

**DEMARCHE DE SPECIFICATION GEOMETRIQUE DES PRODUITS**

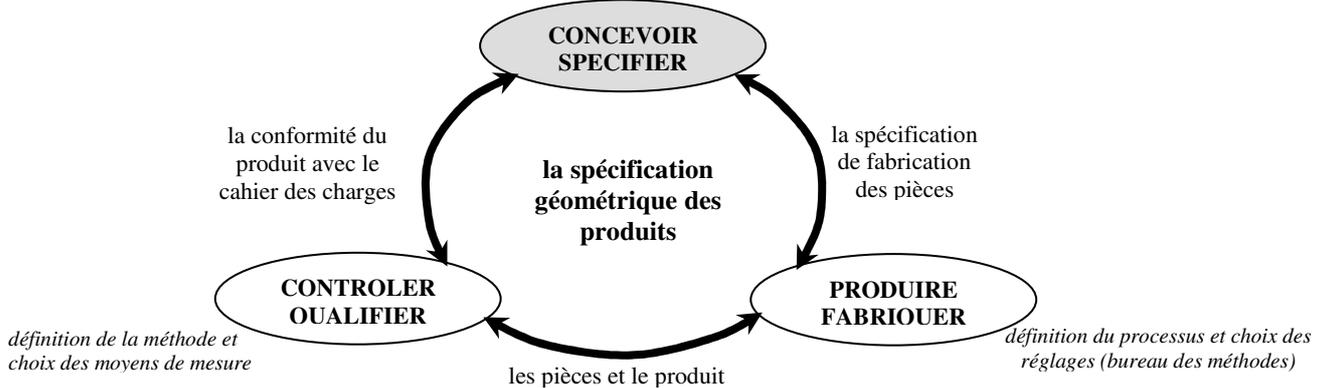
**APPLICATION A L'INTERFACE DE LA PINCE DU MANIPULATEUR SCHRADER (cf. CONCEPTION DE FORMES)**

**1. PRELIMINAIRE : ANALYSE FONCTIONNELLE**

La spécification géométrique des produits consiste à définir dans le cadre de normes ISO:

- les caractéristiques géométriques fonctionnelles entre les pièces
- les caractéristiques macro géométriques (cf. tolérance de formes) et micro géométriques (cf. états des surfaces) des surfaces des pièces et les limites de leur variation assurant le fonctionnement attendu du produit.

*définition des conditions fonctionnelles du produit et des spécifications géométriques des pièces (bureau d'études)*



Dans les trois étapes du processus d'élaboration d'un produit industriel (concevoir-fabriquer-contrôler-qualifier), la démarche de spécification géométrique est appliquée dans l'étape de conception dans laquelle le technicien doit :

**→ concevoir le mécanisme**

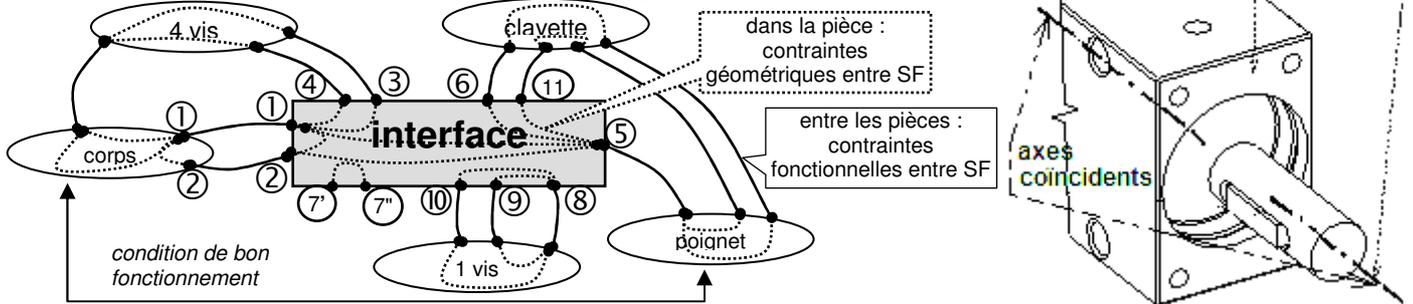
- l'imaginer en répondant au cahier des charges fonctionnel
- le modéliser en créant un **modèle nominal** (modélisation géométrique), sensé respecter les conditions de fonctionnement

**→ exprimer les conditions de bon fonctionnement-pour ce mécanisme**

Ce modèle est composé de surfaces parfaites ou idéales, liées entre-elles par des conditions géométriques parfaitement définies et répondant au besoin. Il faut définir alors les surfaces influentes permettant de transformer les conditions de fonctionnement en des conditions géométriques fonctionnelles entre les pièces (exploiter l'Analyse Fonctionnelle Technique du mécanisme, diagramme FAST)

Pour l'application il s'agit d'une **interface** garantissant le positionnement sans mouvement relatif de l'arbre du poignet par rapport au corps de pince avec deux conditions géométriques et la non altération de leurs formes de l'arbre du poignet avec l'axe de l'alésage du corps de la pince.

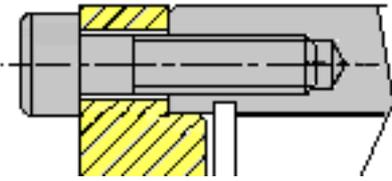
Circuits des contacts entre les surfaces fonctionnelles des pièces du mécanisme :



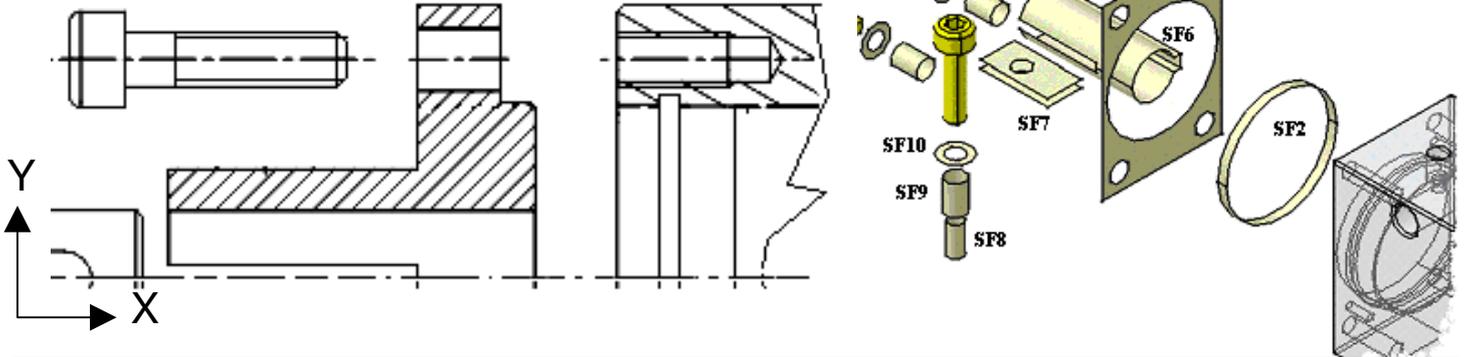
**→ exprimer les conditions fonctionnelles entre les pièces et la pièce à spécifier**

à partir des solutions constructives du diagramme FAST ; pour chaque **pièce** déduire de ces conditions fonctionnelles les contraintes dimensionnelles et géométriques (par ex. pour l'interface : plan ① ⊥ cylindre court ② ; cylindre court ② coaxial à alésage ⑤) qui amèneront le concepteur à proposer des spécifications géométriques sur des surfaces ou entre surfaces (cf. utiliser le tableau suivant). Ces spécifications sont d'autant de **limitations géométriques** imposées aux surfaces fonctionnelles pour garantir le bon fonctionnement du mécanisme. Pour mieux appréhender les formes des surfaces fonctionnelles, on a éclaté les surfaces fonctionnelles de contact et de passage idéales de la pièce **interface** (cf. voir figure suivante)

→ chaîne de cotes pour contraintes



→ circuit ou graphe des contacts pour conditions fonctionnelles et contraintes géométriques



**→ à partir des conditions fonctionnelles déduire les contraintes géométriques de la pièce**

AFT (*)	conditions fonctionnelles	surfaces fonctionnelles de la pièce interface		contraintes géométriques					
		désign.	nature géométrique	tf	to	tp	autres	références	
FT <sub>1</sub> : réaliser une liaison encastrement entre l'interface et corps de la pince	mip de l'interface par rapport au corps de la pince	SF1	1 surface plane de grande étendue						
		SF2	1 surface cyl. de révol. faible étendue (centrage court)						
	map de l'interface par rapport au corps de la pince	SF3	4 trous de passage des vis						
		SF4	4 surfaces planes d'appui des têtes de vis						
FT <sub>2</sub> : réaliser une liaison encastrement entre l'interface et l'arbre poignet	mip de l'interface par rapport à l'arbre du poignet	SF5	1 surface cyl. de révol. grande étendue (centrage long)						
		SF6	1 rainure de clavette débouchant dans alésage						
	map de l'interface par rapport à l'arbre du poignet	SF7	1 fente pour le pincement						
		SF8	1 taraudage						
		SF9	1 trou de passage pour la vis						
		SF10	1 surface plane d'appui de la tête de vis						

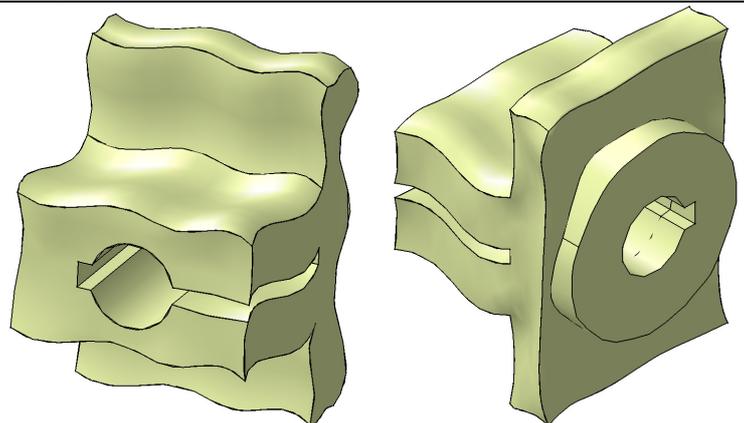
(\*) AFT analyse fonctionnelle technique : éléments du diagramme FAST utilisé pour la conception de l'interface

**2. DEMARCHE DE SPECIFICATION GEOMETRIQUE**

**2.1. Elaboration du « skin model »**

**→ imaginer le modèle non parfait de la pièce, le «skin model »**

Dans l'étape de conception le concepteur élabore son modèle de spécifications sur une représentation de produit qui n'existe pas. Pour définir des éléments géométriques d'une zone de tolérance fictive incluant la variation d'une surface nominale il lui faut donc **imaginer un modèle non parfait** de sa pièce présentant des défauts (amplifiés) probables ou possibles liés au procédés d'obtention choisis, au matériau, etc... Ce modèle particulier sera considéré comme présentant une seule surface d'où l'appellation de « modèle de la peau de la pièce ». Le technicien pourra ainsi extraire les **éléments géométriques imparfaits** correspondant aux surfaces influentes repérées lors de l'étape précédente pour leur associer des **éléments géométriques idéaux**.



## 2.2. Rappels de quelques définitions du langage ISO

- **élément tolérancé (ET)**: élément géométrique **réel**, "non idéal", sur lequel s'applique la tolérance, extrait du « skin model »
- **zone de tolérance (ZT)**: espace dans lequel l'élément tolérancé ET doit se trouver dans son intégralité. Cet espace est un volume (ou surfaces) limité par des éléments « **idéaux** » (droite, plan, cylindre)
- **élément de référence (ER)**: élément géométrique **réel**, "non idéal", (surface ou ligne) extrait du « skin model » par rapport auquel on souhaite positionner ou orienter la ZT
- **référence spécifiée (RS)**: élément géométrique **idéal** du type **point, droite, plan**. Ils sont associés aux éléments de référence ER et permettent positionner ou orienter la ZT rigoureusement. Pour cette première approche on se limitera aux RS droite et plan. Ils sont rendus idéaux suivant des critères mathématiques (non développés ici).

## 2.3. Définition du système principal de références spécifiées de la pièce

### → construire un système de références spécifiées de la pièce

*Note* : les règles de construction d'un système de références spécifiées (suite ordonnée de deux ou trois éléments idéaux du type point, droite, plan) ne sont pas données par les normes. Le canevas de construction de ce référentiel est proposé pour un cadre uniquement pédagogique

Nécessité d'un système de référence :

Les tolérances de forme ne font appel à aucune référence. Par contre, pour les autres tolérances géométriques, il faut utiliser une ou plusieurs références. Lorsqu'il y en a plusieurs, on parle de « système de référence » et l'ordre a de l'importance ; la première citée est la « référence primaire », la seconde la « référence secondaire » et ainsi de suite.

L'ordre des références présente des similitudes avec la **mise en position** isostatique d'une pièce. Dans l'application de la démarche de spécification géométrique, le concepteur doit avoir en tête la manière dont la pièce va être fabriquée et contrôlée, afin ces références correspondent si possible aux surfaces (ou arrêtes) utilisées pour la mise en position lors de ces opérations.

En général il est élaboré à partir de trois surfaces fonctionnelles de **contact** (judicieusement choisies) assurant dans un assemblage la **mise en position** de la pièce à spécifier par rapport aux autres pièces qui lui sont liées. Trois éléments de référence y sont donc associés et permettent la mise en place d'un trièdre de référence. Cette mise en position est assurée en partie par une surface dite prépondérante qui dépend : de l'étendue de la zone de contact (surface qui supprime le plus de ddl), des jeux, des efforts transmissibles pour assurer le maintien en position par rapport aux autres pièces.

Étapes pour définir ce référentiel :

#### → élément de référence primaire

- en général choisir la surface **prépondérante** avec priorité au **contact maintenu** (par map) par rapport à un contact flottant
- si l'élément de référence (ER) primaire choisi est :
  - un plan : **la référence spécifiée est un plan idéal** associé à cet élément de référence. Ce plan est aussi l'élément tolérancé (ET) à spécifier par une tolérance de forme de planéité si nécessaire
  - un cylindre de révolution (arbre ou alésage) : **la référence spécifiée est une droite idéale**, axe de cet élément de référence rendu idéal suivant un critère. Ce cylindre de révolution est aussi l'élément tolérancé (ET) à spécifier par une tolérance de forme de cylindricité si nécessaire. Lorsqu'il s'agit d'un assemblage de deux pièces à réaliser, ce cylindre peut-être aussi l'élément tolérancé (ET) à spécifier par son diamètre avec exigence de l'enveloppe « E »
- désigner ER (par ex : ►—

		A
--	--	---

) et dans le cadre de la tolérance nommer la **référence spécifiée primaire** A associée à ER :

		A
--	--	---

#### → élément de référence secondaire

- en général choisir une surface associée (de par sa fonction technique ou par le procédé de fabrication) à la surface choisie comme élément de référence primaire
- si l'élément de référence (ER) secondaire choisi est un plan ou un cylindre de révolution appliquer respectivement les démarches précédentes spécifiques à l'élément de référence primaire
- spécifier son orientation par rapport à la référence spécifiée primaire A (en général 

⊥
---

 ou 

⊕
---

 avec un angle de 

90°
-----

 implicite)
- désigner ER (par ex : ►—

	B
--	---

) et nommer dans le cadre de la tolérance la **référence spécifiée secondaire** B associée à ER :

		A	B
--	--	---	---

#### → élément de référence tertiaire

- si l'élément de référence (ER) tertiaire choisi est un plan ou un cylindre de révolution appliquer respectivement les démarches précédentes spécifiques à l'élément de référence primaire
- spécifier son orientation par rapport aux références spécifiées précédentes A et B
- rajouter une tolérance de localisation par rapport aux références spécifiées précédentes A et B, si elle a un sens
- désigner ER (par ex : ►—

		C
--	--	---

) et nommer dans le cadre de la tolérance la **référence spécifiée tertiaire** C associée à ER :

		A	B	C
--	--	---	---	---

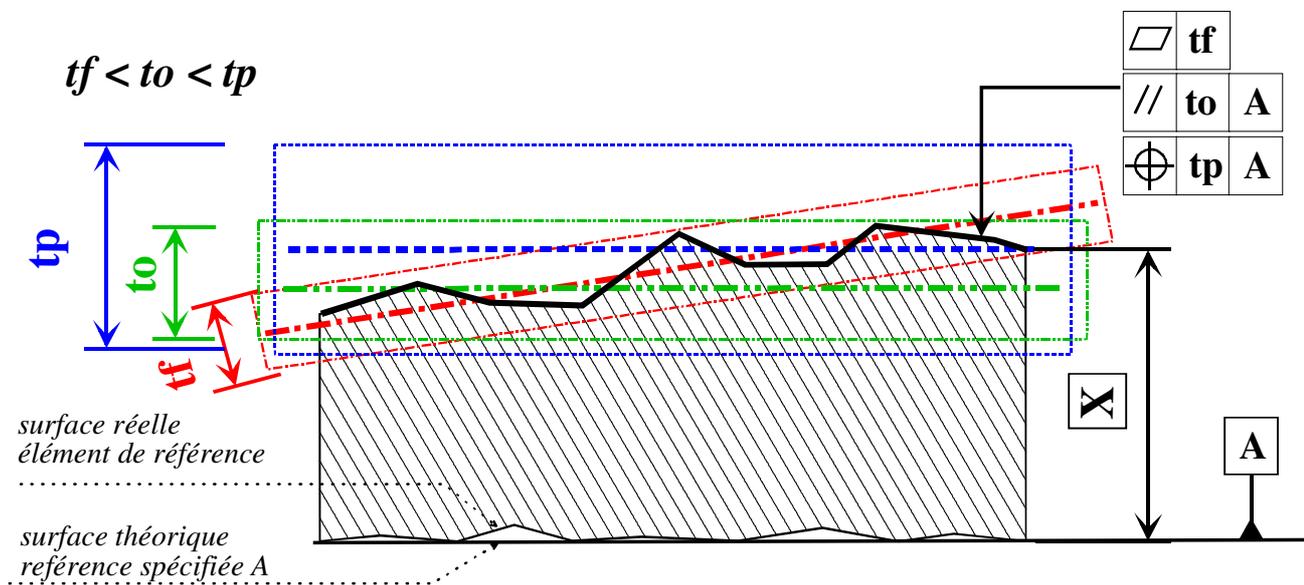
## 2.4. Spécification des autres surfaces fonctionnelles de la pièce

Spécifier les autres surfaces fonctionnelles par fonction par technique. Pour chaque surface, ici élément tolérancé, si les conditions fonctionnelles l'imposent, spécifier:

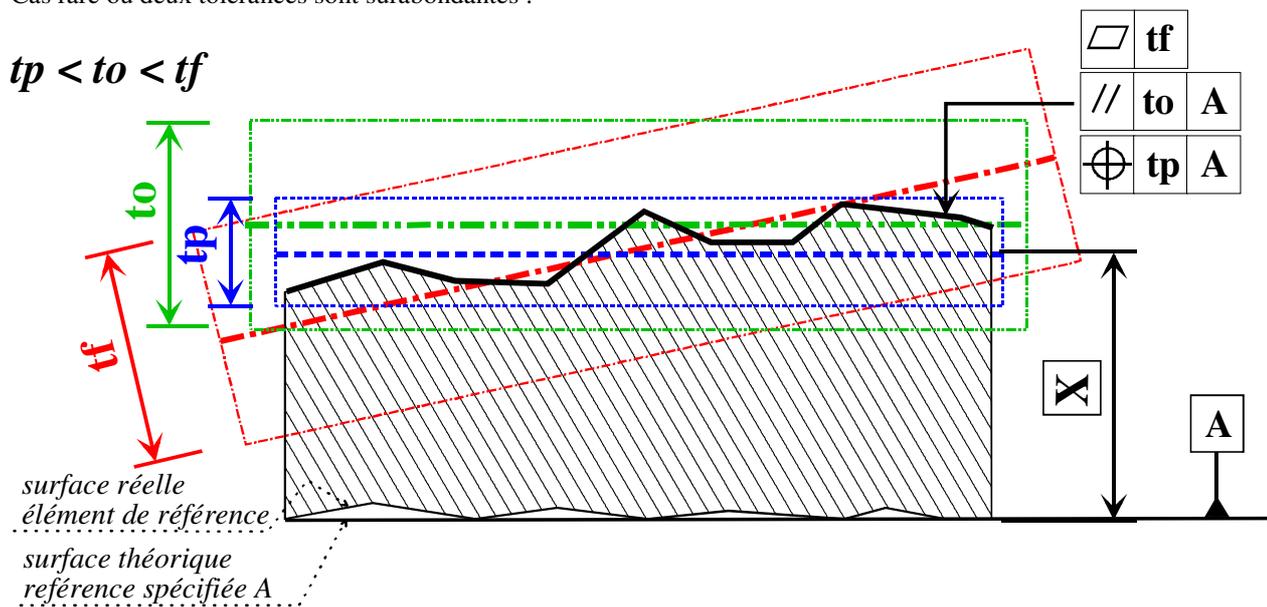
- une tolérance de position par rapport au système de référence principal\*
- une tolérance d'orientation par rapport au système de référence principal\*
- une tolérance de forme

(\*) un autre système de référence intermédiaire peut être défini si nécessaire

La même nécessité fonctionnelle peut être exprimée différemment, en effet, on peut souvent exprimer la même condition en utilisant les tolérances d'orientation (to) ou de position (tp), mais il est souhaitable de privilégier l'utilisation des tolérances de position. Toutefois, si des raisons fonctionnelles l'exigent, il est possible d'indiquer des valeurs restrictives (c'est à dire inférieures à tp) d'IT à l'orientation et à la forme (tf) de l'élément : cas où  $tf < to < tp$  :



Cas rare où deux tolérances sont surabondantes :



## 2.5. Application du principe de cotation en localisation

### → spécifier en localisation si possible

En phase d'apprentissage, il s'agit de positionner les surfaces fonctionnelles (de contact ou terminales) les unes par rapport aux autres par des spécifications de **localisation** qui spécifient non seulement une position mais aussi une orientation. A chaque référence indiquée il faut associer impérativement une **dimension linéaire** (ou angulaire) **encadrée**.

## 2.6 Aspect quantitatif des spécifications

Les spécifications n'ont fait apparaître que leurs aspects **qualitatifs**. Il reste au technicien à quantifier la valeur des dimensions caractérisant la zone de tolérance (tp, to, tf). Cette valeur peut être trouvée expérimentalement, par similitude avec d'autres mécanismes et dans certains cas simples calculée. Les outils CAO permettront de proposer des valeurs déduites de l'architecture des mécanismes et de leurs conditions de fonctionnement.

## 3. PRODUIT INDUSTRIEL ET CONCEPT GPS

La démarche présentée correspond à une étape (cf. organigramme du §1) du concept de Spécification Géométrique des Produits (**GPS**) qui répond à une demande d'amélioration de la qualité des produits et une volonté de réduction des coûts d'étude et de réalisation.

Cette demande est accentuée actuellement par le développement de la sous-traitance, la mise en place de plans d'assurance qualité, l'utilisation des outils de CAO qui permettent d'élaborer des modèles géométriques susceptibles d'intégrer de la cotation assistée et/ou automatique.

La phase de vérification des spécifications de la pièce nécessite la création d'un modèle géométrique de vérification, suivi du mesurage de la pièce et du calcul des écarts entre réalité fabriquée (issue des points palpés sur une machine à mesurer tridimensionnelle) et des éléments géométriques idéaux liés à cette réalité

Le concept GPS est un concept **transversal** qui fait intervenir les points de vue du concepteur, du fabricant et du contrôleur.

**4. APPLICATION A LA DEFINITION DE PRODUIT INTERFACE**

**4.1. Définition de produit : interface**

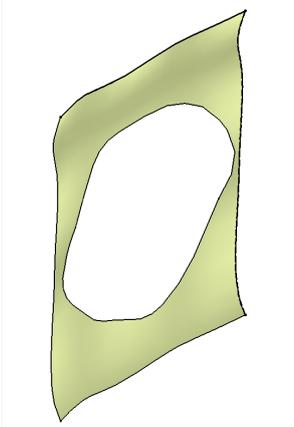
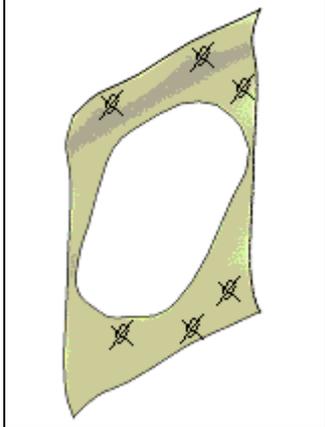
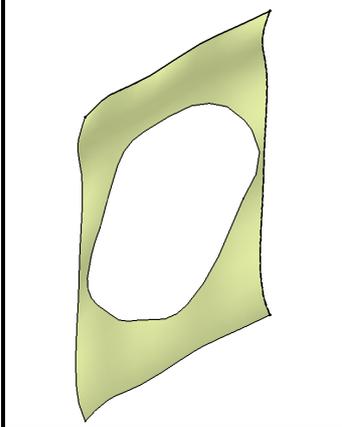
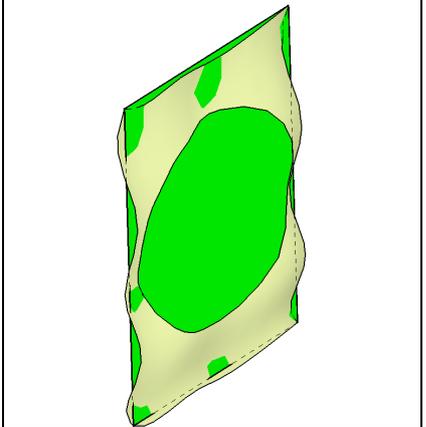
Sur la mise en plan de définition proposée de l'interface surligner en rouge les surfaces fonctionnelles de contact et de passage, réaliser la définition de produit (dimensions, spécifications, états de surfaces) à partir du tableau d'analyse des conditions fonctionnelles (cf. § 1) et en tenant compte des conseils formulés pour l'application de la démarche de spécification géométrique (cf. § 2).

**4.2. Construction des spécifications géométriques**

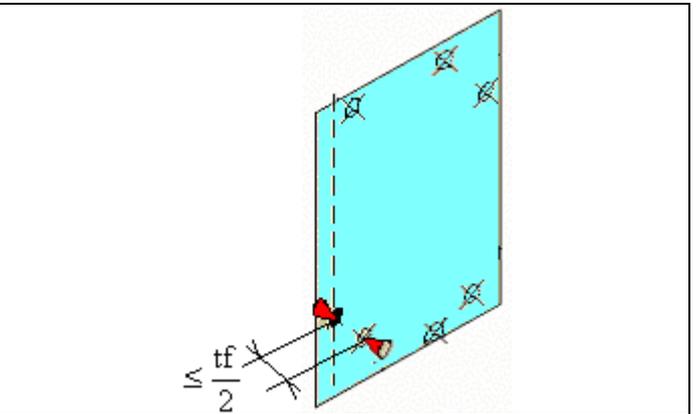
Pour illustrer la construction des spécifications géométriques, on propose une présentation graphique appliquée à trois spécifications géométriques relatives à l'interface. Après avoir préalablement découpé les parties du « skin model » (cf. § 2) afin de définir des surfaces non idéales, correspondant aux surfaces influentes repérées lors des étapes précédentes (cf. § 1), on a décomposé cette construction en trois étapes (■ dans tableaux ci-dessous).

**4.2.1 Analyse littérale d'une spécification de forme**

- élément tolérancé : la surface SF1 doit être contenue entre deux plans parallèles distants de **tf** ( planéité)

■ création de l'élément qui est spécifié en forme		■ création de l'élément permettant d'exprimer les écarts de formes maximum admissibles	
découpage de l'élément non idéal plan SF1	extraction de points α appartenant à l'élément non idéal	découpage de l'élément non idéal plan SF1	association, selon des critères précis (voir métrologie), d'un élément géométrique idéal du type plan à l'élément non idéal précédent
			

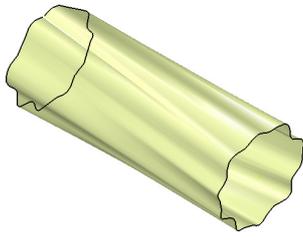
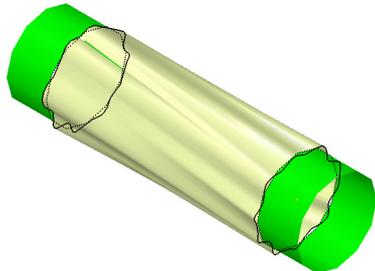
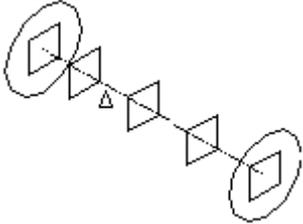
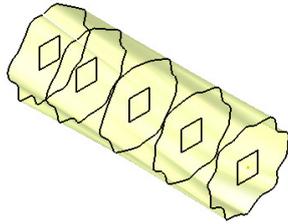
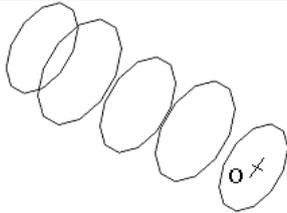
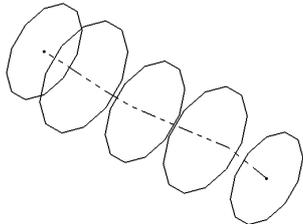
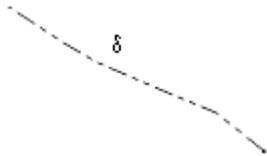
■ expression de la condition fonctionnelle

<p>la distance entre chaque point α de l'élément point extrait et le plan médian Pm de situation de la zone de tolérance doit être inférieure ou égale à <math>\leq tf / 2</math></p> $d(\alpha, Pm) \leq \frac{tf}{2}$	
---	--

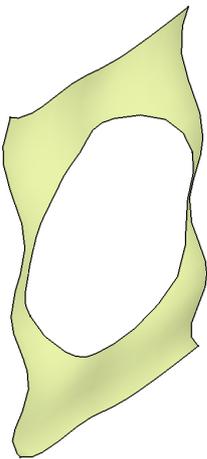
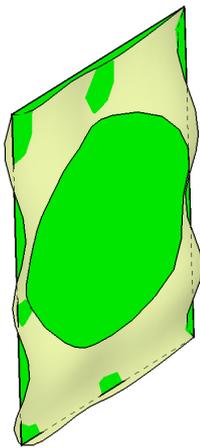
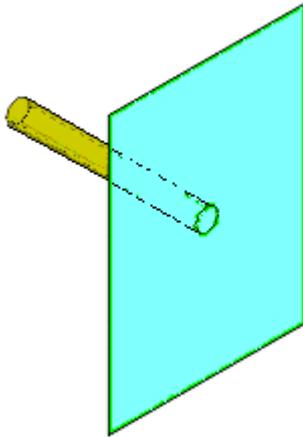
#### 4.2.2 Analyse littérale d'une spécification d'orientation

- l'axe de l'alésage SF3 doit être perpendiculaire à la surface SF1

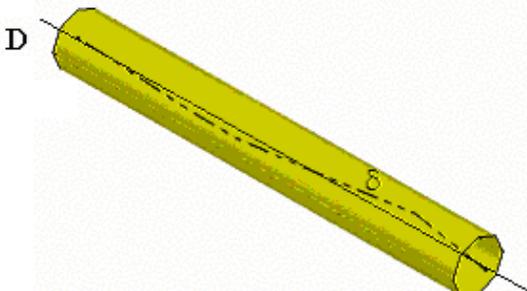
##### ■ création de l'élément qui est spécifié en orientation

découpage de l'élément non idéal cylindrique de révolution SF3	association, selon des critères précis (voir métrologie), d'un élément géométrique idéal du type cylindre de révolution à l'élément non idéal précédent, caractérisé par son axe $\Delta$ et son diamètre	construction d'un ensemble d'éléments géométriques idéaux de type plans, <b>contraints à être perpendiculaires</b> à l'axe $\Delta$	découpage de la surface cylindrique non idéale par ces plans créant des lignes non idéales sur chaque plan
			
association pour chaque ligne et selon un critère précis d'un élément géométrique idéal de type cercle, caractérisé par son diamètre et son centre O	union des éléments points centre O, formant un élément non idéal $\delta$ de type ligne	la ligne $\delta$ devient l'image de l'axe du cylindre de révolution non idéal	
			

##### ■ création de l'élément qui permet d'exprimer les écarts d'orientation

découpage de l'élément non idéal plan SF1	association, selon des critères précis (voir métrologie), d'un élément géométrique idéal du type plan à l'élément non idéal précédent	construction d'un élément géométrique idéal de type cylindre d'axe D et de diamètre $t_0$ , <b>contraint à être perpendiculaire</b> au plan idéal
		

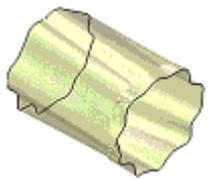
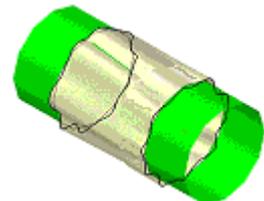
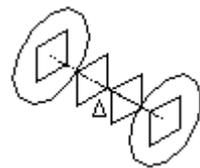
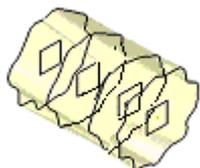
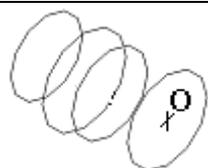
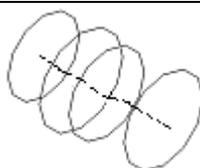
##### ■ expression de la condition fonctionnelle

pour tout point appartenant à $\delta$ , image de l'axe de l'alésage à spécifier, la distance entre $\delta$ et l'axe D être inférieure ou égale à $t_0 / 2$	
$d(\delta, D) \leq \frac{t_0}{2}$	

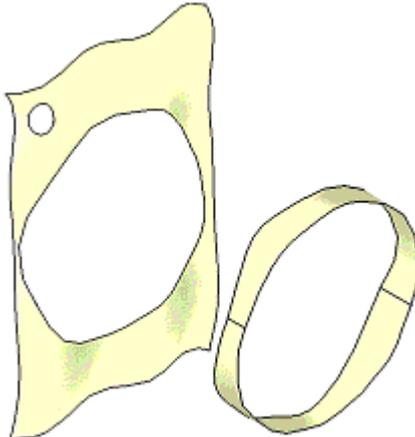
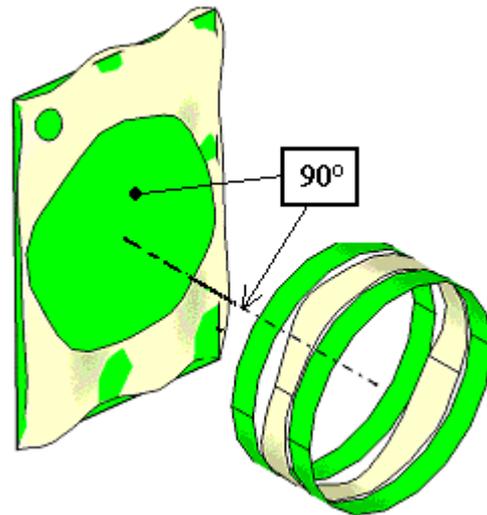
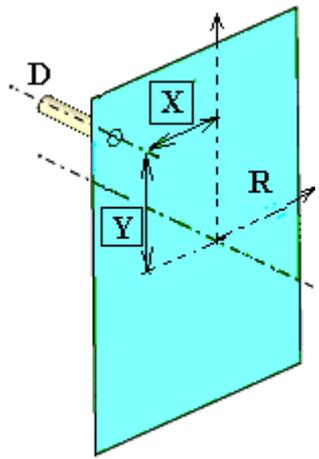
### 4.2.3 Analyse littérale d'une spécification de position

- l'axe de l'alésage SF5 doit être positionné par rapport à la surface SF1 et à l'axe du cylindre SF2 (localisation)

#### ■ création de l'élément qui est spécifié en position

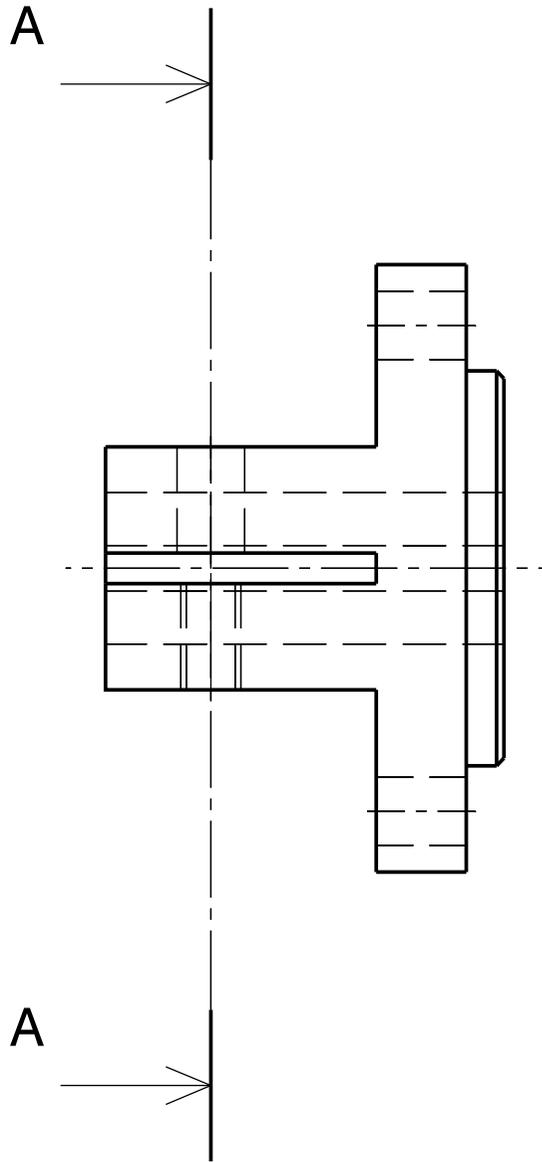
découpage de l'élément non idéal cylindrique de révolution SF5	association, selon des critères précis (voir métrologie), d'un élément géométrique idéal du type cylindre de révolution à l'élément non idéal précédent, caractérisé par son axe $\Delta$ et son diamètre	construction d'un ensemble d'éléments géométriques idéaux de type plans, <b>contraints à être perpendiculaires</b> à l'axe $\Delta$	découpage de la surface cylindrique non idéale par ces plans créant des lignes non idéales sur chaque plan
			
association pour chaque ligne et selon un critère précis d'un élément géométrique idéal de type cercle, caractérisé par son diamètre et son centre O	union des éléments points centre O, formant un élément non idéal $\delta$ de type ligne	la ligne $\delta$ devient l'image de l'axe du cylindre de révolution non idéal	
			

#### ■ création de l'élément qui permet d'exprimer les écarts de position

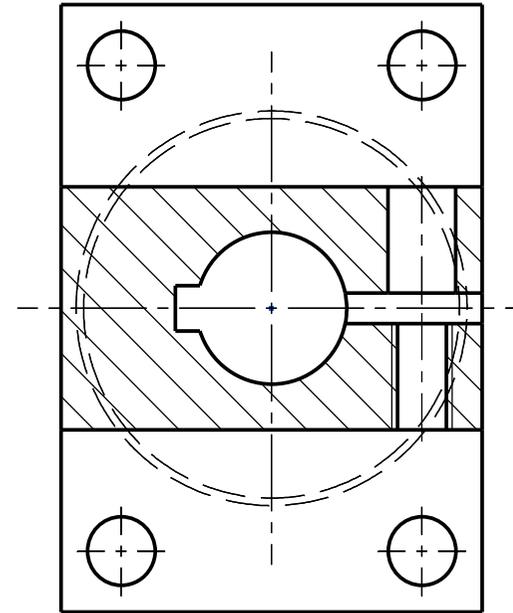
découpage des éléments non idéaux plan SF1 et cylindre de révolution SF2	association, selon des critères précis (voir métrologie), des éléments géométriques idéaux du type plan et cylindre de révolution aux éléments non idéaux précédents, <b>contraints à être perpendiculaires</b> et <b>unis</b> pour former un repère R	construction d'un élément géométrique idéal de type cylindre d'axe D et de diamètre $t_p$ , <b>contraint à être perpendiculaire</b> par rapport au repère R
		

#### ■ expression de la condition fonctionnelle

pour tout point appartenant à $\delta$ , image de l'axe de l'alésage à spécifier, la distance entre $\delta$ et l'axe D être inférieure ou égal à $t_p / 2$	
$d(\delta, D) \leq \frac{t_p}{2}$	



A-A



INTERFACE  
pince du manipulateur SCHRADER  
ech. 2:1

Conception détaillée et spécifiée de la pièce "interface"