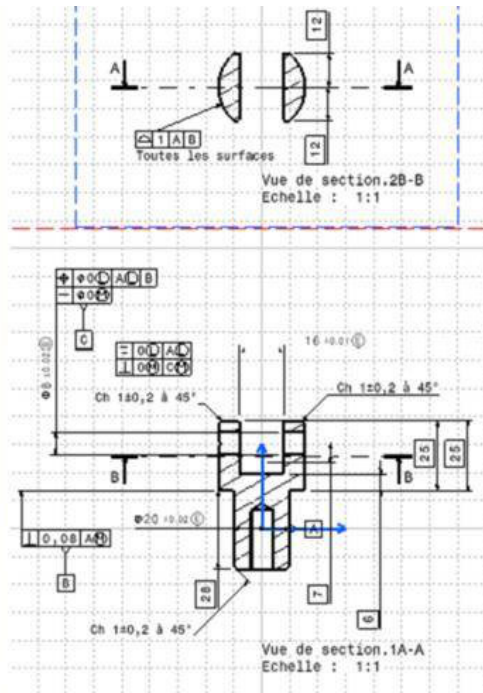
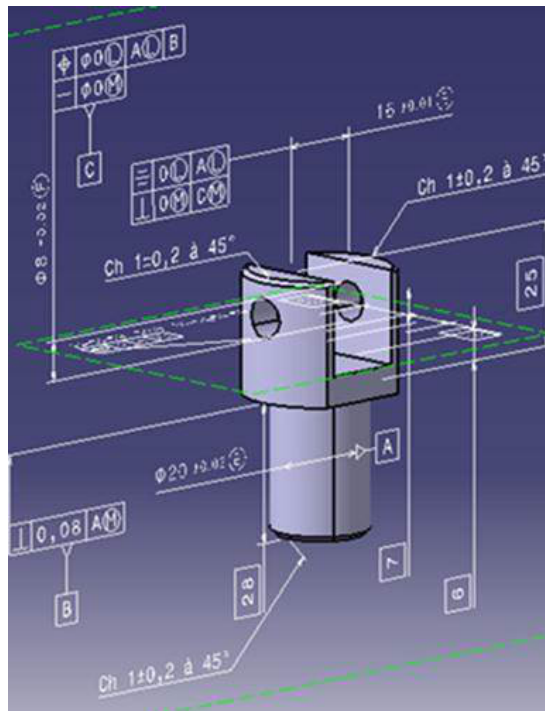




SPÉCIFICATION GÉOMÉTRIQUE



Compétences visées:

- A5-04** Justifier le besoin fonctionnel d'une spécification.
- A5-05** Décoder les spécifications géométriques par taille, par zone et par gabarit.
- A5-06** Analyser le lien entre la liaison mécanique et les systèmes de référence associés aux surfaces des composants participants.
- E1-05** Lire et décoder un document technique.

Table des matières

1	Introduction	3
1.1	Objectifs	3
1.2	Retour sur le principe de l'indépendance	4
2	Tolérancement géométrique	4
2.1	Les opérations	6
2.2	Élément tolérancé	7
2.2.1	Élément tolérancé unique	7
2.2.2	Groupe d'éléments tolérancés	8
2.2.3	Zone commune	9
2.3	Éléments de référence (ER)	9
2.3.1	Élément de référence unique	9
2.3.2	Éléments de références multiples	10
2.4	Références spécifiées (RS)	10
2.4.1	Référence spécifiée unique	11
2.4.2	Système de références spécifiées	11
2.4.3	Références spécifiées commune	12
2.5	Zone de tolérance (ZT)	12
3	Spécifications de forme	14
3.1	Planéité	14
3.2	Circularité	15
4	Spécifications d'orientation et de position	16
4.1	Parallélisme	16
4.2	Coaxialité	16



1 Introduction

Pour garantir le bon fonctionnement d'un système, on traduit les conditions fonctionnelles en spécifications (cf. cours cotation fonctionnelle dimensionnelle). Les moyens de fabrication étant imparfaits, il est également nécessaire de spécifier les variations tolérées, on appelle cela le tolérancement. Depuis 50 ans, l'évolution des concepts métrologiques et des méthodologies définies par les normes a engendré la cohabitation de modes de tolérancement ; l'insuffisance de certains modes ayant permis d'en faire apparaître d'autres. Ce cours en effectue une synthèse. Il s'appuie sur les normes GPS (Geometrical Product Specification) de base ISO qui s'attachent à harmoniser tous les modes de tolérancement.

1.1 Objectifs

Nous avons vu dans le cours sur le tolérancement dimensionnel que la norme limitait les tolérances linéaires aux cas où la distance entre deux points existe physiquement. Le même raisonnement peut être conduit pour des tolérances angulaires. Ainsi sur la figure ci-dessous, la version du haut n'est pas la norme et est fautive (même si on la rencontre encore sur certains documents). On ne peut en effet appliquer une tolérance dimensionnelle entre un plan et l'axe d'un cylindre (pas de bipoints possible). Il faut alors « localiser » l'axe du perçage selon le dessin de définition du bas.

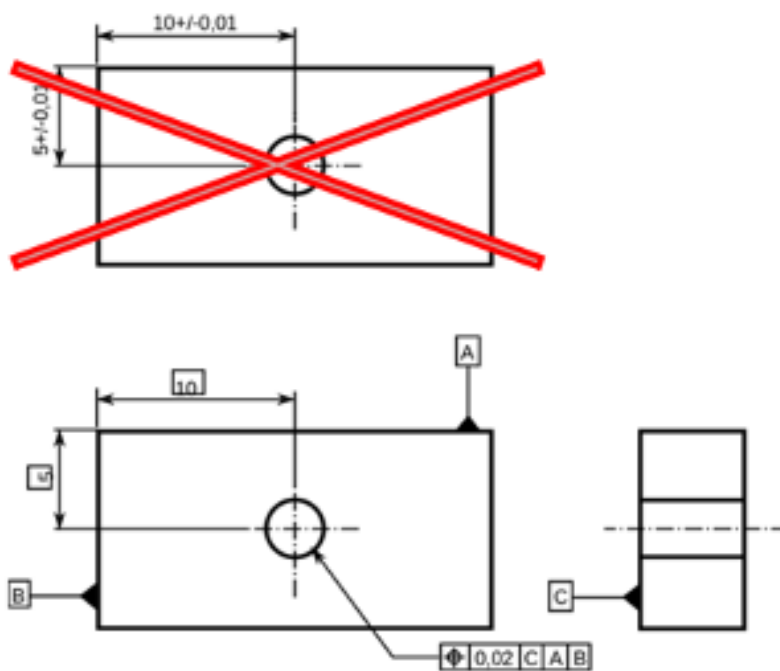


FIGURE 1 – Premier exemple ce qu'il ne faut pas faire (en haut) et faire (en bas)

Objectif

Nous pouvons alors donner les objectifs du tolérancement géométrique :

- Lors de la phase de conception, il permet de définir des spécifications géométriques qui doivent assurer que différentes pièces pourront s'assembler.
- Lors de la fabrication, il permet de faire en sorte que les moyens de fabrication utilisés soient compatibles avec les pièces qu'on cherche à fabriquer.
- Lors du contrôle des produits finis, le tolérancement géométrique doit permettre de s'assurer que la pièce fabriquée est compatible avec le cahier des charges.

Le principe du tolérancement géométrique est de définir les variations géométriques que peut avoir la pièce.



Ainsi, pour chaque surface fonctionnelle d'un produit, il permet de définir une zone de tolérance géométriquement parfaite. On devra alors vérifier, que chacune des surfaces fonctionnelles de la pièce réelle est comprise dans cette zone de tolérance.

1.2 Retour sur le principe de l'indépendance

Chaque exigence dimensionnelle ou géométrique, spécifiée sur un dessin doit être respectée en elle-même (indépendamment), sauf si une relation particulière est spécifiée.

On retrouve deux types de tolérancement :

- Le tolérancement dimensionnel (voir cours précédent)
 - ◊ Tolérances linéaires ;
 - ◊ Tolérances angulaires.
- Le tolérancement géométrique
 - ◊ Tolérances de forme ;
 - ◊ Tolérances d'orientation ;
 - ◊ Tolérances de position ;
 - ◊ Tolérances de battement.

2 Tolérancement géométrique

Un tolérance géométrique sera composé de :

- Le (ou les) élément(s) tolérancé(s) ;
- Le symbole de la spécification ;
- L'étendue de la zone de tolérance ;
- Dans certains cas une (ou un système) de référence(s) spécifiée(s). Dans ce cas, les éléments de référence sont précisés sur le dessin de définition.

Groupe d'éléments tolérancés

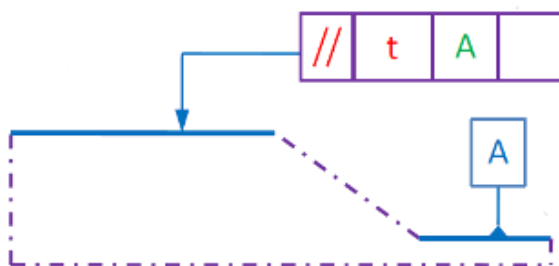


FIGURE 2 – Composition d'une tolérance géométrique

La représentation des tolérances géométriques est normalisée, elle s'appuie sur les symboles suivants :

Les tolérances géométriques - NF EN ISO 1101			
Type de tolérance	Cas	Symbole (ISO)	Observation
Tolérances de forme	Rectitude		S'utilisent sans éléments de référence
	Planéité		
	Circularité		
	Cylindricité		
	Profil d'une ligne		
	Profil d'une surface		
Tolérances d'orientation	Parallélisme		S'utilisent avec éléments de référence (axe, plan, ...)
	Perpendicularité		
	Inclinaison		
Tolérances de position	Concentricité (centre) Coaxialité (axes)		
	Symétrie		
	Localisation		
Tolérances de battement	Battement circulaire		
	Battement total		

Symboles complémentaires	
	Exigence ou principe de l'enveloppe
	Exigence au maximum de matière
	Indication de l'élément de référence
	Dimension théoriquement exacte

Dans le cas général, on sera amené à compléter le document suivant (matrice GPS) :

N° fiche GPS		Eléments non idéaux « Skin model »	Eléments idéaux
Spécification		Eléments de référence	Référence spécifiée SIMPLE / COMPOSEE / SYSTEME
Type			
Auteur			
Modèle nominal		Elément tolérancé	Elément théorique exact
"Skin model"		Caractéristique	Condition

On retrouve dans ce tableau, en plus de la première colonne précisant le type de spécification et un extrait du dessin de définition relatif à cette spécification :

- Les éléments non idéaux (également appelés «skin model») ; il s'agit de décrire les éléments tolérancés et de référence. Ces éléments non idéaux (géométrie non parfaite) peuvent être :
 - ◊ [S] : Surface,
 - ◊ [L] : Ligne,
 - ◊ [P] : Point.
- Les éléments idéaux que sont les références spécifiées et l'élément théorique exact. Il sont complétés par les caractéristiques et les conditions. Les éléments idéaux peuvent être :
 - ◊ [PL] : Plan, [CY] : Cylindre, [CO] : Cône, [SP] : Sphère, [TO] : Tore,
 - ◊ [DR] : Droite, [CR] : Cercle,
 - ◊ [PT] : Point, ...

Nous allons maintenant décrire, dans l'ordre, chacun des éléments introduits ci-dessus. Les éléments tolérancés sont des éléments réels. Ils peuvent être des points, des « lignes réelles », des « surfaces réelles ». Ils sont désignés par une flèche pointant une surface de la pièce ou une cote. Lorsque la flèche pointe sur une cote, l'élément tolérancé est un élément dit « dérivé » (axe de cylindre, plan médian, ...).

2.1 Les opérations


Afin de définir les éléments idéaux et non idéaux, des opérations sont utilisées :

Définition *La partition*


La partition est utilisé pour obtenir à partir du skin model, des éléments non idéaux correspondant aux éléments nominaux.

Définition *L'extraction*

L'opération permet d'identifier à partir d'un élément, un nombre de point donné.


 **Définition** *Le filtrage*

Il permet de distinguer la rugosité, l'ondulation, la structure et la forme.

 **Définition** *L'association*

Elle permet d'associer un élément idéal à un élément non idéal. Pour cela elle doit respecter quelques critères :

- Minimisation au sens des moindres carrés
- Maximiser le diamètre du cercle circonscrit
- Minimiser le diamètre du cercle inscrit
- Être tangent à la surface non idéale

 **Définition** *La collection*

Elle est utilisée pour former un seul élément à partir de deux éléments idéaux ou non

 **Définition** *La construction*

Elle est utilisée pour construire un élément idéal à partir d'autres éléments. Cette opération doit respecter des contraintes.

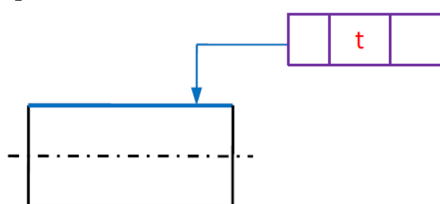
2.2 Élément tolérancé

2.2.1 Élément tolérancé unique

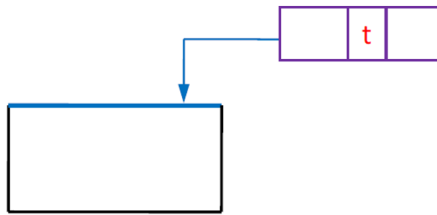
Cas où l'élément tolérancé pointe directement sur une surface

Spécification :

Élément tolérancé



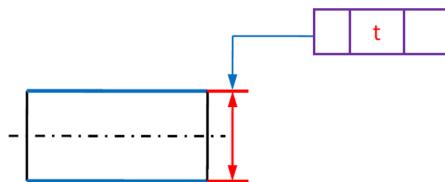
Spécification :



Élément tolérancé

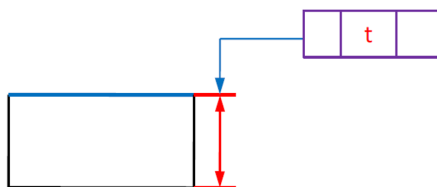
Cas où l'élément tolérancé pointe sur une cote (rappel de cote)

Spécification :



Élément tolérancé

Spécification :



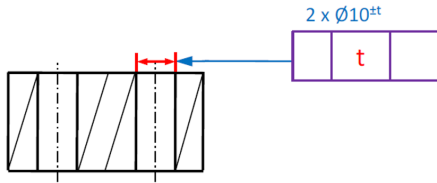
Élément tolérancé

Les deux cas précédents illustrent les cas des éléments tolérancés portant sur des éléments dérivés. On parle aussi d'éléments tolérancés construits. C'est le cas uniquement lorsque l'élément tolérancé est situé en face d'une ligne de cote bi-limite (\longleftrightarrow).

2.2.2 Groupe d'éléments tolérancés

On parle de groupe d'éléments tolérancés lorsqu'on précise un nombre au-dessus de la spécification géométrique.

Spécification :

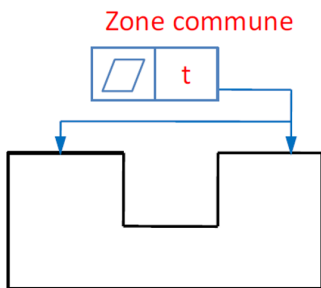


Élément tolérancé

2.2.3 Zone commune

L'indication « Zone Commune » ou l'abréviation « ZC » (ou « CZ » pour « Common Zone » en anglais) est explicitement notifiée.

Spécification :



Élément tolérancé

2.3 Éléments de référence (ER)

L'élément de référence est un élément réel issu du skin model. Cet élément est désigné par un triangle noirci. Il portera toujours sur des éléments intégraux et dans ce cas, l'élément pourra être :

- une surface nominale plane ;
- une surface nominale cylindrique ;
- une ligne nominale circulaire.

2.3.1 Élément de référence unique

On est dans la situation suivante :

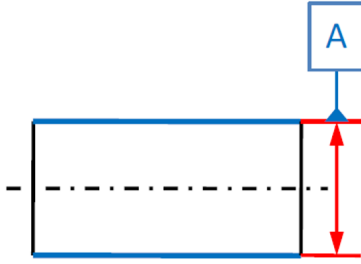


Spécification :



Élément de référence

Spécification :



Élément de référence :

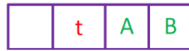
Spécification :



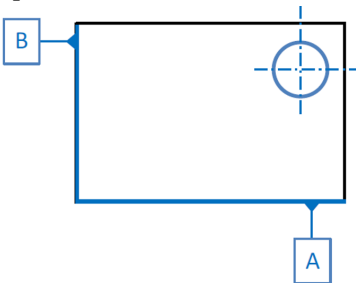
Élément de référence :

2.3.2 Éléments de références multiples

On est dans la situation suivante :

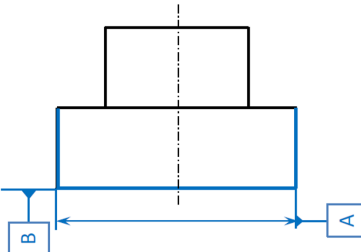


Spécification :



Élément de référence :

Spécification :



Élément de référence :

2.4 Références spécifiées (RS)

La référence spécifiée est un élément idéal. Ce ne peut être qu'un point, une droite ou un plan. Elle est construite géométriquement à partir de l'élément de référence selon un critère d'association. Voici, regroupés



dans le tableau ci-dessous, les différents critères d'association. On notera que la référence spécifiée est toujours extérieure à la matière.

Élément de Référence (ER)	Référence Spécifiée (RS) avec critère d'association
Surface nominale plane	<ul style="list-style-type: none"> Le plan tangent extérieur matière qui minimise le défaut de forme (ou l'écart maxi : critère « min-max »)
Surface nominale cylindrique	<ul style="list-style-type: none"> L'axe du plus grand cylindre inscrit à l'ER (dans le cas d'un alésage) L'axe du plus petit cylindre circonscrit à l'ER (dans le cas d'un arbre)
Ligne nominale circulaire	<ul style="list-style-type: none"> Le point, centre du plus grand cercle inscrit (alésage) Le point, centre du plus petit cercle circonscrit (arbre)

Nous allons maintenant décrire avec quelques exemples ce que sont les références spécifiées uniques, ainsi que les systèmes ordonnés de références spécifiés et enfin les références spécifiées communes.

2.4.1 Référence spécifiée unique

On est dans la situation suivante :



Spécification :



Élément de référence

Spécification :



Élément de référence :

2.4.2 Système de références spécifiées

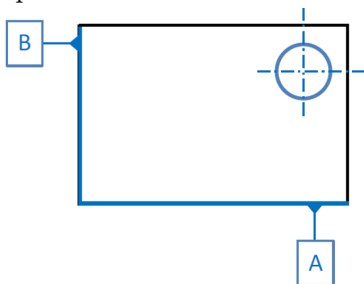
Lorsque plusieurs références spécifiées sont précisées dans le cadre de la tolérance, on parle de systèmes de références spécifiées. La première référence spécifiée est construite avec un critère d'association usuel par rapport à l'élément de référence primaire. La référence secondaire doit être contrainte par rapport à la référence primaire

(contraintes de positionnement et/ou d'orientation). Il en est de même pour la référence spécifiée tertiaire, si elle existe...

On est dans la situation suivante :

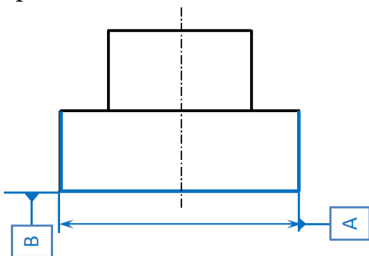
	t	A	B
--	---	---	---

Spécification :



Élément de référence :

Spécification :



Élément de référence :

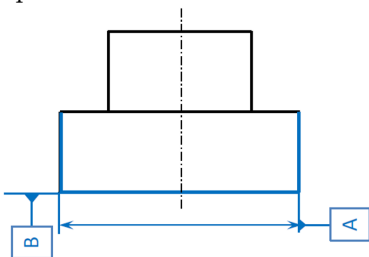
2.4.3 Références spécifiées commune

Ici, il n'y a pas d'ordonnancement des références spécifiées. La référence spécifiée « A-B » est construite à partir de deux éléments simples. Lorsque la référence spécifiée commune est établie par deux éléments, elle est indiquée par deux lettres séparées par un trait d'union.

On est dans la situation suivante :

	t	A-B
--	---	-----

Spécification :



Élément de référence :

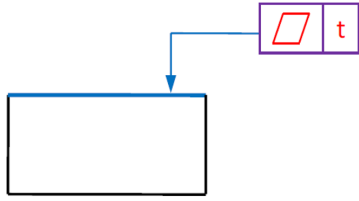
2.5 Zone de tolérance (ZT)

Une zone de tolérance est un volume ou une surface géométrique parfait(e). Afin de garantir la conformité de la pièce, il est nécessaire que l'élément tolérancé soit situé dans la zone de tolérance. La zone de tolérance est unique si l'élément tolérancé est unique. La zone de tolérance est composée lorsqu'on prend en compte un groupe d'éléments tolérancés.

La forme de la zone de tolérance dépend du symbole de la spécification de la nature de l'élément toléré et du modificateur se situant devant la valeur de la tolérance. Le tableau présenté en début de paragraphe donne les différents types de spécifications possibles.

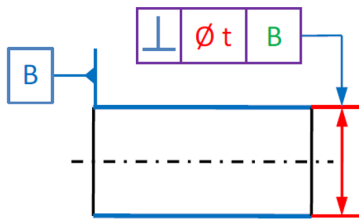
Spécification :

Zone de référence :



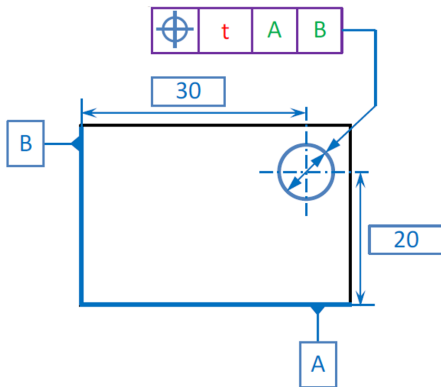
Spécification :

Zone de référence :

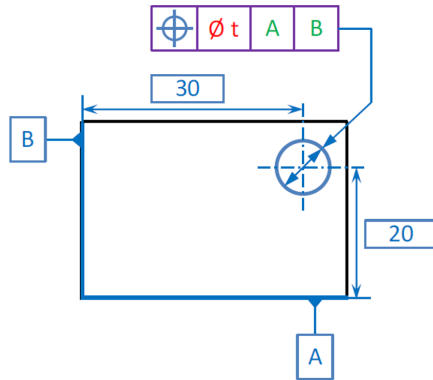


Spécification :

Zone de référence :



Spécification :



Zone de référence :

3 Spécifications de forme

Les défauts de forme sont des défauts intrinsèques à une surface. On définit un volume de l'espace non localisé et non orienté dans lequel l'élément spécifié doit être contenu. On appelle ce volume la zone de tolérance ZT. La spécification sera d'autant plus précise que la ZT sera petite.

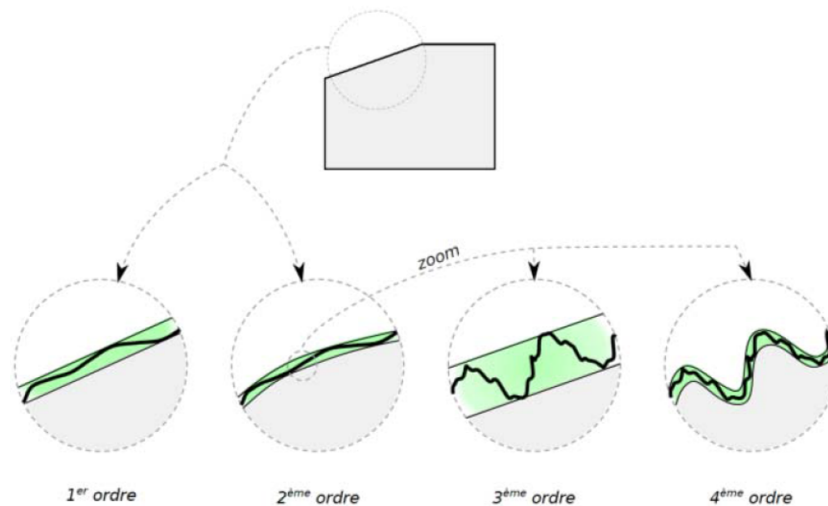


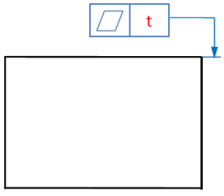
FIGURE 3 – Classification des défauts de forme

Il y a 4 niveaux de description de ces défauts :

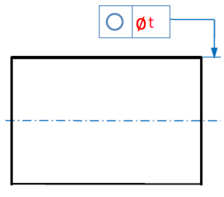
- Défauts du 1er ordre : défauts de forme à proprement dits ;
- Défauts du 2ème ordre : défauts d'ondulation (ligne enveloppe supérieure) ;
- Défauts du 3ème ordre : rugosité (défauts réguliers)
- Défauts du 4ème ordre : rugosité (défauts irréguliers)

Dans le cadre des défauts géométriques de forme, on quantifiera les défauts du premier et du deuxième ordre.

3.1 Planéité

N° fiche GPS		Eléments non idéaux « Skin model »	Eléments idéaux
Spécification		Eléments de référence	Référence spécifiée SIMPLE / COMPOSEE / SYSTEME
Type			
Auteur			
Modèle nominal		Elément tolérancé	Elément théorique exact
			
"Skin model"		Caractéristique	Condition

3.2 Circularité

N° fiche GPS		Eléments non idéaux « Skin model »	Eléments idéaux
Spécification		Eléments de référence	Référence spécifiée SIMPLE / COMPOSEE / SYSTEME
Type			
Auteur			
Modèle nominal		Elément tolérancé	Elément théorique exact
			
"Skin model"		Caractéristique	Condition

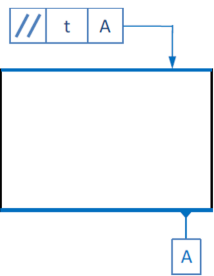
4 Spécifications d'orientation et de position

Ce sont des défauts relatifs à une autre surface.

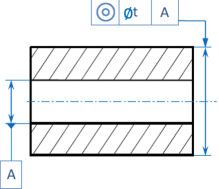
- On construit un système de référence ;
- On définit une zone de tolérance :
 - ◊ Seulement orientée par rapport à ce système de référence dans le cas d'une spécification d'orientation, dans laquelle l'élément tolérancé doit être contenu ;
 - ◊ Positionnée et orientée par rapport à ce système de référence dans le cas d'une spécification de position, dans laquelle l'élément tolérancé doit être contenu.

Nous allons maintenant décrire deux exemples de spécifications d'orientation (parallélisme et perpendicularité) et quelques exemples de spécification de position.

4.1 Parallélisme

N° fiche GPS	Eléments non idéaux « Skin model »	Eléments idéaux
Spécification	Eléments de référence	Référence spécifiée SIMPLE / COMPOSEE / SYSTEME
Type		
Auteur		
Modèle nominal	Elément tolérancé	Elément théorique exact
		
"Skin model"	Caractéristique	Condition

4.2 Coaxialité

N° fiche GPS		Eléments non idéaux « Skin model »	Eléments idéaux
Spécification		Eléments de référence	Référence spécifiée SIMPLE / COMPOSEE / SYSTEME
Type			
Auteur			
Modèle nominal		Elément tolérancé	Elément théorique exact
			
"Skin model"		Caractéristique	Condition