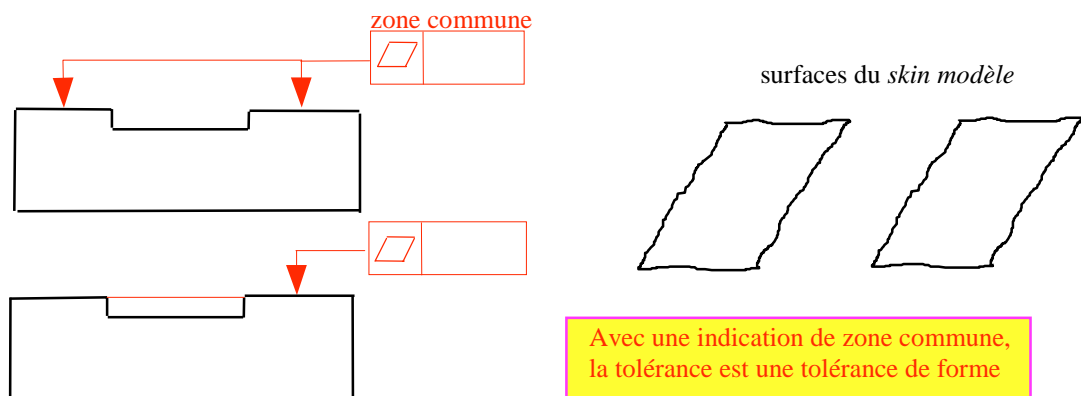


Le processus de construction de cette surface et de l'axe réel est actuellement à l'étude à l'ISO et au CEN.

Exemple 3: groupe d'éléments tolérancés, *construits et unis*, axes réels (non idéaux), lignes nominale rectilignes



Exemple 4: groupe d'éléments tolérancés, extraits, surfaces du *skin modèle* (non idéales) nominale planes





2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

Exemple 5: élément tolérancé unique, extrait, lignes du *skin modèle* (non idéales) nominalement rectilignes



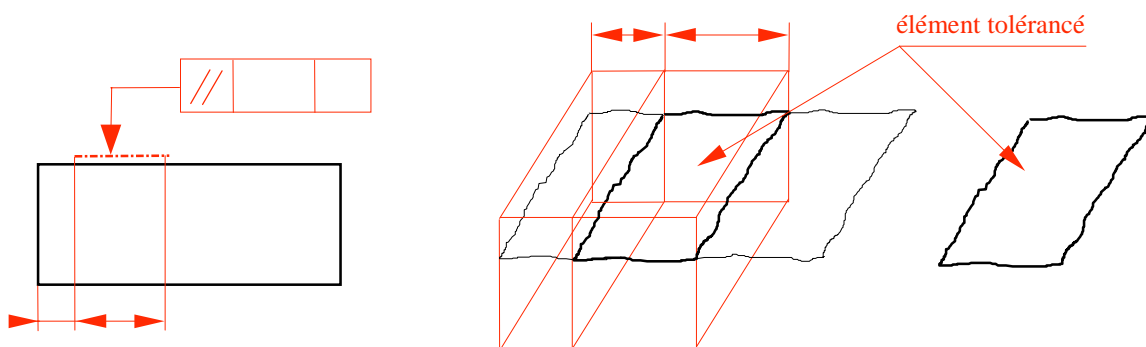
L'orientation des plans contenant les lignes n'est pas définie dans les normes.

Exemple 6: élément tolérancé unique, extrait, lignes du *skin modèle* (non idéales) nominalement circulaires

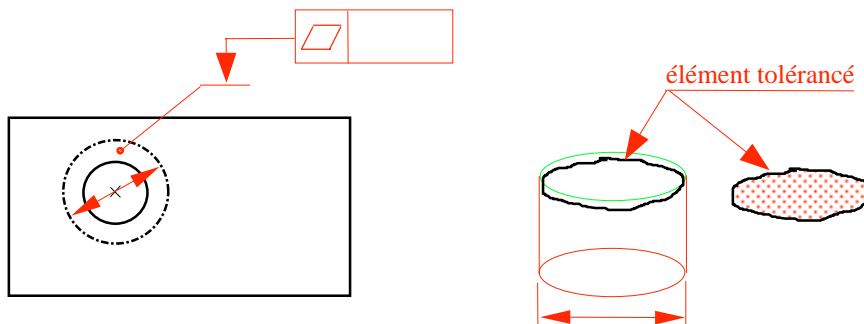


L'orientation des plans contenant les lignes n'est pas définie dans les normes.

Exemple 7: élément tolérancé unique, extrait, partie de la surface du *skin modèle* (non idéale) nominalement plane



Exemple 8: élément tolérancé unique, extrait, partie de la surface du *skin modèle* (non idéale) nominalement plane





2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

- Généralités:

- Élément de référence:

Un **élément de référence** est un élément réel (*non idéal*) extrait du *skin modèle*.

- Référence spécifiée:

La **référence spécifiée** est un **élément idéal** de type:

- **POINT**
- **DROITE**
- **PLAN**

Ces points, droites ou plans sont les éléments de situation de lignes ou de surfaces idéales **associées** aux **éléments de référence** (centre d'un cercle, centre d'une sphère, axe d'un cylindre, plan, ...) ou des éléments résultant d'une construction géométrique telle que intersection ou union des éléments de situation de surfaces idéales associées aux éléments de référence.

[NF E 04 554] [NF E 04 556] [NF E 04 557] [NF E 04 559] [ISO 1101]

L'opération d'association d'un élément idéal à un élément réel extrait se définit par un critère. Actuellement, le critère retenu est:

- tangent coté libre de la matière qui minimise le plus grand des écarts, en valeur absolue pour le plan
- plus grande ou plus petite caractéristique intrinsèque pour le cylindre

La référence spécifiée est qualifiée de:

- **simple**, si elle résulte d'une association d'un seul élément idéal à un seul élément de référence.
- **commune**, si elle résulte d'une association de plusieurs éléments idéaux simultanément à plusieurs éléments de référence.

- Système de références spécifiées:

Le **système de références spécifiées** est une suite ordonnée de deux ou trois éléments idéaux de type point, droite ou plan.

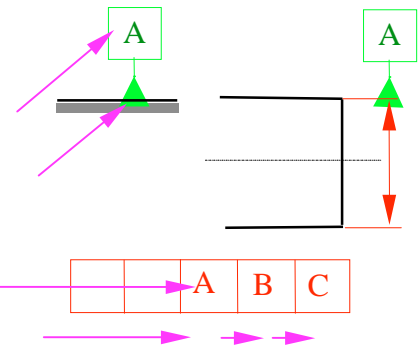
- le premier élément idéal est qualifié de référence primaire.
- le second élément idéal est qualifié de référence secondaire. Elle est contrainte en orientation par la référence primaire.
- le troisième élément idéal est qualifié de référence tertiaire. Elle est contrainte en orientation par les références primaire et secondaire.

- Remarques:

- les critères d'association des éléments idéaux aux éléments réels ne sont pas clairement définis dans les normes.
- les règles de construction des systèmes de référence ne sont pas écrites dans les normes. Il est par conséquent difficile de construire des systèmes de référence autres que ceux donnés en exemple dans les normes.

- Expression:

- les éléments de référence sont désignés par une lettre majuscule dans un cadre de référence
- ce cadre est relié à l'élément de référence par un trait terminé par un triangle noir ou non.
- la lettre majuscule est reportée dans le cadre de tolérance.
les références d'un système se lisent de la gauche vers la droite.

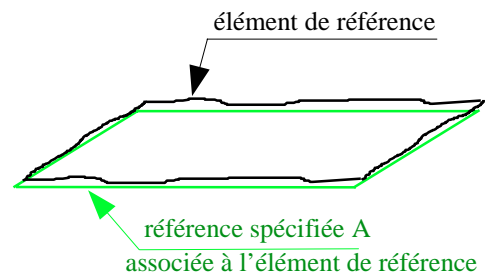
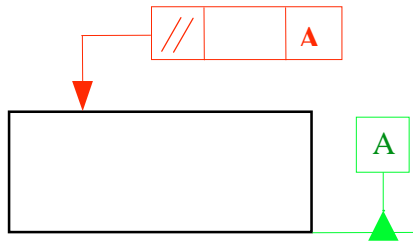




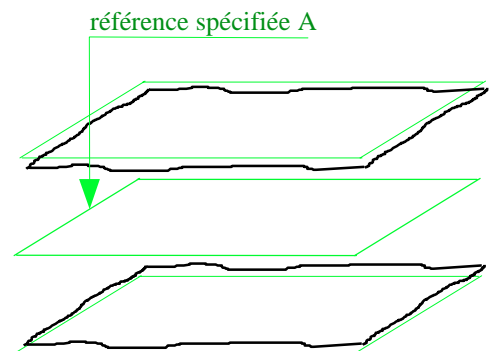
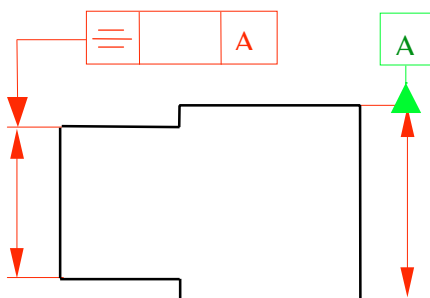
2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

- Exemples:

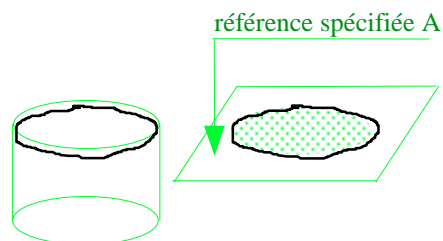
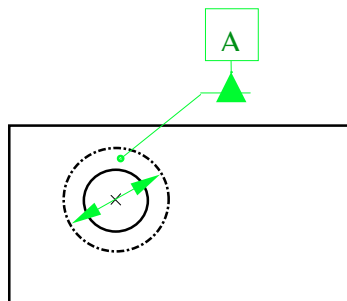
Exemple 1: référence spécifiée simple de type plan



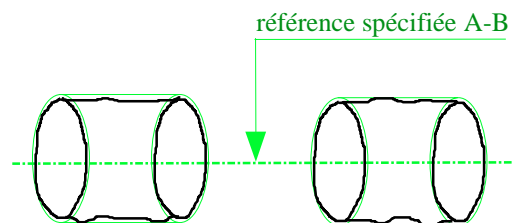
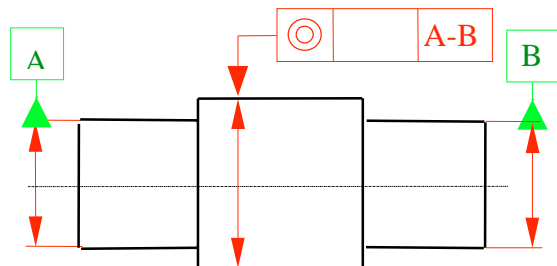
Exemple 2: référence spécifiée simple, plan médian de deux plans parallèles



Exemple 3: référence spécifiée simple, de type plan, définie sur une partie d'un élément



Exemple 4: référence spécifiée commune, de type droite, axe de deux cylindres coaxiaux

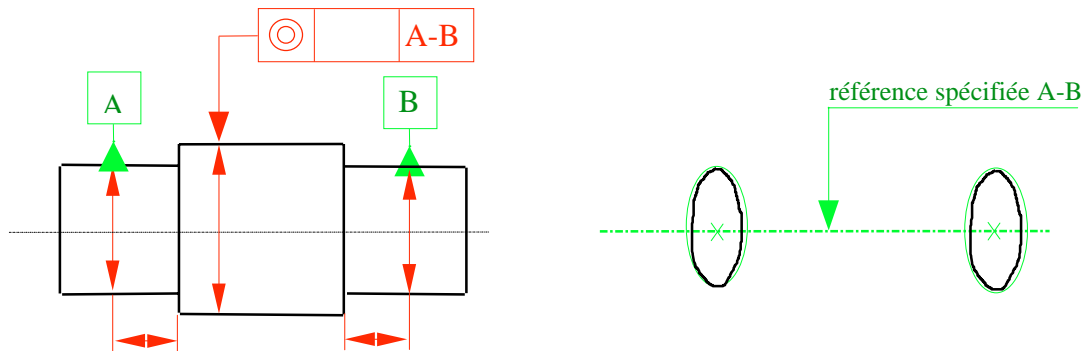


La référence spécifiée est le résultat de l'association de deux cylindres aux éléments de référence (cylindres de révolution) suivant un critère.
Les axes des deux cylindres sont contraints à être coaxiaux.



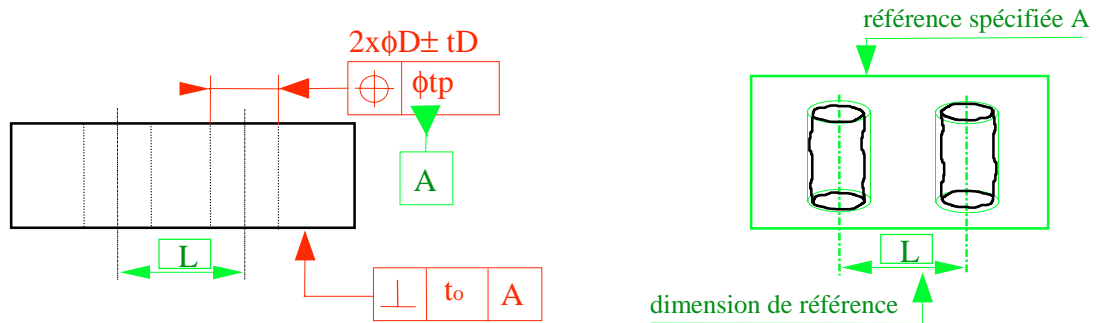
2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

Exemple 5: référence spécifiée commune, de type droite, passant par deux points



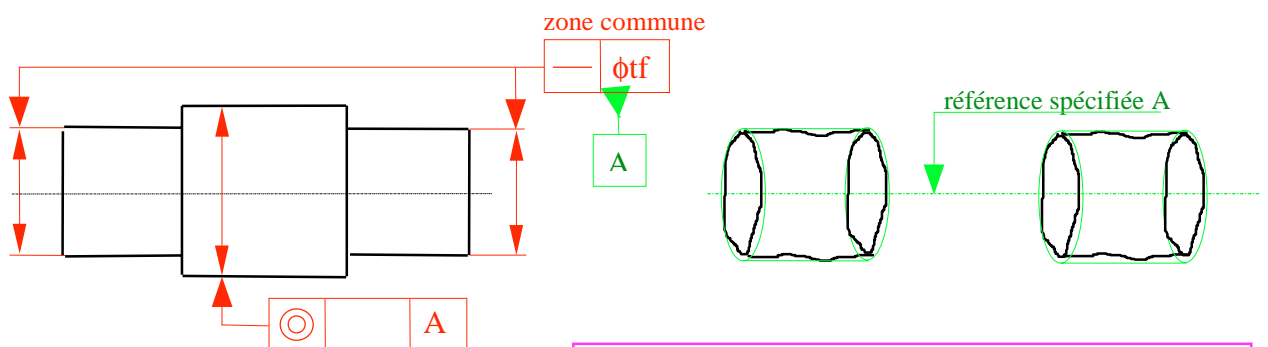
La référence spécifiée est le résultat de l'association de deux cercles aux éléments de référence (lignes nominalement circulaires) suivant un critère. Les centres des deux cercles définissent le droite de référence.

Exemple 6: référence spécifiée de type plan, obtenue sur un groupe d'éléments tolérancés



La référence spécifiée est le résultat de l'association de deux cylindres aux éléments de référence (surfaces nominalement cylindriques) suivant un critère. Les deux cylindres sont contraints à avoir leurs axes parallèles (dimension de référence implicite ou *caractéristique de situation*) et distants de L (dimension de référence explicite).

Exemple 7: référence spécifiée de type droite, obtenue sur un groupe d'éléments tolérancés



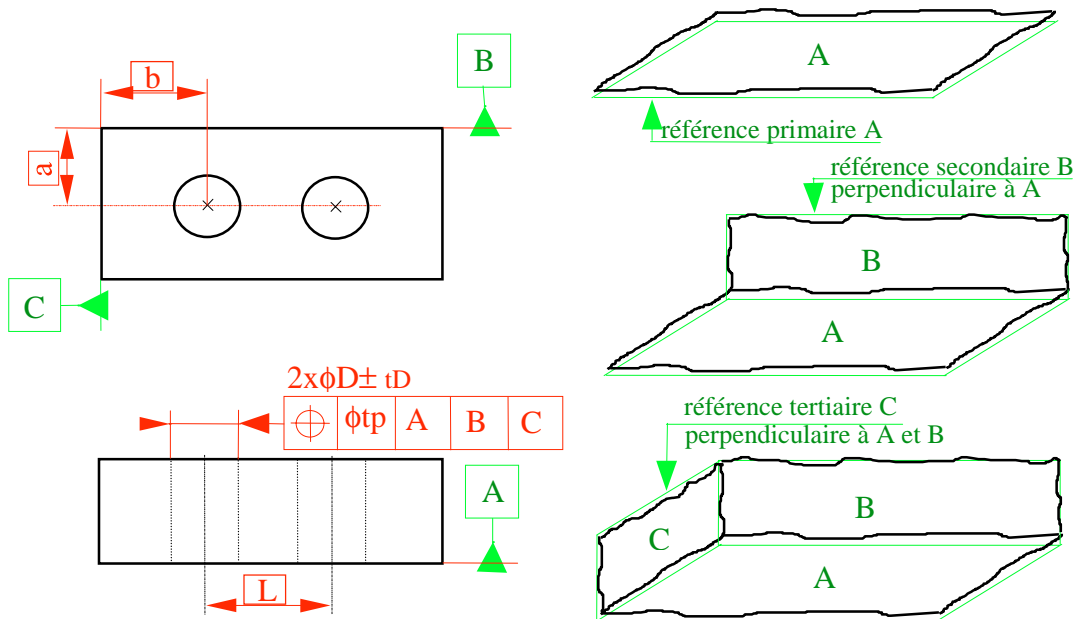
La tolérance en zone commune est une tolérance de forme

La référence spécifiée est le résultat de l'association de deux cylindres aux éléments de référence (surfaces nominalement cylindriques) suivant un critère. Les deux cylindres sont contraints à avoir leurs axes coaxiaux (dimension de référence implicite).



2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

Exemple 8: système de références spécifiées, trois plans perpendiculaires



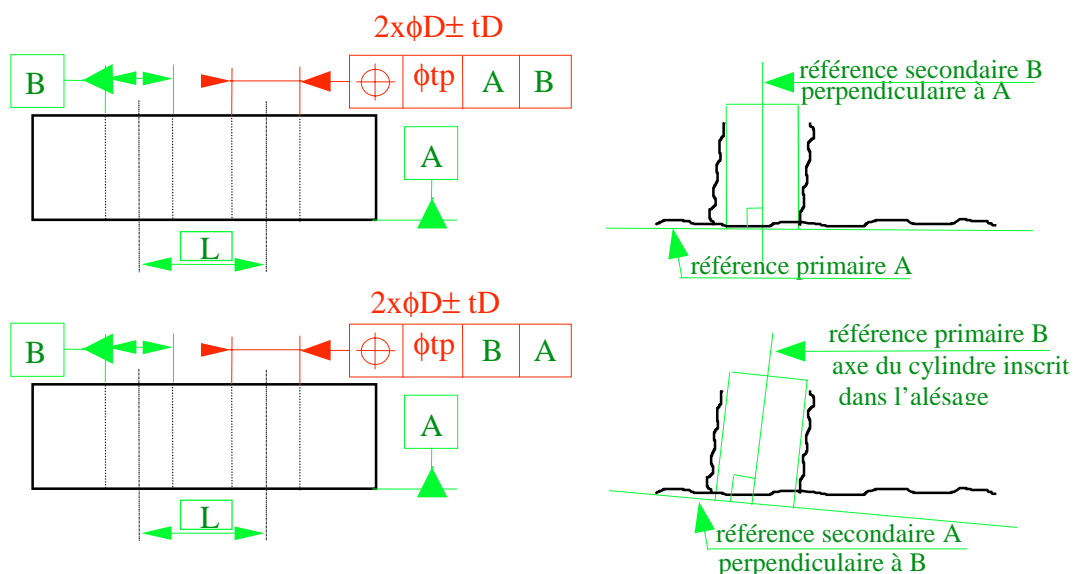
Le système de références spécifiées est le résultat de l'association ordonnée de trois plans idéaux aux éléments de référence suivant un critère.

La référence secondaire est contrainte à être perpendiculaire à la référence primaire (dimension de référence implicite).

La référence tertiaire est contrainte à être perpendiculaire aux références primaire et secondaire (dimensions de référence implicites).

Exemple 9: système de références spécifiées constitué d'un plan et d'une droite perpendiculaire

influence de l'ordre d'inscription des références dans le cadre de tolérance





2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

- Généralités:

Les zones de tolérance sont des espaces de nature volumique ou surfacique limités respectivement par un ou plusieurs éléments géométriques idéaux de nature surfacique ou linéique

[ISO 1101] [ISO 1660] [ISO 2692] [ISO 3040] [ISO 5458]

La zone de tolérance est qualifiée de:

- **unique**, si elle est appliquée à un seul élément tolérancé
- **composée**, si elle est appliquée à un groupe d'éléments tolérancés

La forme de la zone de tolérance dépend:

- du type nominal de l'élément tolérancé
- du modificateur se trouvant devant la valeur de la tolérance: (ϕ , $s\phi$)

La zone de tolérance peut être modifiée par:

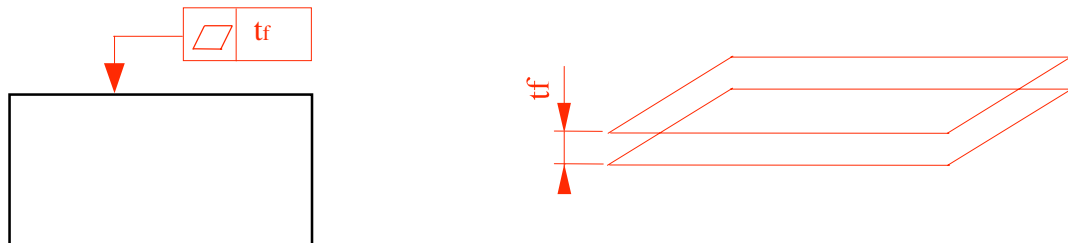
- une exigence de maximum de matière pour sa dimension \Rightarrow modificateur \textcircled{M}

Chaque zone de tolérance est caractérisée par une dimension linéaire dont la valeur est appelée tolérance

L'état virtuel est celui de l'enveloppe limite de forme parfaite permis par les exigences du dessin pour l'élément. Il est généré par l'effet collectif de la dimension au maximum de matière et des tolérances géométriques. [ISO 2692]

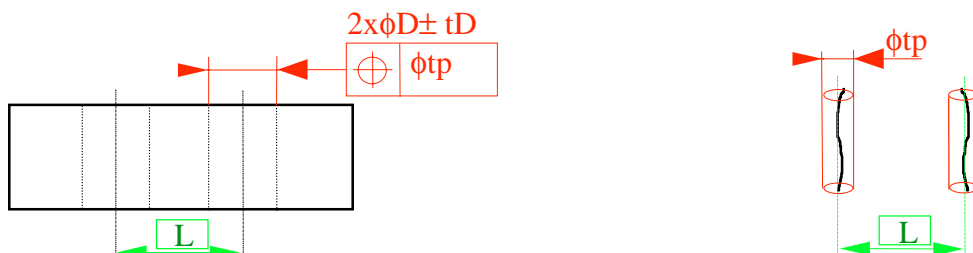
- Exemples:

Exemple 1: Zone de tolérance simple

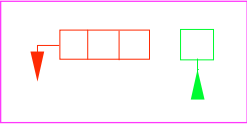


- volume limité par deux plans parallèles
- distants de t_f
- non contraints en situation par des références (vrai pour toutes les tolérances de forme)

Exemple 2: Zone de tolérance composée de deux zones simples

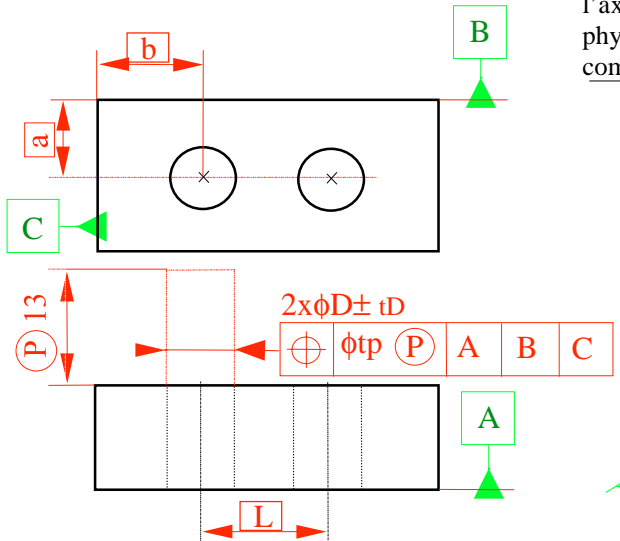


- volume limité par un cylindre de révolution pour chaque zone:
 - de diamètre t_p
 - non contraint en situation par des références
- la situation relative de ces zones est établie par des dimensions de référence explicites (L) et implicites (//) établies entre les éléments de situation de chaque zone.

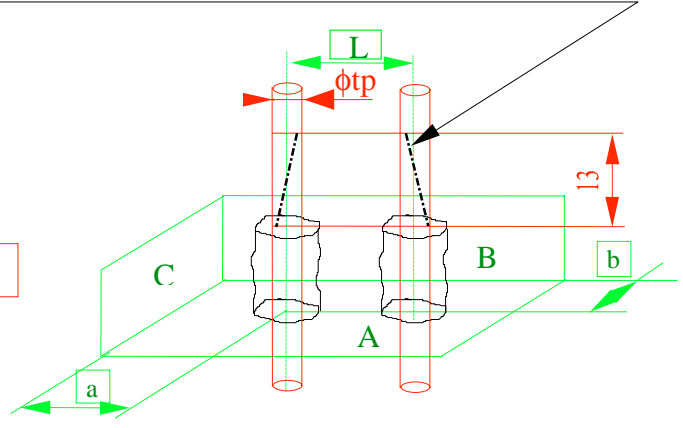


2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

Exemple 3: Zone de tolérance projetée composée de deux zones simples

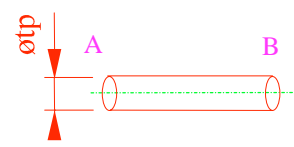
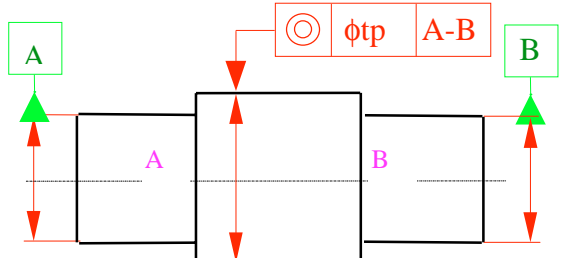


l'axe réel ne peut être que rectiligne à l'extérieur de l'étendue physique de l'élément mais les normes ne disent pas comment il est défini



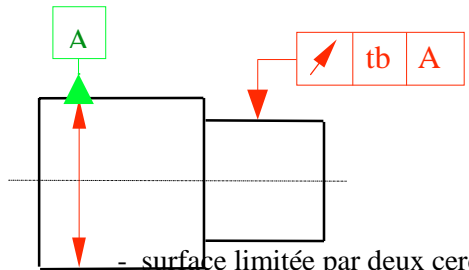
- volume limité par un cylindre de révolution pour chaque zone
 - de diamètre ϕ_{tp}
 - de longueur 13 mm
- dont l'orientation de l'axe est contrainte à être perpendiculaire à A
(dimension de référence implicite)
- dont la position des axes est contrainte par a et b par rapport à B et C
(dimensions de référence explicites)

Exemple 4: Zone de tolérance simple

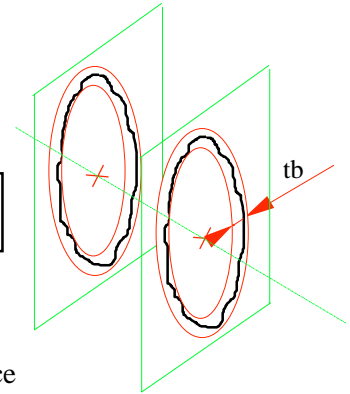


- volume limité par un cylindre de révolution
 - de diamètre ϕ_{tp}
 - dont l'axe est contraint à être coaxial à la droite de référence
(dimensions de référence implicites)

Exemple 5: Zone de tolérance simple



toutes les lignes de la surface sont concernées

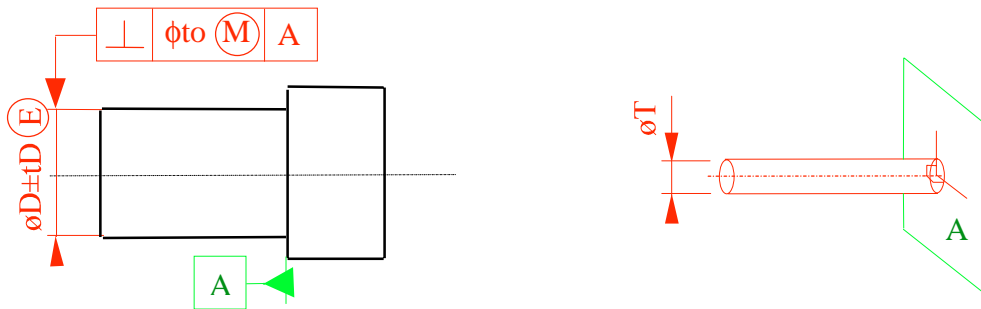


- surface limitée par deux cercles concentriques
 - de différence de rayon t_b
 - dont le centre se trouve sur la droite de référence
 - contenue dans un plan contraint à être perpendiculaire à la droite de référence (dimension de référence implicite)



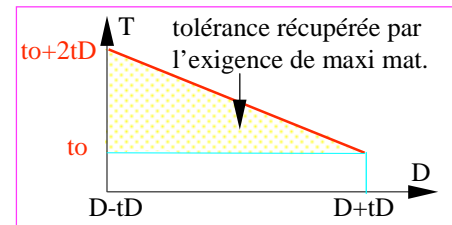
2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

Exemple 6: Zone de tolérance simple avec exigence de maximum de matière



Zone de tolérance:

- volume limité par un cylindre de révolution:
 - de diamètre T
 - dont l'orientation de l'axe est contrainte à être perpendiculaire à A (dimension de référence implicite)
- dont la valeur de la tolérance est:
 - $T = t_0$ si l'élément toléré est dans son état maximal de matière ($D+tD$)
 \Rightarrow symbole (M)
 - $T = t_0 + 2tD$ si l'élément toléré est dans son état minimal de matière ($D - tD$)
 - entre ces deux états, T varie linéairement



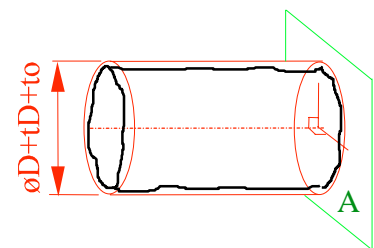
Interprétation d'un point de vue fonctionnel:

Cette spécification peut concerner une condition de montage de cette pièce avec une pièce voisine.

Elle se traduit par la définition d'une enveloppe de forme parfaite dans sa dimension virtuelle qui ne doit pas être dépassée.

Dans le cas de cet exemple:

- L'enveloppe de forme parfaite est un cylindre de révolution. Sa dimension virtuelle est égale à la dimension au maximum de matière $D+tD$ augmentée de la valeur de la tolérance géométrique t_0 , soit $D+tD+t_0$.
- Comme il s'agit d'une tolérance de perpendicularité, l'élément de situation de l'enveloppe est contraint à être perpendiculaire au plan de référence A.
- La condition est que l'élément toléré doit se trouver à l'intérieur de l'enveloppe.

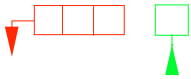


De plus ici, l'exigence de l'enveloppe (E) est associée à l'exigence du maximum de matière.

Interprétation d'un point de vue fabrication et métrologie:

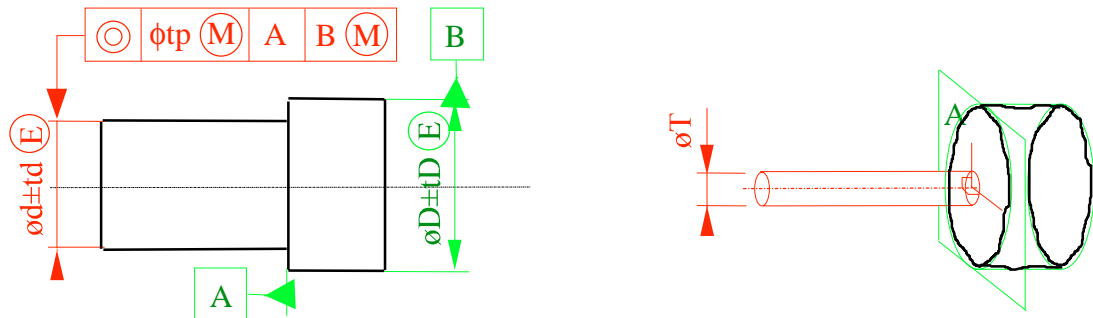
L'exigence du maximum de matière permet:

- d'augmenter les tolérances lors du processus de fabrication (voir diagramme)
- de permettre le contrôle à l'aide d'un calibre défini à partir de l'état virtuel de l'élément.



2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

Exemple 7: Zone de tolérance simple avec exigences de maximum de matière



Zone de tolérance:

- volume limité par un cylindre de révolution
 - de diamètre T
 - dont la situation de l'axe est contrainte à être coaxiale à B
(dimensions de référence implicites)
- dont la valeur de la tolérance est:
 - $T = t_p$ si l'élément toléré et l'élément de référence sont dans leur état maximal de matière
 - $T = t_p + 2t_d + 2t_D$ si l'élément toléré et l'élément de référence sont dans leur état minimal de matière
- avec la référence B contrainte à être perpendiculaire à la référence A

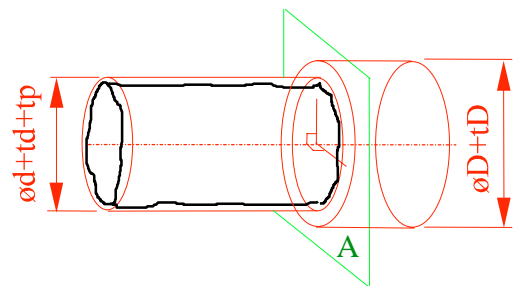
Interprétation d'un point de vue fonctionnel:

Cette spécification peut concerner une condition de montage de cette pièce avec une pièce voisine.

Elle se traduit par la définition d'une enveloppe de forme parfaite dans sa dimension virtuelle qui ne doit pas être dépassée.

Dans le cas de cet exemple:

- L'enveloppe de forme parfaite est un cylindre de révolution. Sa dimension virtuelle est égale à la dimension au maximum de matière $d+t_d$ augmentée de la valeur de la tolérance géométrique t_p , soit $d+t_d+t_p$
- Comme il s'agit d'une tolérance de coaxialité, l'élément de situation de l'enveloppe est contraint à être coaxial à la droite de référence B.
- La droite de référence B est l'axe d'un cylindre contraint à être perpendiculaire à la référence primaire, plan A. Le diamètre du cylindre est imposé à une valeur égale à la dimension au maximum de matière, soit $D+t_D$
- La condition est que l'élément toléré doit se trouver à l'intérieur de l'enveloppe.



Tolérances géométriques générales \Rightarrow norme ISO 2768-2

2-3 TOLERANCES GEOMETRIQUES

Symbole de la tolérance géométrique

Éléments tolérancés

éléments non idéaux:

- lignes, surfaces
- éléments extraits: lignes, surfaces
- éléments "réels": axes, plans médians
- éléments unis

Zones de tolérance

éléments idéaux:

- Surface ou volume
 - t
 - ϕ t
 - s ϕ t
- unique
- composée




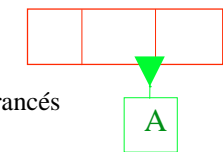
tf: tol. de forme
to: tol. d'orientation
tp: tol. de position
tb: tol. de battement

Exigences

- (M) Maximum de matière
- (P) Tolérance projetée
- (L) Minimum de matière

Systèmes de références

éléments idéaux

- simple 
- commune 
- système 
- référence sur un groupe d'éléments tolérancés 

Groupe d'éléments tolérancés
nombre et dimension

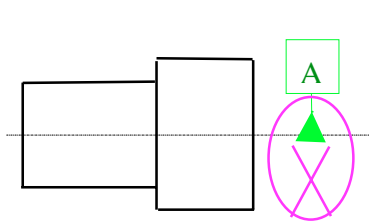
Éléments de référence:
éléments non idéaux:

- simples
- multiples

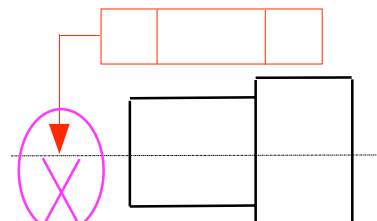
$2x\phi D \pm tD$



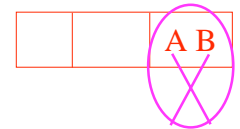
2-4 CE QU'IL NE FAUT PAS ECRIRE



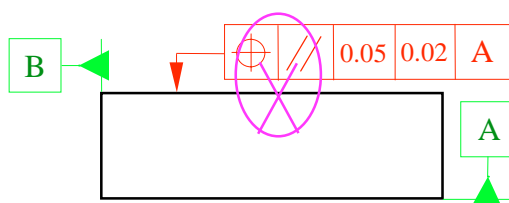
Quelle référence spécifiée?



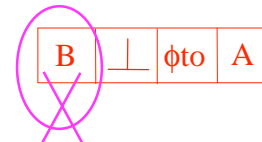
Quel élément tolérancé?



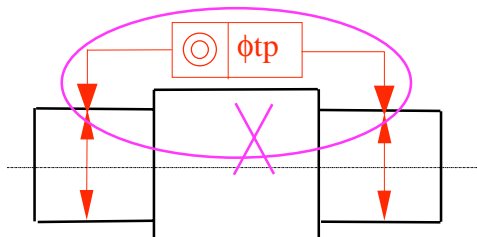
système de références spécifiées non ordonné
⇒ en cours de suppression



une seule caractéristique par cadre



L'indication de l'élément tolérancé ne doit pas apparaître dans le cadre de tolérance.
NF E 04 553 (déc 1984)



expression tolérée mais ne faisant pas apparaître clairement la double exigence.

Livret 3 :

Exercices de lecture
de spécifications

Exercices d'écriture
de spécifications

Le Tolérancement Normalisé

Application
à

LA LECTURE DES SPECIFICATIONS

Cette phase de l'approche du Tolérancement Normalisé constitue la première mise en application complète des concepts présentés au préalable.

OBJECTIF :

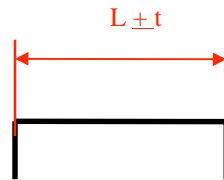
Il s'agit de pouvoir reconnaître sur un document de définition d'un produit les spécifications qui y sont portées et de savoir expliciter de façon claire et univoque les diverses données attachées à chacune de ces spécifications.

PRESENTATION :

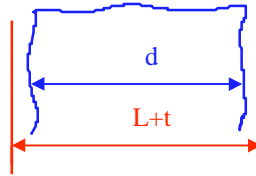
Après le rappel synthétique des 2 concepts du tolérancement et des terminologies utilisées, un tableau dénommé « Grille de Traitement » apparaît. Cette grille, non normalisée, est un outil pédagogique facilitant l'analyse méthodique des spécifications par zone de tolérance.

Une série d'exercices de lecture vous est ensuite proposée. Cette série a été élaborée afin d'exploiter de manière progressive mais non exhaustive les savoirs essentiels préalablement acquis. Chacun des exercices est accompagné d'une proposition de corrigé.

SPECIFICATION PAR DIMENSION



Toute distance locale d doit être comprise entre $L-t$ et $L+t$



L'exigence éventuelle de l'enveloppe (E) impose au Skin Modèle de se situer dans un espace de dimension $L+t$



CONCEPTS du TOLERANCEMENT NORMALISE

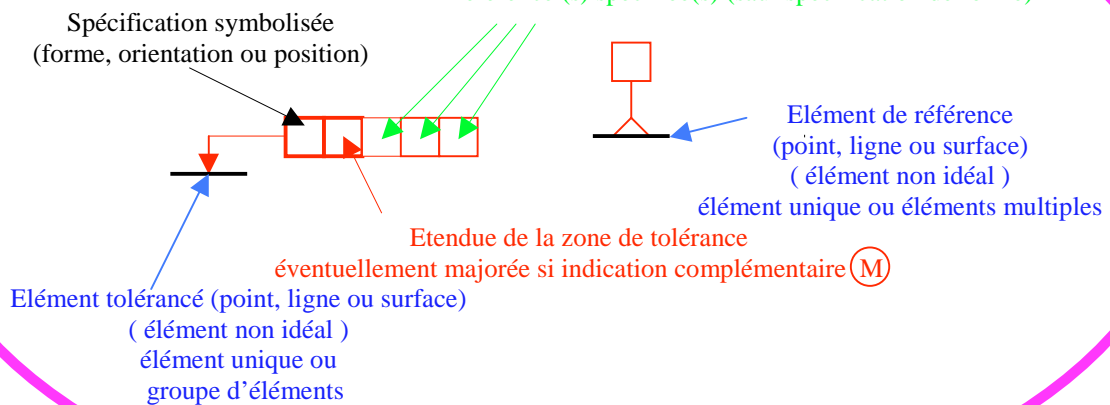
Principe de base : *L'INDEPENDANCE*



SPECIFICATION PAR ZONE DE TOLERANCE

L'élément tolérancé doit être situé dans un espace d'étendue fixée par l'expression de la zone de tolérance

Référence (s) spécifiée(s) (sauf spécification de forme)



TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance				
Symbole de la spécification	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition					

SOMMAIRE DES APPLICATIONS :

1. SUJET LEC 0

Modèle d'application didactique sur spécifications par zone de tolérance portant sur la forme (cylindricité) puis sur la position (localisation).
Corrigés associés.

2. SUJET LEC 1

Proposition d'application à la lecture d'une spécification par dimension.
Proposition d'application à la lecture de la spécification par zone de tolérance correspondante afin de mettre en évidence les différences entre ces deux concepts de spécification.

3. SUJET LEC 2

Proposition d'application à la lecture d'une spécification par zone de tolérance portant sur l'orientation (perpendicularité).

4. SUJET LEC 3

Proposition d'application à la lecture de spécifications par zone de tolérance portant sur la forme (planéité) puis sur l'inclinaison avec introduction de la notion de zone commune pour la référence.

5. SUJET LEC 4

Proposition d'application à la lecture d'une spécification par zone de tolérance portant sur le battement avec distinction entre battement circulaire et battement total.

6. SUJET LEC 5

Proposition d'application à la lecture d'une spécification par zone de tolérance portant sur la position (coaxialité) avec introduction des notions de référence spécifiée commune.

7. SUJET LEC 6

Proposition d'application à la lecture d'une spécification par zone de tolérance portant sur la position (localisation) avec introduction de la notion de système de références.

8. SERIE DE CORRIGES TYPES

CORLEC 1 : Proposition de réponse au sujet Lec 1.

CORLEC 2 : Proposition de réponse au sujet Lec 2.

CORLEC 3 : Proposition de réponse au sujet Lec 3.

CORLEC 4 : Proposition de réponse au sujet Lec 4.

CORLEC 5 : Proposition de réponse au sujet Lec 5.

CORLEC 6 : Proposition de réponse au sujet Lec 6.

LECTURE DE SPECIFICATIONS

SUJET LEC 0

Objectif:

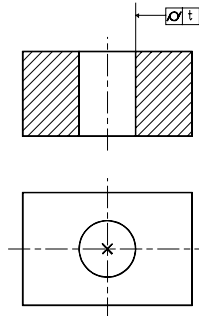
Ce premier sujet permet d'aborder la phase de lecture de spécifications dans le cadre du concept du tolérancement par zone de tolérance.

On pourra ainsi distinguer pour une même surface nominalement cylindrique :

- une spécification de forme (exempte de référence),
- une spécification de position (induisant la prise en compte d'une référence spécifiée).

Le traitement en lecture de ces spécifications sera réalisé en utilisant des exemplaires de la grille de traitement précédemment présentée et en employant la terminologie adéquate.

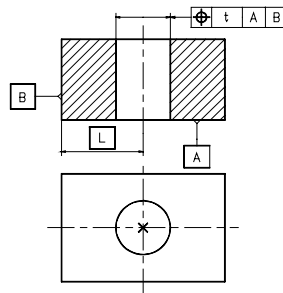
Modèle d'application n°1



En utilisant le tableau « grille de traitement » et en respectant le langage normalisé rappelé en préambule dans le document de synthèse, définir sans ambiguïté pour la spécification ci-dessus :

- l'élément tolérancé,
- la zone de tolérance.

Modèle d'application n°2

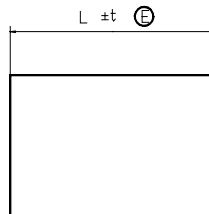


Définir ensuite de la même façon pour la seconde spécification figurée ci-dessus :

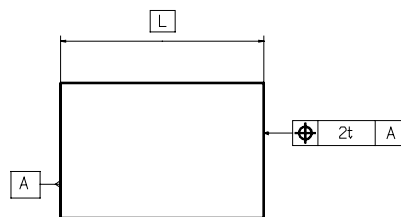
- l'élément tolérancé,
- l'élément de référence,
- la référence spécifiée et le critère d'association permettant son identification,
- la zone de tolérance (type, étendue),
- les contraintes de situation de la zone de tolérance par rapport à la référence spécifiée.

LECTURE DE SPECIFICATIONS

SUJET LEC 1



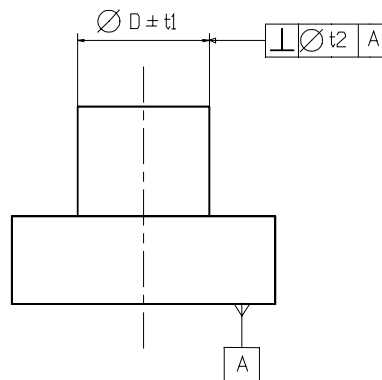
Expliciter, selon la norme, le respect de cette spécification par dimension.



En utilisant le tableau « Grille de traitement » et la démarche proposée pour la résolution du sujet Lec 0, définir sans ambiguïté pour la spécification figurée ci-dessus :

- l'élément toléré,
- l'élément de référence,
- la référence spécifiée et le critère d'association permettant son identification,
- la zone de tolérance,
- les contraintes de situation de la zone de tolérance par rapport à la référence spécifiée.

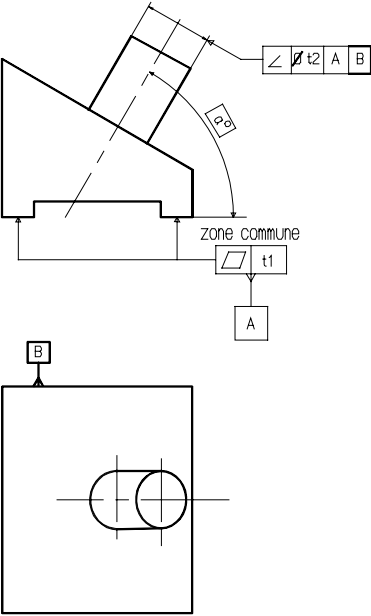
SUJET LEC 2



Traduire, en utilisant le tableau « Grille de traitement » et la démarche proposée qui y est associée les deux spécifications portées ci-dessus.

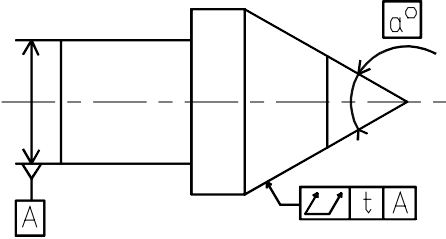
LECTURE DE SPECIFICATION

SUJET LEC 3

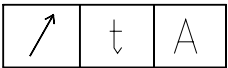


En utilisant le tableau « Grille de traitement » et la démarche proposée qui y est associée, traduire les deux spécifications portées sur cet extrait de dessin de définition.

SUJET LEC 4

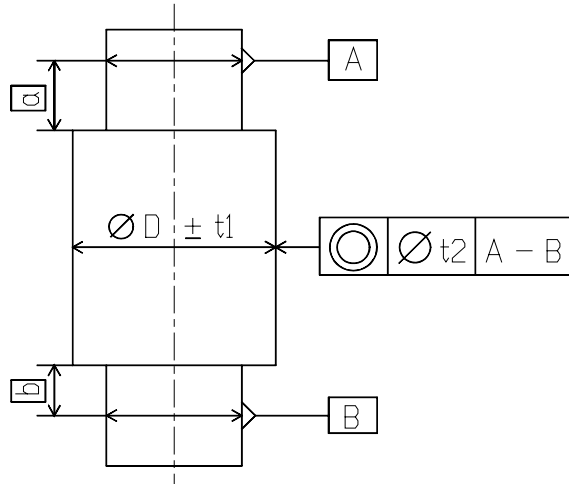


En utilisant le tableau « Grille de traitement » et la démarche proposée qui y est associée, traduire la spécification portée sur cet extrait de dessin de définition.
 Procéder à une nouvelle analyse après avoir substitué à cette spécification la spécification suivante :



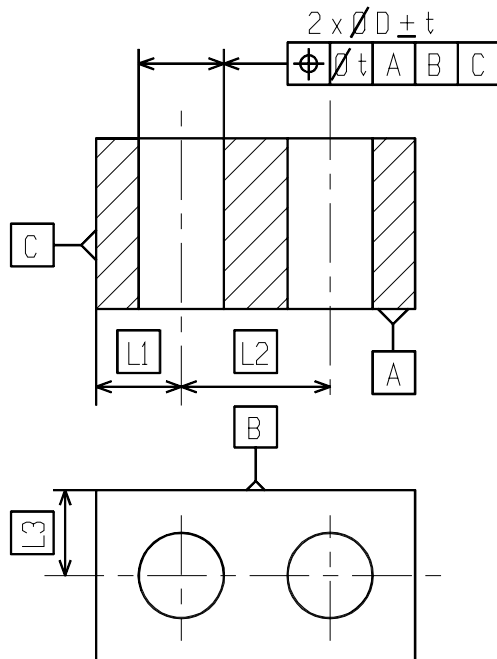
LECTURE DE SPECIFICATIONS

SUJET LEC 5


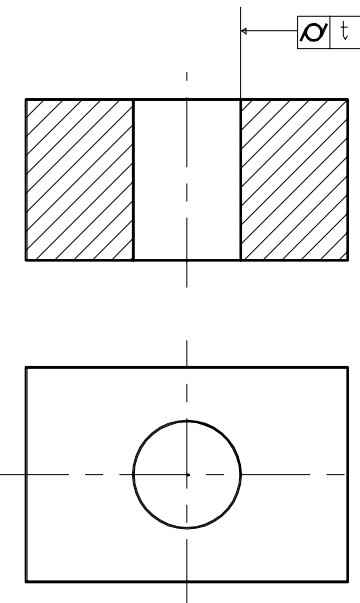
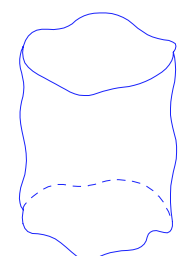
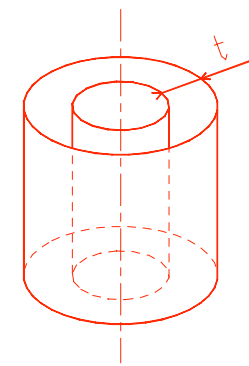



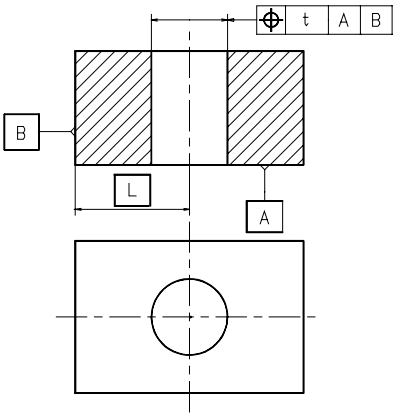
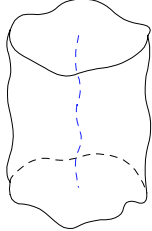
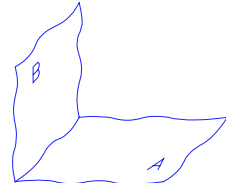
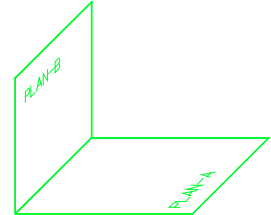
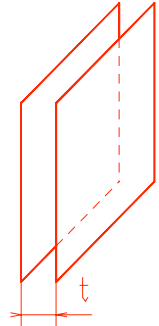
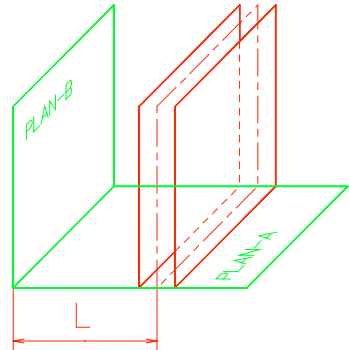
En utilisant le tableau « Grille de traitement » et la démarche proposée qui y est associée, traduire la spécification portée sur cet extrait de dessin de définition.


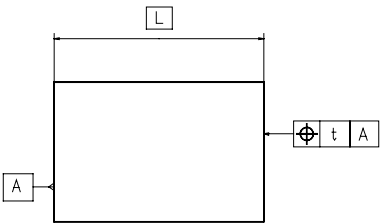
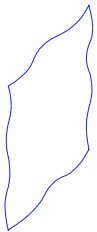
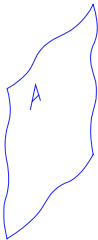
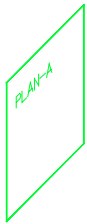
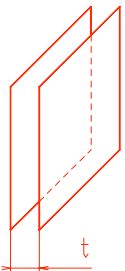
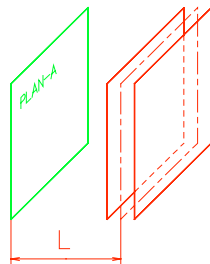
SUJET LEC 6

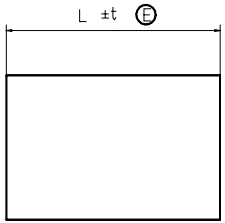
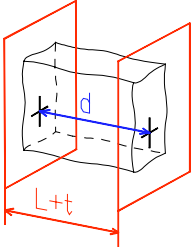
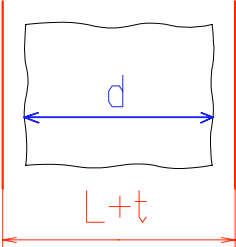



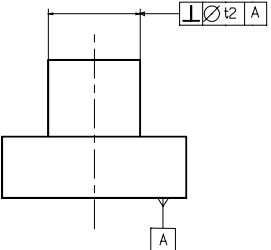
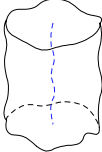


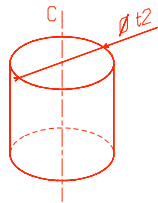
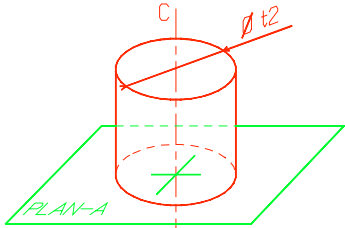
En utilisant le tableau « Grille de traitement » et la démarche proposée qui y est associée, traduire la spécification portée sur cet extrait de dessin de définition.

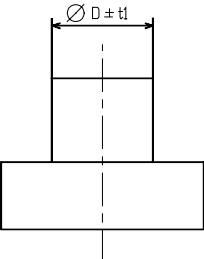
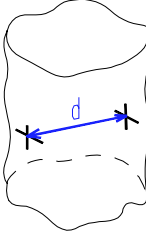
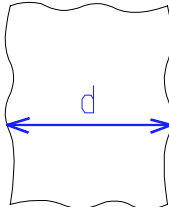
TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance : CORLEC 0				
Symbole de la spécification 		Éléments non Idéaux		Éléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement Cylindricité		Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.		unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée	
Schéma extrait du dessin de définition 		Surface nominalement cylindrique. 			Volume limité par deux cylindres coaxiaux de différence de rayons t . 	

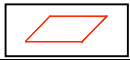
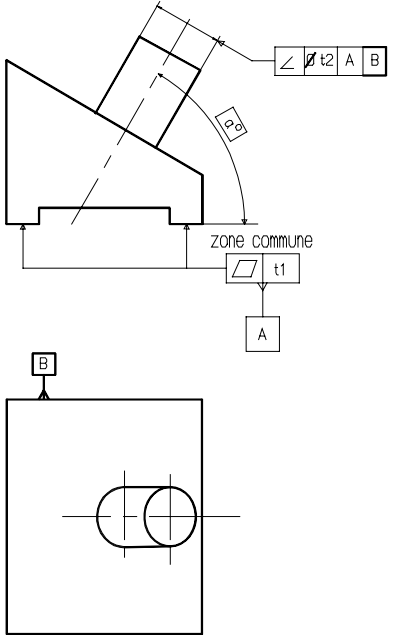

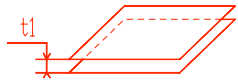
TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance : CORLEC 0				
Symbole de la spécification 		Éléments non Idéaux		Éléments Idéaux		
Type de spécification Forme <u>Position</u> <u>Localisation</u> Orientation Battement		Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.		<u>unique</u> groupe	unique <u>multiples</u>	simple commune <u>système</u>	<u>simple</u> composée <u>Contraintes orientation et position</u> par rapport à la référence spécifiée	
<p>Schéma extrait du dessin de définition</p> 		<p>Ligne nominalement rectiligne, axe réel d'une surface nominalement cylindrique.</p> 	<p>Ensemble de deux surfaces A et B nominalement planes.</p> 	<p>Référence primaire : PLAN-A associé à la surface repérée A, contraint tangent du côté libre matière, critère min-max.</p> <p>Référence secondaire : PLAN-B associé à la surface repérée B, contraint tangent du côté libre matière et perpendiculaire à PLAN A, critère min-max.</p> 	<p>Volume limité par deux plans parallèles et distants de t.</p> 	<p>Plan médian des deux plans parallèles contraint perpendiculaire à PLAN-A et à distance L de PLAN-B.</p> 
TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance : CORLEC 1				


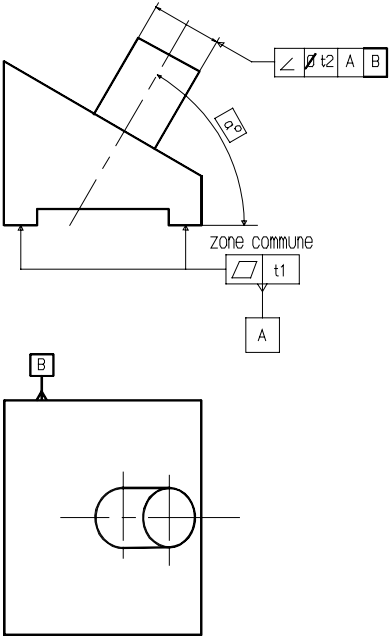
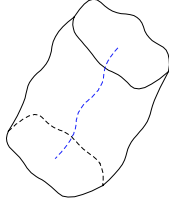
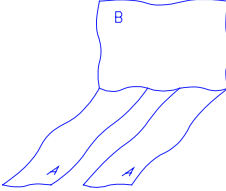
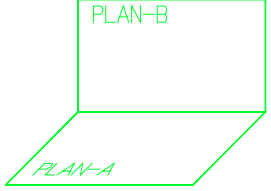
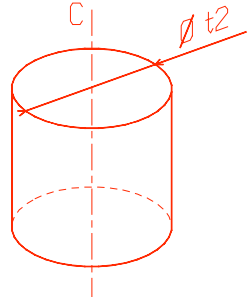
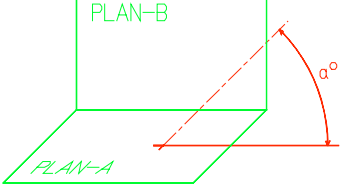
Symbole de la spécification 	Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation <u>Position</u> Battement. <u>Localisation</u>	Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	<u>unique</u> groupe	<u>unique</u> multiples	<u>simple</u> commune système	<u>Simple</u> composée	Contraintes : <u>Orientation</u> et <u>position</u> par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition 	Surface nominalement plane. 	Surface A nominalement plane 	PLAN-A associé à la surface repérée A , contraint tangent du côté libre matière, critère min-max. 	Volume limité par deux plans parallèles distants de t . 	Plan médian des deux plans parallèles contraint parallèle à PLAN-A et à distance L de PLAN-A . 


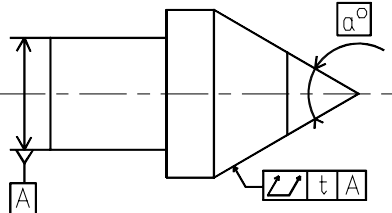
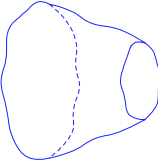
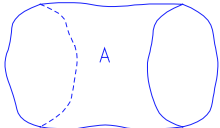

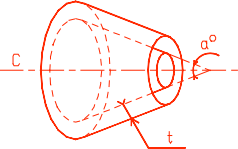
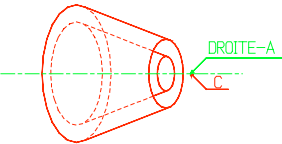
TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par dimensions : CORLEC 1	
	 	Conditions de conformité : Une pièce sera conforme si : <ul style="list-style-type: none"> - la valeur d prise par les dimensions locales se trouve à l'intérieur de l'intervalle défini par les tolérances, - la dimension de l'enveloppe parfaite au maximum de matière n'est pas dépassée.


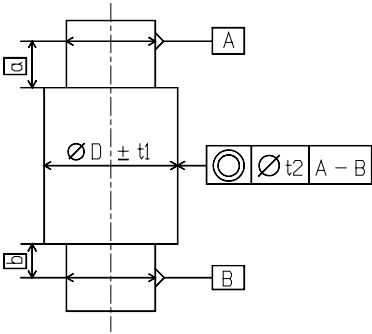
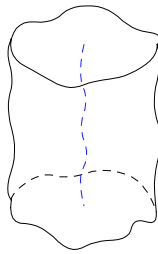
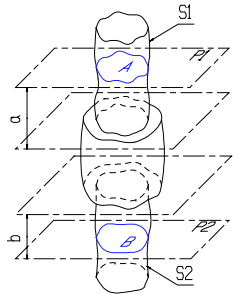
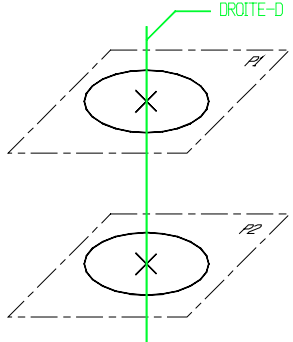
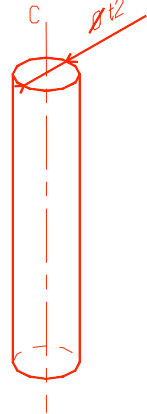
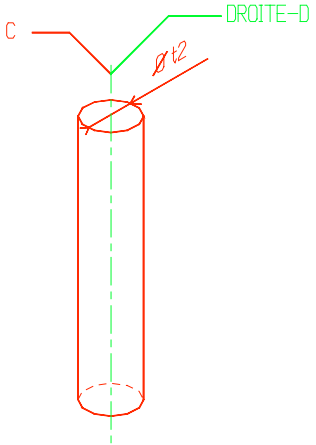
TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par zone de tolérance : CORLEC 2				
Symbole de la spécification 	Éléments non Idéaux		Éléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement. Perpendicularité	Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.	unique groupe	unique multiples	simple commune système	simple composée	Contraintes : Orientation par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition 	Ligne nominale rectiligne, axe réel d'une surface nominale C _j 	Surface A nominale plane 	PLAN-A associé à la surface repérée A , contraint tangent du côté libre matière, critère min-max. 	Volume limité par un cylindre d'axe C et de diamètre t2 . 	Axe C de la zone de tolérance contraint perpendiculaire à PLAN-A . 


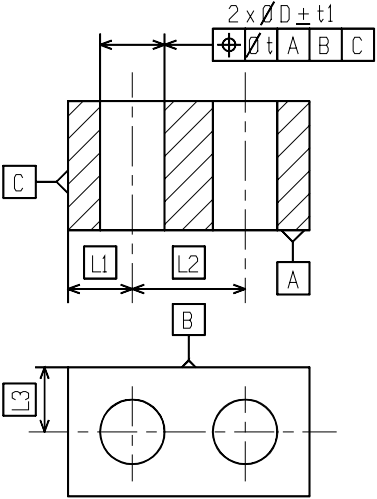
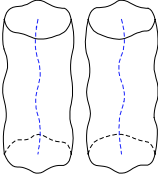
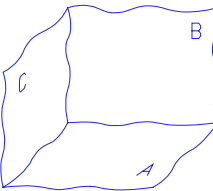
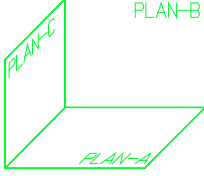
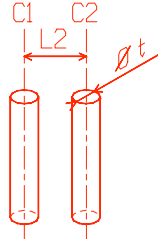
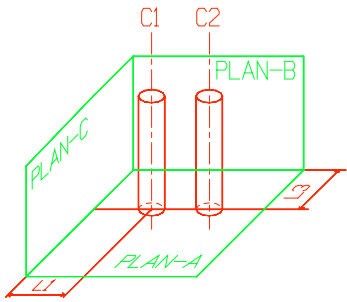
TOLERANCEMENT NORMALISE	Analyse d'une spécification par dimensions : CORLEC 2	
		
Condition de conformité : Une pièce sera conforme si : la valeur d prise par les dimensions locales se trouve à l'intérieur de l'intervalle défini par les tolérances.		

TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance : CORLEC 3				
Symbole de la spécification 		Éléments non Idéaux		Éléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement Planéité		Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.		unique <u>groupe</u>	unique multiples	simple commune système	<u>simple</u> composée	Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition 		Deux surfaces nominalement planes. 			Volume limité par deux plans parallèles distants de t1 . 	

TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance : CORLEC 3				
Symbole de la spécification 		Éléments non Idéaux		Éléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement Orientation		Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.		<u>unique</u> groupe	unique <u>multiples</u>	simple commune <u>système</u>	<u>simple</u> composée	
Schéma extrait du dessin de définition		Ligne nominalement rectiligne, axe réel d'une surface nominalement cylindrique.	Ensemble de deux surfaces A et B nominalement planes.	Référence primaire : PLAN-A associé à la surface repérée A , contraint tangent du côté libre matière, critère min-max. Référence secondaire : PLAN-B associé à la surface repérée B , contraint tangent du côté libre matière et perpendiculaire à PLAN-A , critère min-max.	Volume limité par un cylindre d'axe C et de diamètre t2 . Axe C de la zone de tolérance contraint incliné d'un angle α° avec PLAN-A , et contraint parallèle à PLAN-B .	
						

TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance : CORLEC 4				
Symbole de la spécification 		Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement Battement total		Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.		<u>unique</u> groupe	<u>unique</u> multiples	<u>simple</u> commune système	<u>simple</u> composée	
Schéma extrait du dessin de définition		Surface nominalement conique.	Surface A nominalement cylindrique.	DROITE-A axe du cylindre associé à la surface repérée A, critère du diamètre mini.	Volume limité par deux cônes d'axe commun C, d'angle a° , et distants de t. Axe C de la zone de tolérance contraint confondu avec DROITE-A .	
						

TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance : CORLEC 5				
Symbole de la spécification 		Éléments non Idéaux		Éléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation <u>Position</u> Battement Coaxialité		Élément(s) tolérancé(s)	Élément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.		<u>unique</u> groupe	unique <u>multiples</u>	<u>simple</u> commune système	<u>simple</u> composée	Contraintes <u>position</u> par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition 		Ligne nominalement rectiligne, axe réel d'une surface nominalement cylindrique. 	Deux lignes A et B nominalement circulaires, intersections des surfaces S1 et S2 avec les plans P1 et P2 . Ces plans sont situés à distances a et b des extrémités du corps central de la pièce. 	DROITE-D passant par les centres des deux cercles associés aux éléments de référence A et B suivant un critère. 	Volume limité par un cylindre d'axe C et de diamètre t2 	Axe C de la zone de tolérance contraint confondu avec DROITE-D . 

TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance : CORLEC 6			
Symbole de la spécification 		Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux	
Type de spécification Forme <u>Position</u> <u>Localisation</u> Orientation Battement		Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.		unique <u>groupe</u>	unique <u>multiples</u>	simple commune <u>système</u>	simple <u>composée</u> Contraintes <u>orientation</u> et <u>position</u> par rapport à la référence spécifiée
<p>Schéma extrait du dessin de définition</p> 		<p>Deux lignes nominalement rectilignes, axes réels de deux surfaces nominalement cylindriques.</p> 	<p>Ensemble de trois surfaces A, B, C, nominalement planes.</p> 	<p>Référence primaire : PLAN-A associé à la surface repérée A, contraint tangent du côté libre matière, critère min-max.</p> <p>Référence secondaire : PLAN-B associé à B, contraint tangent du côté libre matière et perpendiculaire à PLAN-A, critère min-max.</p> <p>Référence tertiaire : PLAN-C associé à C, contraint tangent du côté libre matière, perpendiculaire à PLAN-A et PLAN-B.</p> 	<p>Volumes limités par deux cylindres de diamètre t, d'axes C1 et C2 parallèles et distants de L2.</p>  

Le Tolérancement Normalisé

Application à

L'ECRITURE DES SPECIFICATIONS

Cette phase de l'approche du Tolérancement Normalisé constitue la seconde phase de la mise en application des concepts présentés au préalable.

OBJECTIF :

Il s'agit de pouvoir formuler sur un document de définition (conception ou réalisation) d'un produit les spécifications qui sont imposées par les contraintes liées à sa fonction ou à sa faisabilité. Cette formulation doit être effectuée dans le respect le plus strict des normes de tolérancement en vigueur. Le choix des spécifications ainsi formulées doit s'attacher à fixer les exigences qualitatives dimensionnelles ou géométriques requises par le respect des contraintes évoquées ci-dessus. L'aspect quantitatif (étendue des intervalles de tolérances) ne sera pas chiffré dans cette mise en application.

PRESENTATION :

Après le rappel synthétique des règles du tolérancement réalisé à l'aide du langage graphique normalisé, une série d'exercices d'écriture vous est proposée. Le support général de cette série est constitué par un ensemble mécanique dont sont extraites les pièces soumises à cotation. Chaque exercice place une pièce dans son contexte fonctionnel afin de justifier les demandes de tolérancement de la géométrie de cette pièce. Cet ensemble a été élaboré afin d'exploiter de manière progressive mais non exhaustive les savoirs essentiels préalablement acquis. Chacun des exercices est accompagné d'une proposition de corrigé constituée d'une réponse type et de commentaires annexes. Eventuellement, une phase de relecture permet de s'assurer de la clarté et de l'univocité de la proposition.

ECRITURE D'UNE SPECIFICATION Analyse synthétique

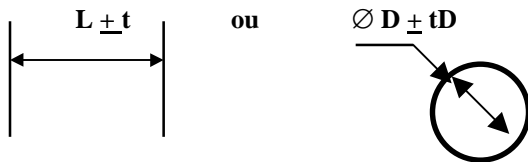
Problème posé :

Définir à l'aide d'un langage univoque et normalisé une cotation permettant d'exprimer la conformité d'une pièce vis-à-vis de chacune des contraintes du cahier des charges.

Solution :

Emettre dans le respect des normes et du Principe de l'Indépendance les spécifications adaptées

SPECIFICATION PAR DIMENSION

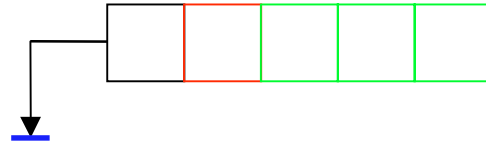


Définit la taille d'un élément en fixant les bornes de l'intervalle dans lequel toute dimension locale devra se trouver

Nota :

L'ajout de l'exigence de l'enveloppe (E) permet de s'affranchir du Principe de l'Indépendance et complète la spécification par une relation entre dimension et forme.

SPECIFICATION PAR ZONE DE TOLERANCE



Définit l'espace dans lequel l'élément tolérancé doit se situer.

L'étendue de la zone de tolérance s'exprime par une distance figurée dans le cadre de tolérance, éventuellement précédée d'un modificateur (\emptyset ou $s\emptyset$)

Dans le cas des spécifications de position ou d'orientation, les éléments de référence sont indiqués en respectant leur hiérarchie.

Les références spécifiées sont alors définies à l'aide d'un critère d'association implicite et en respectant des contraintes d'orientation hiérarchisées.

Nota :

L'ajout de l'exigence du maximum de matière (M) permet de s'affranchir du Principe de l'Indépendance et complète la spécification par une relation entre dimension et position.

SOMMAIRE DES APPLICATIONS :

1. SUJET ECR 0

Modèle d'application didactique portant sur des spécifications par dimension et par zone de tolérance imposées au vilebrequin et lui permettant de répondre aux impératifs fonctionnels du mécanisme.
Proposition de corrigés et commentaires associés.

2. SUJET ECR 1

Proposition d'applications à l'écriture de spécifications par zone de tolérance portant sur la forme, sur l'orientation puis sur la position attachées à des faces fonctionnelles du carter.
L'ensemble de ces spécifications doit répondre au souci de qualité d'assemblage de ce carter avec le cylindre.

3. SUJET ECR 2

Proposition d'applications à l'écriture de spécifications par zone de tolérance portant sur l'orientation du logement de chemise puis sur la position des taraudages recevant les vis de culasse.
Ces spécifications sont imposées par le bon fonctionnement du mécanisme et la faisabilité de son assemblage.

4. SUJET ECR 3

Proposition d'applications à l'écriture de spécifications par zone de tolérance affectées aux alésages de tête et de pied de bielle et portant sur leur orientation puis sur leur position relatives.
Ces spécifications sont imposées par le souci de ménager un caractère isostatique au mécanisme et de préserver des performances à dispersion faible.

5. SUJET ECR 4

Proposition d'applications à l'écriture d'une spécification par dimension puis d'une spécification par zone de tolérance affectées au piston.
Le souci de préserver les qualités dynamiques préside à la nécessité de cette cotation.

6. SERIE DE CORRIGES TYPES

CORECR 1 : Proposition de réponse au sujet Ecr 1 avec commentaires.

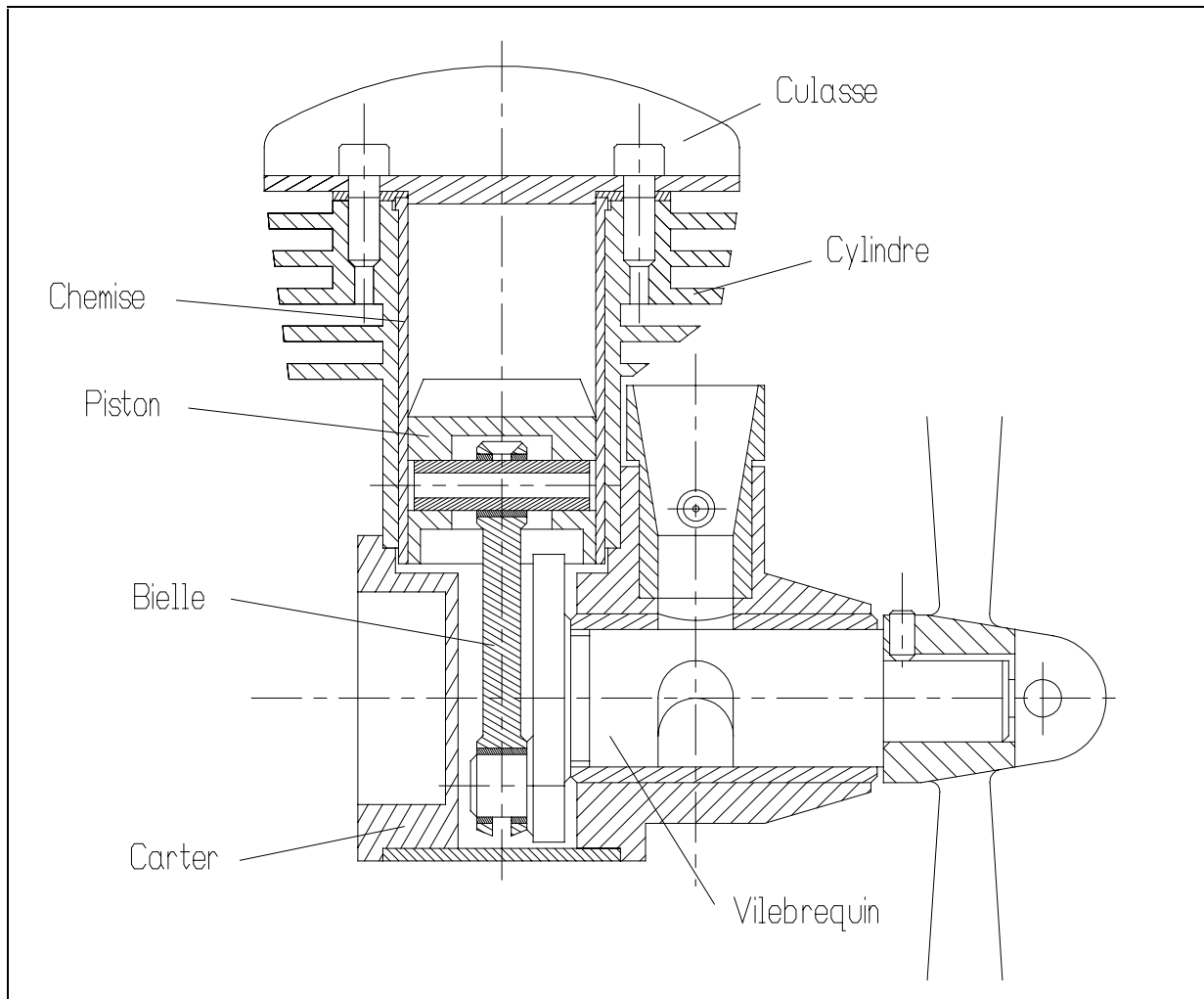
CORECR 2 : Proposition de réponse au sujet Ecr 2 avec commentaires.

CORECR 3 : Proposition de réponse au sujet Ecr 3 avec commentaires.

CORECR 4 : Proposition de réponse au sujet Ecr 4 avec commentaires.

THEME D'ETUDE

Le mécanisme décrit ci-dessous constitue le support des exercices d'application à l'écriture des spécifications. Il s'agit d'un micro moteur 2 temps d'une cylindrée de 5 cm^3 utilisé en micro modélisme. Cet ensemble est présenté dans le dessin en coupe figuré ci-dessous.



Les conditions fonctionnelles attachées à ce mécanisme sont nombreuses : étanchéité, pression de contact entre surfaces, comportement de la chaîne cinématique, faisabilité de l'assemblage, etc. ...

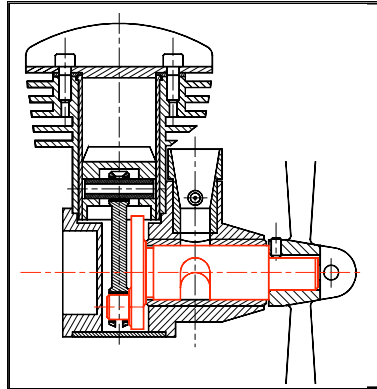
De cet ensemble de conditions, se déduit toute une série de contraintes dimensionnelles et géométriques attachées aux éléments non idéaux extraits du « Skin Modèle » des diverses pièces constitutives de ce mécanisme.

Ce sont ces contraintes qui font l'objet des spécifications à formuler dans les divers exercices qui suivent. L'expression devra se faire dans le respect le plus strict des normes en vigueur.

ECRITURE DE SPECIFICATIONS

Modèle d'application

VILEBREQUIN



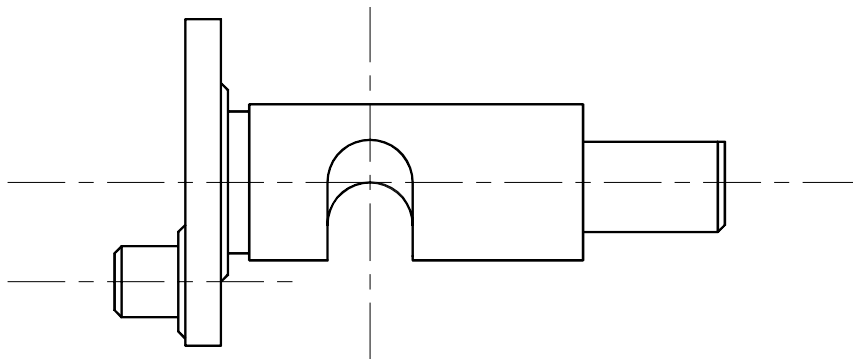
Une partie des exigences concourant au bon fonctionnement du mécanisme (tourillonnement, pression de contact, respect de la course et du taux de compression) conduit à imposer :

- une spécification par dimension portant sur le diamètre du tourillon de vilebrequin,
- une spécification par zone de tolérance portant sur la forme de ce tourillon,
- une spécification par zone de tolérance portant sur la position du maneton par rapport au tourillon.

SUJET ECR 0

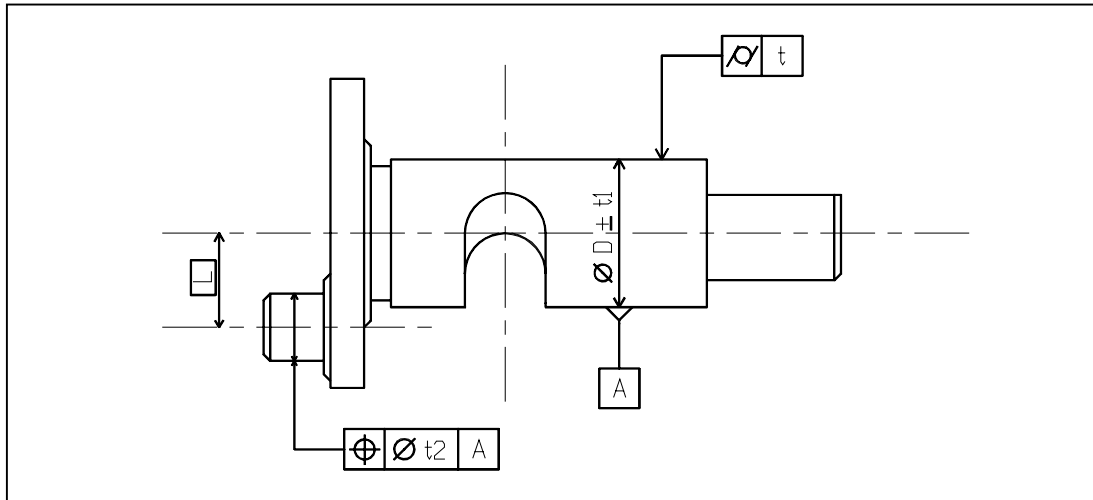
Porter sur le document ci-dessous les spécifications imposées par l'extrait du cahier des charges présenté en préambule.

La formulation de ces spécifications devra respecter les règles du Tolérancement Normalisé.



ECRITURE DE SPECIFICATIONS

PROPOSITION DE CORRIGE DE L'APPLICATION ECR 0 VILEBREQUIN



Commentaires :

1. Spécification par dimension portant sur le diamètre du tourillon

Cette spécification impose à toute distance locale du type "diamètre" définie entre deux points extraits de la surface nominale cylindrique (élément non idéal) d'avoir une valeur comprise entre $D - t$ et $D + t$.

2. Spécification par zone de tolérance portant sur la forme du tourillon


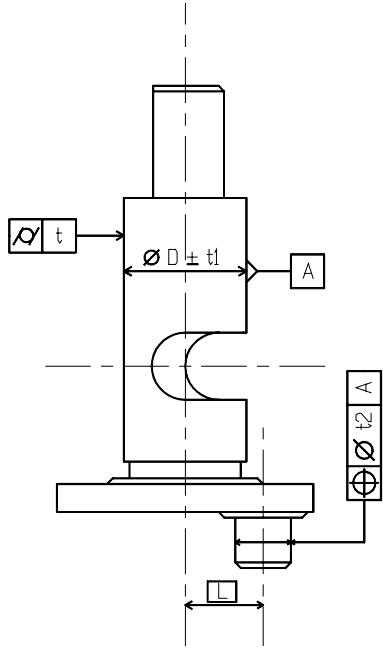
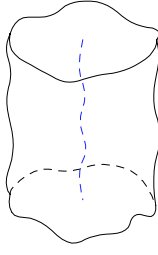
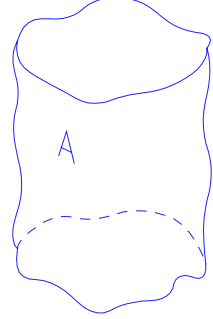

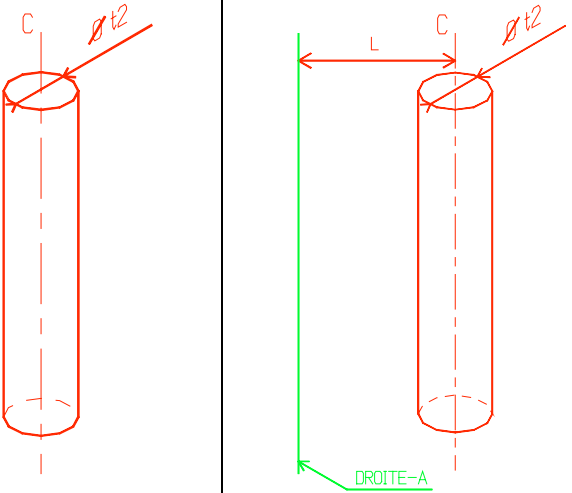
Cette spécification de **CYLINDRICITE** attachée à l'élément toléré **surface nominale cylindrique** impose à cet élément de se situer dans un espace de type **volume limité par deux cylindres coaxiaux de différence de rayon t**.


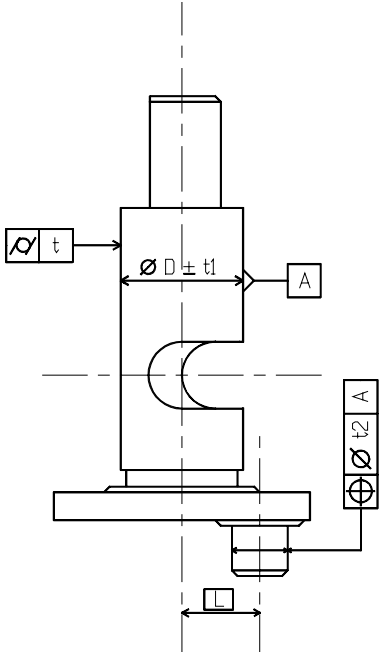
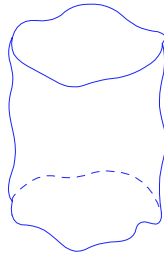
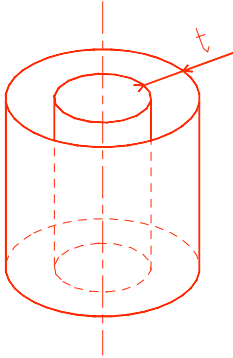
3. Spécification par zone de tolérance portant sur la position du maneton

Cette spécification de **POSITION** attachée à l'élément toléré **surface nominale cylindrique** impose à l'axe de cet élément de se situer dans un espace de type **volume limité par un cylindre de diamètre t2 d'axe contraint parallèle à DROITE-A et à distance L de DROITE-A**, axe du cylindre associé à l'élément de référence **surface nominale cylindrique repérée A**.

Remarques :

1. On notera que l'expression d'une spécification par dimension avec exigence complémentaire de l'enveloppe (E) peut également définir une contrainte de forme sur cette portée.
2. L'analyse des deux spécifications par zone de tolérance proposées ci-dessus peut être suivie avantageusement d'une opération de relecture menée à l'aide de la grille de traitement. Cette analyse permet de s'assurer que l'expression et l'interprétation de la proposition ne présentent aucune ambiguïté. Cette opération est réalisée dans les pages qui suivent.

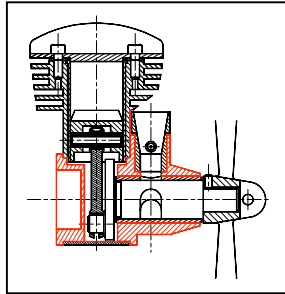
TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance : ECR 0				
Symbole de la spécification 		Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation <u>Position</u> Battement <u>Localisation</u>		Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.		<u>unique</u> groupe	<u>unique</u> multiples	<u>simple</u> commune système	<u>simple</u> composée	
Schéma extrait du dessin de définition		<u>Ligne</u> nominalement rectiligne, <u>axe réel</u> d'une surface nominalement cylindrique.	<u>Surface A</u> Nominalement cylindrique.	<u>DROITE-A</u> axe du cylindre associé à la surface repérée <u>A</u> , critère du diamètre mini.	<u>Volume</u> limité par un cylindre d'axe <u>C</u> et de diamètre <u>t2</u> .	
						<p>Axe C de la zone de tolérance contraint parallèle à DROITE-A, et à distance L de DROITE-A.</p>

TOLERANCEMENT NORMALISE		Analyse d'une spécification par zone de tolérance : ECR 0				
Symbole de la spécification 		Eléments non Idéaux		Eléments Idéaux		
Type de spécification Forme Orientation Position Battement Cylindricité		Elément(s) tolérancé(s)	Elément(s) de référence	Référence(s) spécifiée(s)	Zone de tolérance	
Condition de conformité : L'élément tolérancé doit se situer tout entier dans la zone de tolérance.		<u>unique</u> groupe	unique multiples	simple commune système	<u>simple</u> composée	Contraintes orientation et/ou position par rapport à la référence spécifiée
Schéma extrait du dessin de définition 		Surface nominalement cylindrique. 			Volume limité par deux cylindres coaxiaux de différence de rayons t . 	

ECRITURE DE SPECIFICATIONS

Proposition d'application n°1

CARTER



Parmi les nombreuses exigences conduisant à un coulisement satisfaisant du piston dans le cylindre chemisé, le sujet propose de retenir celles qui s'attachent à maîtriser la qualité de la liaison entre cylindre et carter.

Ainsi, parmi les spécifications attachées au carter :

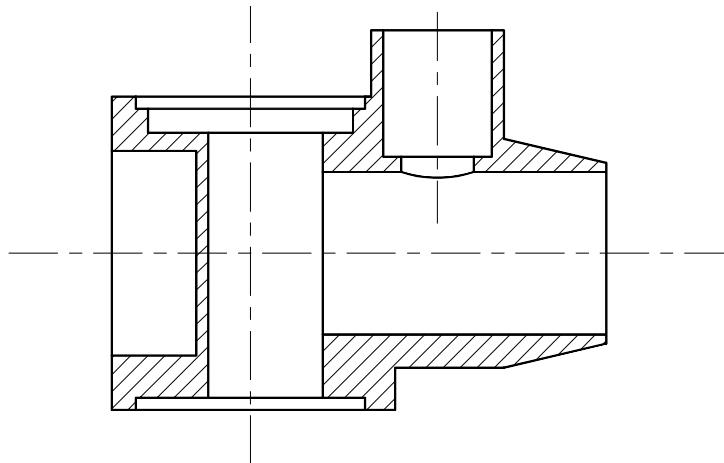
- une première spécification définira le tolérancement de forme de la face d'appui du cylindre sur le carter,
- une seconde spécification définira le tolérancement d'orientation de cette face d'appui par rapport à l'alésage recevant le coussinet guidant le tourillon du vilebrequin,
- une troisième spécification définira le tolérancement de position de cette face par rapport à ce même alésage.

Nota : Le carter sera considéré monobloc : Les pièces constitutives sont réunies, positionnées et usinées conjointement.

SUJET ECR 1

Porter sur le document ci-dessous les spécifications imposées par l'extrait du cahier des charges présenté en préambule.

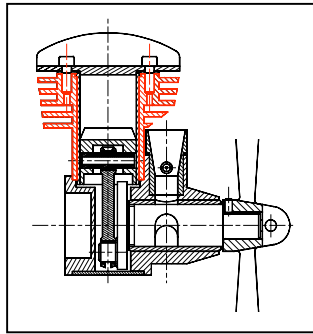
La formulation de ces spécifications devra respecter les règles du Tolérancement Normalisé.



ECRITURE DE SPECIFICATIONS

Proposition d'application n°2

CYLINDRE



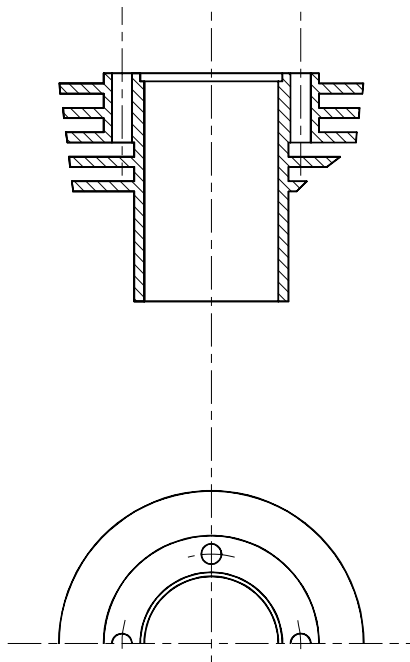
En gardant le même objectif d'un coulisement satisfaisant du piston dans le cylindre chemisé (voir Ecr 1), le sujet propose de définir une première spécification portant sur l'orientation de l'alésage recevant la chemise par rapport à la face d'appui du cylindre sur le carter.

De plus, la culasse est centrée dans la chemise puis fixée sur le cylindre par quatre vis. En conséquence, une seconde spécification s'attache à exprimer la localisation des quatre trous taraudés permettant l'implantation de ces vis dans le cylindre.

SUJET ECR 2

Porter sur le document ci-dessous les spécifications imposées par l'extrait du cahier des charges présenté en préambule.

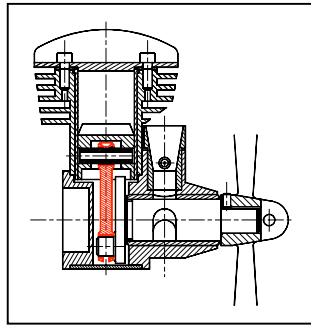
La formulation de ces spécifications devra respecter les règles du Tolérancement Normalisé.



ECRITURE DE SPECIFICATIONS

Proposition d'application n°3

BIELLE



Le caractère hyperstatique de la chaîne cinématique Cylindre-Piston-Bielle-Vilebrequin-Carter est flagrant. Le bon fonctionnement de celle-ci ne peut être garanti sans une géométrie soignée de l'ensemble en association avec des jeux judicieusement quantifiés.

Ainsi, dans le dessin de définition de la bielle, une spécification par zone de tolérance doit exprimer l'orientation relative des alésages de tête et de pied de bielle.

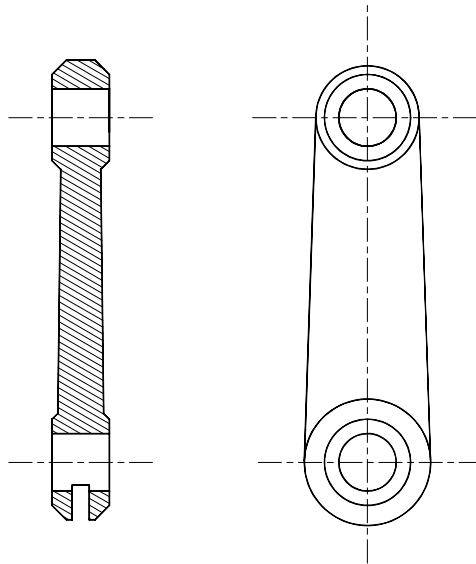
D'autre part, le respect du taux de compression impose une spécification portant sur l'entraxe de ceux-ci.

Nota : On pourra considérer que l'alésage de tête de bielle joue un rôle prioritaire dans la situation de la bielle dans le mécanisme.

SUJET ECR 3

Porter sur le document ci-dessous les spécifications imposées par l'extrait du cahier des charges présenté en préambule.

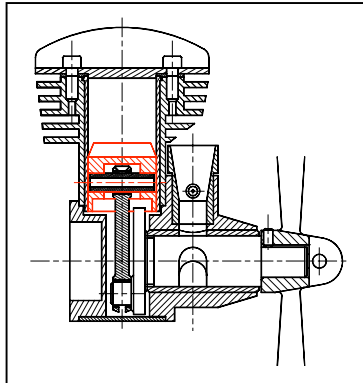
La formulation de ces spécifications devra respecter les règles du Tolérancement Normalisé.



ECRITURE DE SPECIFICATIONS

Proposition d'application n°4

PISTON



Les contraintes liées à la liaison pivot glissant établie entre piston et chemise sont nombreuses:

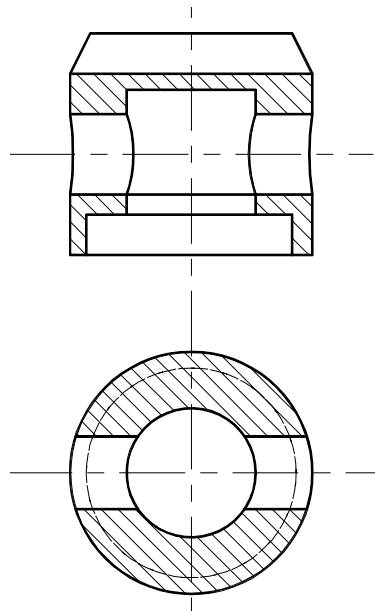
- qualité du guidage,
- étanchéité dynamique,
- résolution de l'hyperstaticité.

Il s'agit de spécifications par dimension et de spécifications par zone de tolérance (forme, orientation).

SUJET ECR 4

Porter sur le document ci-dessous les spécifications imposées par l'extrait du cahier des charges présenté en préambule.

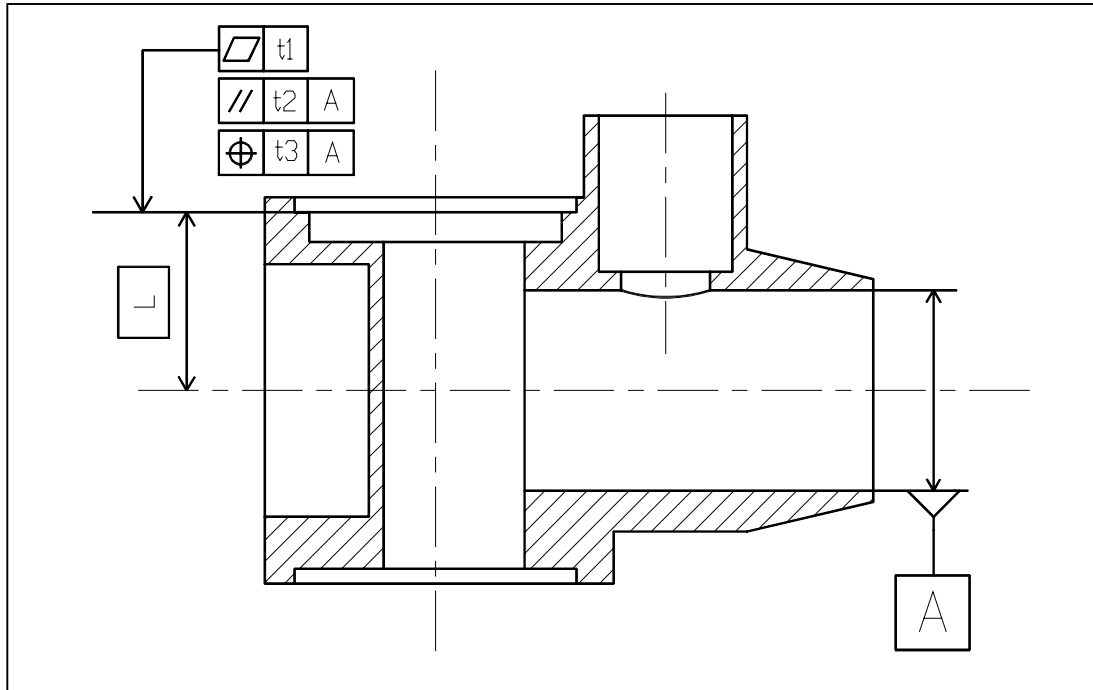
La formulation de ces spécifications devra respecter les règles du Tolérancement Normalisé.



ECRITURE DE SPECIFICATIONS

CORECR 1 : PROPOSITION DE CORRIGE DE L'APPLICATION ECR 1

CARTER



Commentaires :

1. Spécification par zone de tolérance portant sur la forme de la face d'appui

Cette spécification de **PLANEITE** attachée à l'élément tolérancé **surface nominale plane** impose à cet élément de se situer dans un espace de type **volume limité par deux plans parallèles distants de t1**.

2. Spécification par zone de tolérance portant sur l'orientation de la face d'appui

Cette spécification de **PARALLELISME** attachée à l'élément tolérancé **surface nominale plane** impose à cet élément de se situer dans un espace de type **volume limité par deux plans parallèles distants de t2** contraints parallèles à **DROITE-A**, axe du cylindre associé à l'élément de référence **surface nominale cylindrique** repérée **A**.

3. Spécification par zone de tolérance portant sur la position de la face d'appui

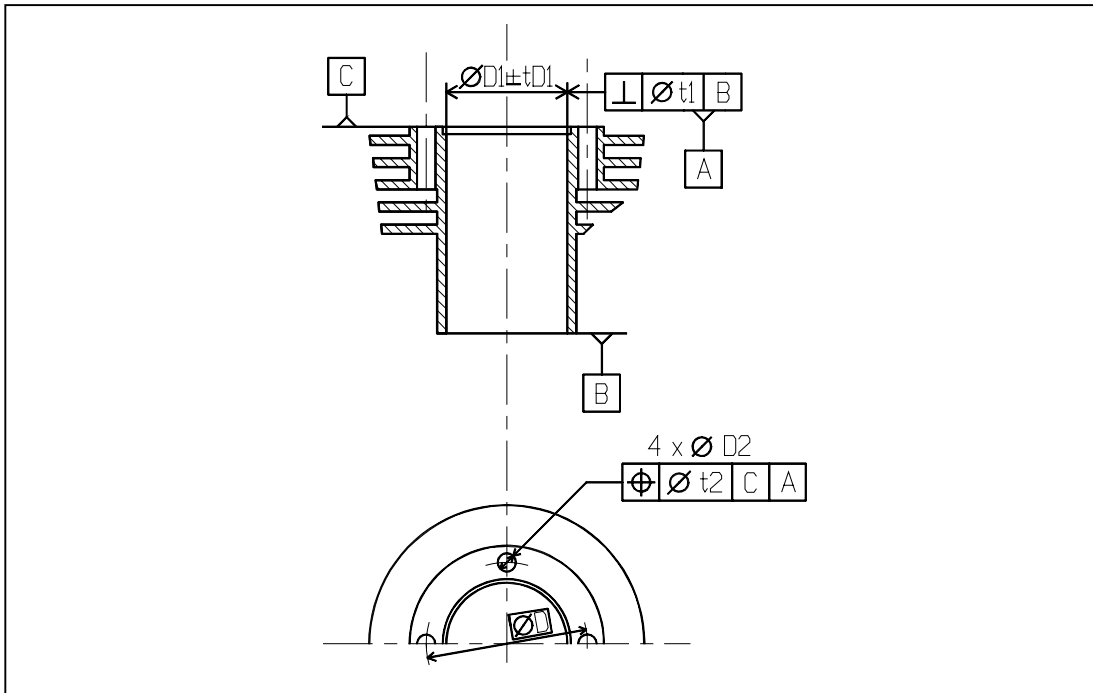
Cette spécification de **POSITION** attachée à l'élément tolérancé **surface nominale plane** impose à cet élément de se situer dans un espace de type **volume limité par deux plans parallèles distants de t3** contraints parallèles à **DROITE-A** et de plan médian à distance **L** de **DROITE-A**, axe du cylindre associé à l'élément de référence **surface nominale cylindrique** repérée **A**.

Remarque :

On notera que le cumul des ces trois spécifications n'a de sens que si les étendues des intervalles de tolérance vérifie : $t1 < t2 < t3$

ECRITURE DE SPECIFICATIONS

CORECR 2 : PROPOSITION DE CORRIGE DE L'APPLICATION ECR 2 CYLINDRE



Commentaires :

1. Spécification par zone de tolérance portant sur l'orientation de l'alésage

Cette spécification de **PERPENDICULARITE** attachée à l'élément tolérancé **surface nominale cylindrique** impose à l'axe de cet élément de se situer dans un espace de type **volume limité par un cylindre de diamètre t1** d'axe contraint perpendiculaire à **PLAN-B**, plan contraint tangent du côté libre matière, associé par le critère "min-Max" à l'élément de référence **surface nominale plane repérée B**

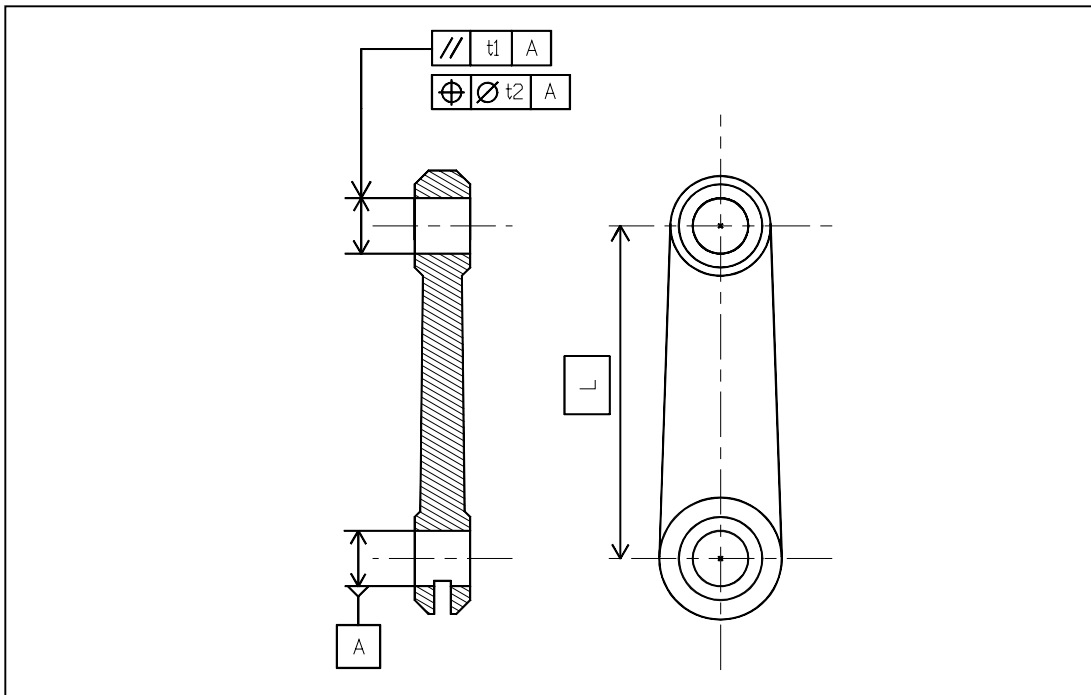
2. Spécification par zone de tolérance portant sur la position des trous de fixation de la culasse

Cette spécification de **POSITION** attachée au groupe d'éléments tolérancés **surfaces nominale cylindriques** impose aux axes de ces éléments de se situer dans un espace composé de **volumes limités par quatre cylindres de diamètre t2** d'axes contraints perpendiculaires à la **référence primaire PLAN-C** associé par le critère "min-Max" à la **surface nominale plane repérée C** et contraints en position par rapport à la **référence secondaire DROITE-A** axe du cylindre associé à l'élément de référence **surface nominale cylindrique repérée A**.
Le critère d'association pour cette référence secondaire est le critère du plus grand élément tangent intérieur d'axe perpendiculaire à la référence primaire.

On pourra remarquer que les positions théoriques de ces axes idéaux sont définies par une contrainte explicite \varnothing D et des contraintes angulaires implicites de 90° autour de la référence secondaire.

ECRITURE DE SPECIFICATIONS

CORECR 3 : PROPOSITION DE CORRIGE DE L'APPLICATION ECR 3 BIELLE



Commentaires :

1. Spécification par zone de tolérance portant sur l'orientation relative des alésages

Cette spécification de **PARALLELISME** attachée à l'élément toléré "tête de bielle" **surface nominale cylindrique** impose à l'axe de cet élément de se situer dans un espace de type **volume limité par deux plans parallèles distants de t_1** contraints parallèles à **DROITE-A** axe du cylindre associé par le critère du plus grand élément tangent intérieur à l'élément de référence "pied de bielle" **surface nominale cylindrique repérée A**.

2. Spécification par zone de tolérance portant sur la position relative des alésages

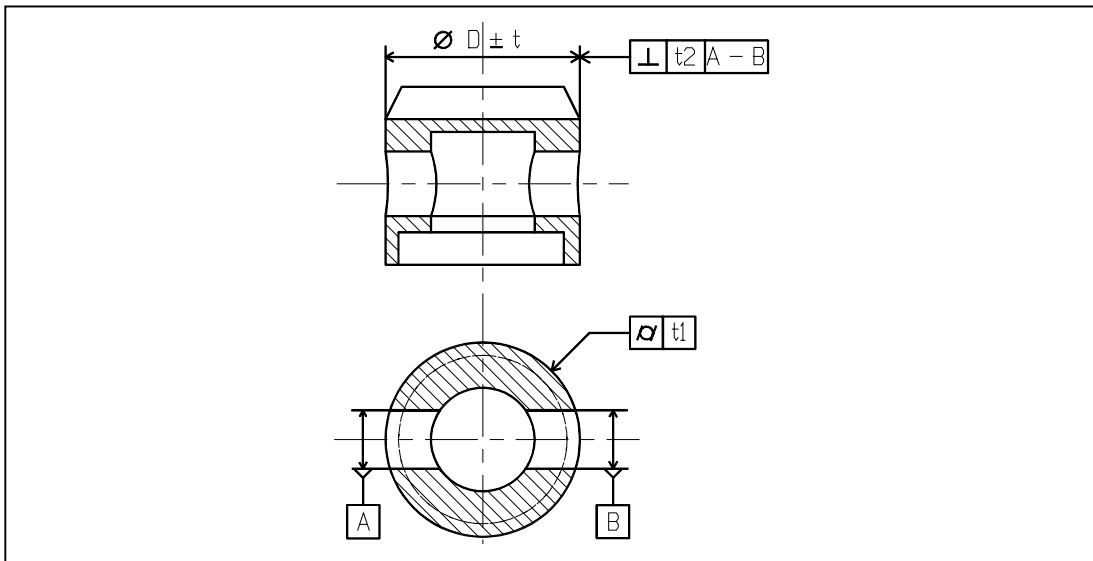
Cette spécification de **POSITION** attachée à l'élément toléré "tête de bielle" **surface nominale cylindrique** impose à l'axe de cet élément de se situer dans un espace de type **volume limité par un cylindre de diamètre t_2** d'axe contraint parallèle à **DROITE-A** et à distance **L** de **DROITE-A**, axe du cylindre associé par le critère du plus grand élément tangent intérieur à l'élément de référence "pied de bielle" **surface nominale cylindrique repérée A**.

Remarque :

On pourra remarquer la nature différente des volumes constituant les zones de tolérance clairement explicitée par l'expression des spécifications (utilisation du modificateur \emptyset). Cette différence est justifiable par les contraintes fonctionnelles liées aux spécifications.

ECRITURE DE SPECIFICATIONS

CORECR 4 : PROPOSITION DE CORRIGE DE L'APPLICATION ECR 4 PISTON



Commentaires :

1. Spécification par dimension portant sur le diamètre du piston

Cette spécification impose à toute distance locale du type "diamètre" définie entre deux points extraits de la surface nominale cylindrique (élément non idéal) d'avoir une valeur comprise entre $D - t$ et $D + t$.

2. Spécification par zone de tolérance portant sur la forme du piston

Cette spécification de **CYLINDRICITE** attachée à l'élément toléré **surface nominale cylindrique** impose à cet élément de se situer dans un espace de type **volume limité par deux cylindres coaxiaux de différence de rayon $t1$** .

3. Spécification par zone de tolérance portant sur l'orientation de la jupe du piston par rapport aux logements d'axe

Cette spécification de **PERPENDICULARITE** attachée à l'élément toléré **surface nominale cylindrique** impose à l'axe de cet élément de se situer dans un espace de type **volume limité par deux plans distants de $t2$** contraints perpendiculaires à **DROITE A-B** axe des cylindres CYL-A et CYL-B associés aux éléments de référence **surfaces nominale cylindriques repérées A et B**.

L'axe référence spécifiée est le résultat de l'association de deux cylindres coaxiaux plus grands éléments idéaux tangents intérieurs aux alésages repérés A et B.

Remarques :

On notera que l'expression d'une spécification par dimension avec exigence complémentaire de l'enveloppe (E) peut également définir une contrainte de forme sur la jupe de ce piston.