

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Les références

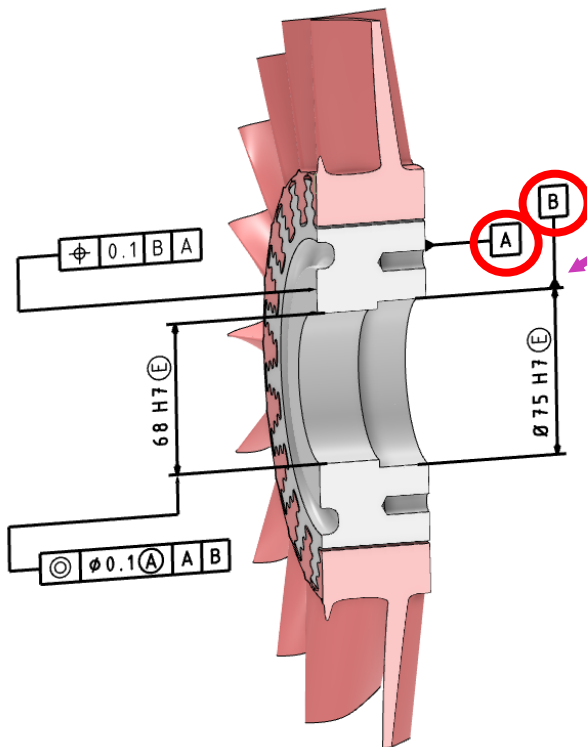
Ils sont nécessaires pour définir l'orientation et/ou la position de l'élément d'évaluation

Des éléments non-idéaux (élément de références) permettront de construire des éléments idéaux (Références spécifiées) permettant de définir des éléments de situation qui orienteront et/ou positionneront les éléments d'évaluations

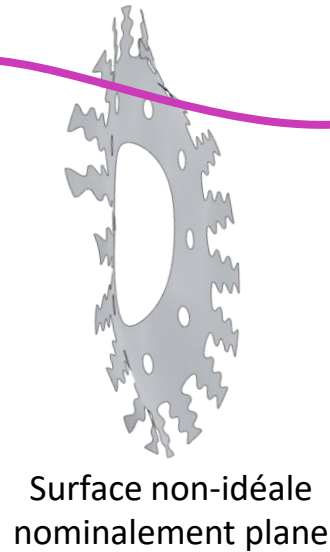
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Elément de référence : généralités

Ils sont désignés par une lettre qui se termine par un triangle.
Ce sont des **surfaces ou portion de surfaces** (voir ISO 5459).
Ce sont des éléments **non-idéaux**



Elément de Référence A



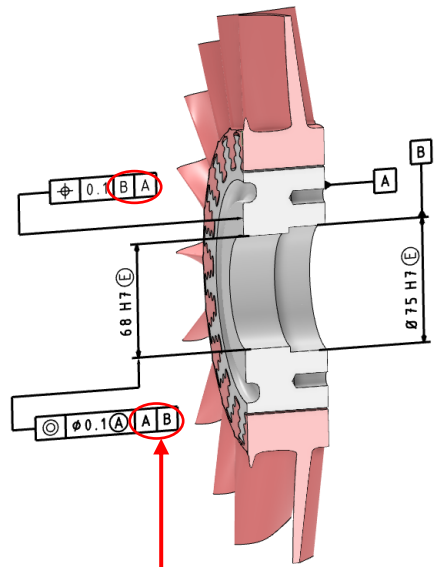
Elément de Référence B



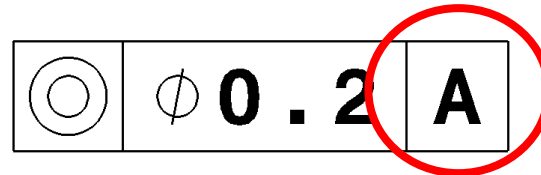
Malgré le fait que le triangle me désignant soit dans le prolongement d'une ligne de taille, **je suis une surface...**
...pas un élément dérivé

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

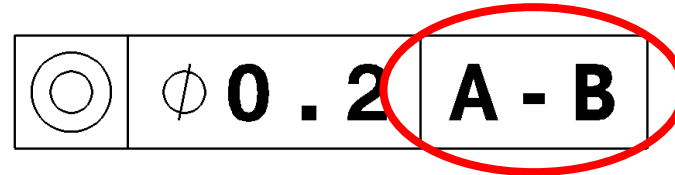
Références Spécifiées et Système de Références Spécifiées : généralités



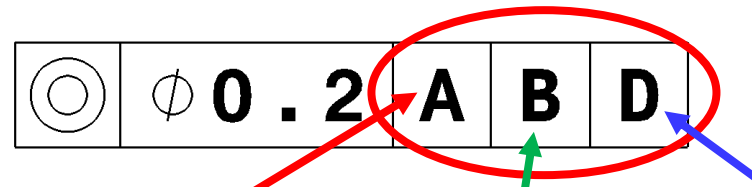
Ils sont notés à la fin du cadre de tolérancement. Ils sont nécessaires pour des spécifications d'orientation et/ou position.



Référence spécifiée unique et simple



Référence spécifiée commune



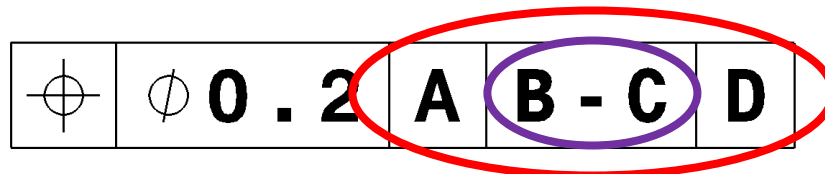
Primaire

Secondaire : contrainte en orientation / primaire

Tertiaire : contrainte en orientation / primaire et / secondaire

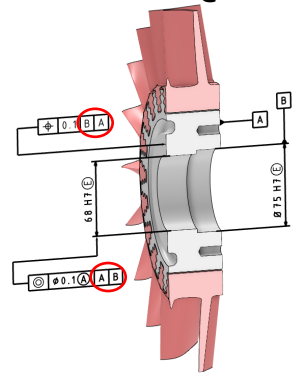
Système de référence spécifiées "ordonnées" : primaire / secondaire / tertiaire

Nota : Le terme "ordonnées" a disparu de la norme en 2011. Car un SRS "non-ordonnées" n'a pas de sens



Système de référence spécifiées "ordonnées"

La référence spécifiée secondaire est commune.



SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Références Spécifiées et critères d'association

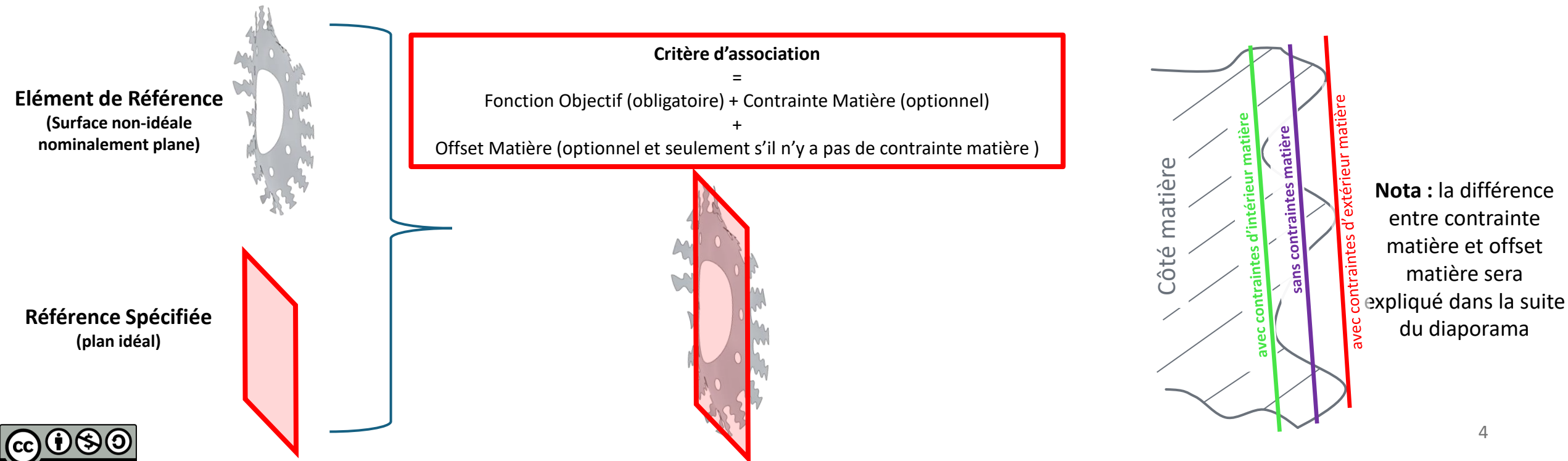
Ce sont des éléments **idéaux**

Ils sont construits par association sur les éléments de références.

Leur géométrie est donc imposée par les éléments de références.

La norme ISO4351 est très explicite sur **les fonctions objectifs** permettant de construire les éléments associés. Elle donne les formules mathématiques permettant d'encoder ces fonctions.

La norme donne aussi la méthode pour stipuler une éventuelle **contrainte matière ou offset matière**. (voir l'ISO 4351)

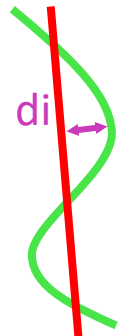


SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Références Spécifiées : critères d'association

Deux algorithmes mathématiques pour définir la fonction objectif sont principalement utilisés

Fonction objectif Gaussien (Carl Friedrich Gauss 1777-1885) ou des moindres carrés

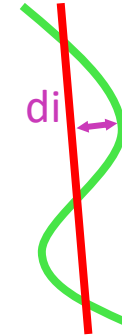


Il consiste à minimiser la somme des distances au carré

$$\Sigma di^2 \text{ minimale}$$

Solution analytique, unique et très stable

Fonction objectif de Tchebychev (Pafnouti Tchebychev 1821-1894). ou du minimax



Il consiste à trouver la distance maximale la plus petite possible

di_{MAX} le plus petit

Méthode de convergence

Utilisent l'algorithme de Tchebychev (voir suite)

Fonction Objectif	Contrainte matière	Offset matière
G : Gaussien	E : Extérieur matière	+ : Décalé à l'extérieur matière
C : Minimax	I : Intérieur Matière	- : Décalé à l'intérieur matière
X : Maximum Inscrit	M : Sans contrainte matière	
N : Minimum circonscrit		

Nota : [X] et [N] = [CE] ?

Liste exhaustive des critères : Tableau extrait de la norme ISO 4351

voir suite



SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Cas d'une Référence Spécifiée construite sur une surface nominale plane : **Le critère [GE]**

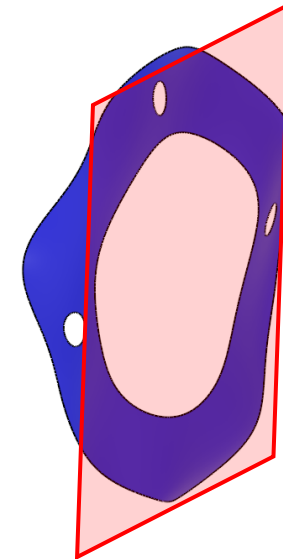
Depuis novembre 2024, la Référence Spécifiée associée à un Élément de Référence de type surface non-idéale nominale plane est un plan idéal construit par le **critère Gaussien Externe : [GE]**.

Voir ISO 5459

Élément de Référence :
Surface non-idéale
nominale plane



Référence Spécifiée :
plan idéal

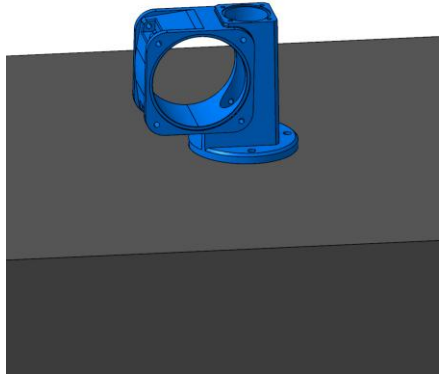


Association suivant la fonction objectif
Gaussien Externe : [GE]

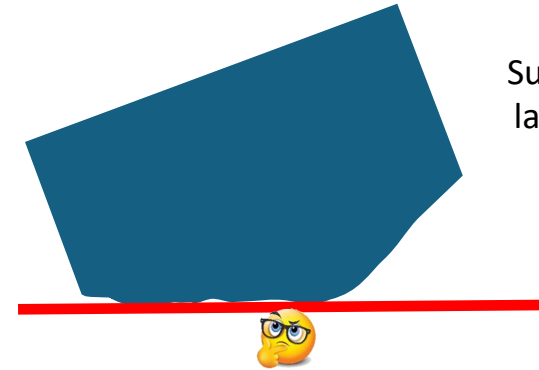
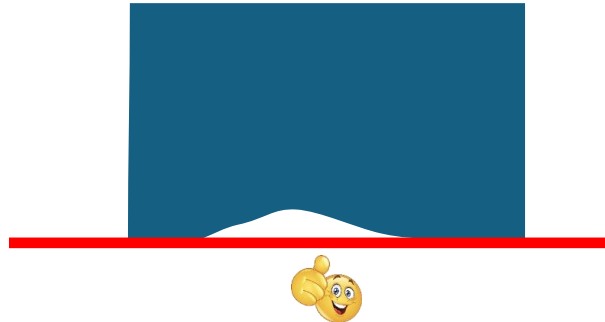
La Référence Spécifiée est extérieure matière tout en minimisant la somme des écarts au carré avec **l'Élément de Référence**.

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

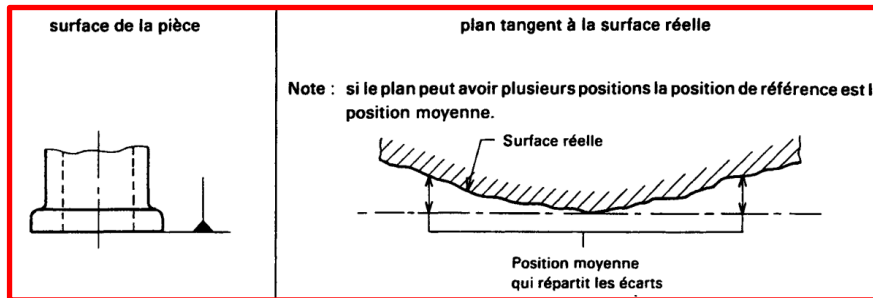
Cas d'une Référence Spécifiée construite sur une surface nominale plane : **Le critère [GE]**



Avant l'apparition des logiciels de contrôle et du calcul numérique, les plans de références étaient matérialisés par le "plan d'un marbre".



Suivant la forme de la surface réelle, la Mlse en Position de la pièce peut ne pas être stable et répétable



Solution proposée par les normes
ISO 04-454 (1988)

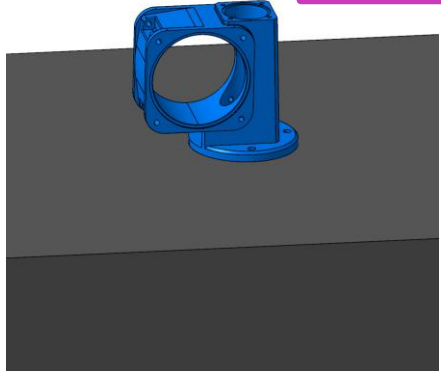


Le métrologue devait alors "caler" la pièce



SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Cas d'une Référence Spécifiée construite sur une surface nominale plane : **Le critère [GE]**



Puis le critère proposé dans les normes jusqu'en 2024 était de minimiser la distance maximale tout en conservant une contrainte extérieur matière :
"Tangent Extérieur Matière Minimisant l'Ecart Maximal"

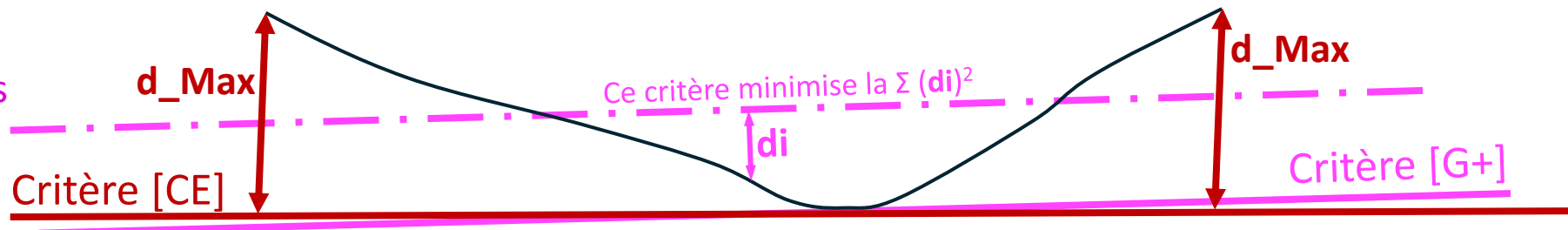
Nota1 : ce critère est représenté mathématiquement par l'algorithme du minimax ou de Tchebychev avec contrainte extérieur matière ([CE] dans les nouvelles normes).

Nota2 : par construction mathématique, le critère équilibrera naturellement les dMax

Pendant un grand nombre d'années, les métrologues utilisant du matériel numérique appliquaient le critère Gaussien (moindre carrés) **car il se révélait plus stable mathématiquement que le critère de Tchebychev.**

L'équation mathématique du plan Gaussien calculé à partir des coordonnées de points était ensuite décalé au point le plus éloigné afin de matérialiser le plan extérieur matière : **c'est le critère [G+] des normes actuelles (Fonction objectif Gaussien + Offset Extérieur Matière)**

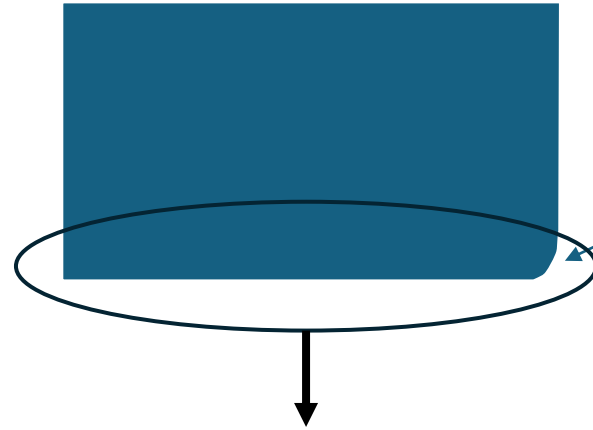
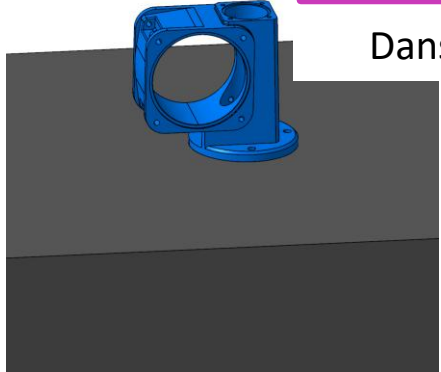
[G]
critère de Gauss ou des
moindres carrés



SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Cas d'une Référence Spécifiée construite sur une surface nominale plane : **Le critère [GE]**

Dans certaines configurations courantes, le critère [CE] donne des résultats qui sont fort éloignés du "plan du marbre"



La pièce est légèrement "croquée"

[GE]

= **Gaussien Externe**

(! Ce n'est pas un **[G+]** :

Gaussien décalé au point le plus éloigné !)



merci @Julien Artozoul pour les calculs Python

Nota importante : même si cette illustration tend à le faire croire, le plan [GE] calculé mathématiquement n'est pas parfaitement confondu avec le "plan du marbre". Il existe entre les deux plans un écart très faible.

d_Max

[G+]

[CE]

= **Tchebychev Externe**

(! Ce n'est pas un **[C+]** ou Tchebychev décalé au point le plus éloigné !)

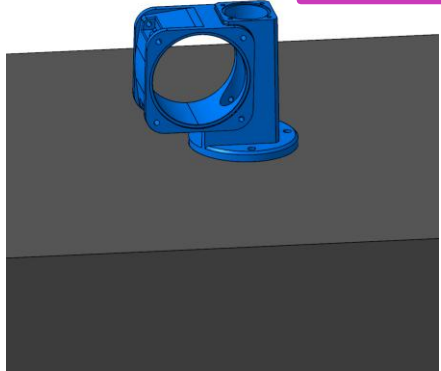
d_Max

[CE] ne représente pas du tout le plan du marbre



SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Cas d'une Référence Spécifiée construite sur une surface nominale plane : **Le critère [GE]**



La norme ISO 5459 (2024), tableau A2 page 60 indique que le critère d'association permettant de construire une référence spécifiée **simple** de type plan idéal à partir d'une surface non idéale nominale plane est :

Fonction objectif : Gaussien

Contrainte Matière : Extérieur Matière

et ce afin de "**limiter les effets de bords**" (Annexe D.4 p92).

Le critère est [GE].

Si la Référence Spécifiée se trouve en deuxième ou troisième position
(secondaire ou tertiaire),
le critère restera [GE]

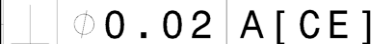
Si la Référence Spécifiée n'est plus simple **mais est commune** alors le critère sera :

Fonction objectif : minimax ou minimiser la distance maximale = Tchebychev

Contrainte Matière : Extérieur matière

Le critère est [CE].

Si le concepteur **souhaite changer le critère d'association utilisé par défaut**, la fonction objectif et la contrainte matière doivent être stipulées dans le cadre de tolérancement, entre crochets : [GE] ; [CM] ; [C-]...

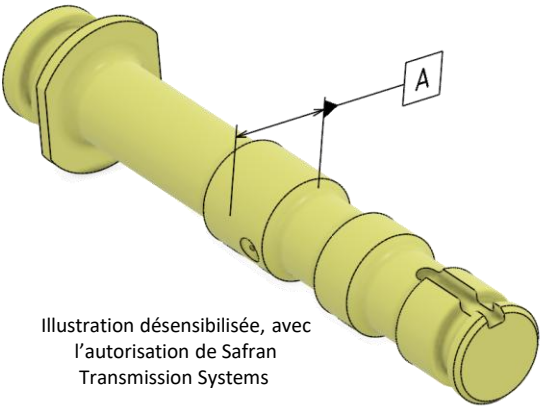
Exemple pour stipuler le critère normalisé avant 2024 pour une surface nominale plane : 

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

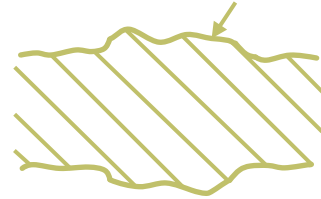
Cas d'une Référence Spécifiée construite sur une surface nominale cylindrique ou sphérique :

Le critère [X] ou [N]

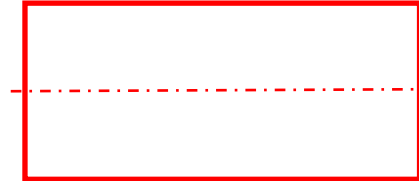
Cas d'un arbre
(la matière est à l'intérieur)



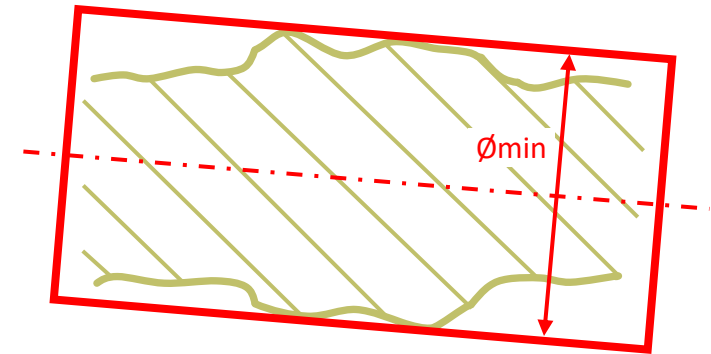
Elément de Référence
(surface non-idéale nominale cylindrique)



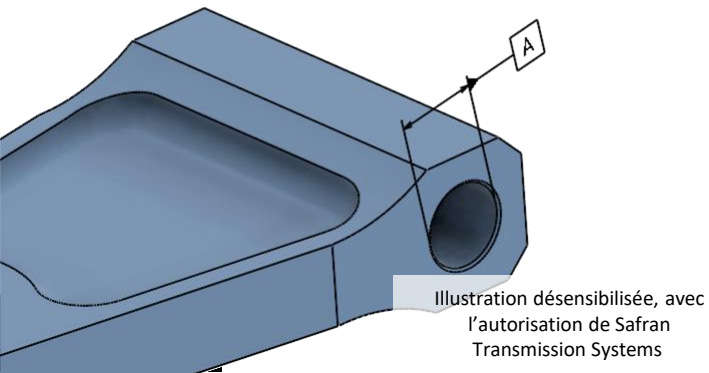
Elément associé
(cylindre idéal)



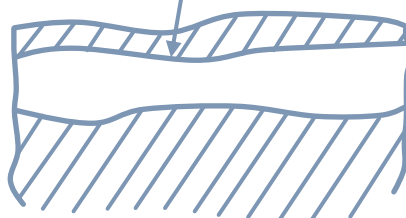
**Association par le critère [N] :
minimum circonscrit**



Cas d'un alésage
(la matière est à l'extérieur)



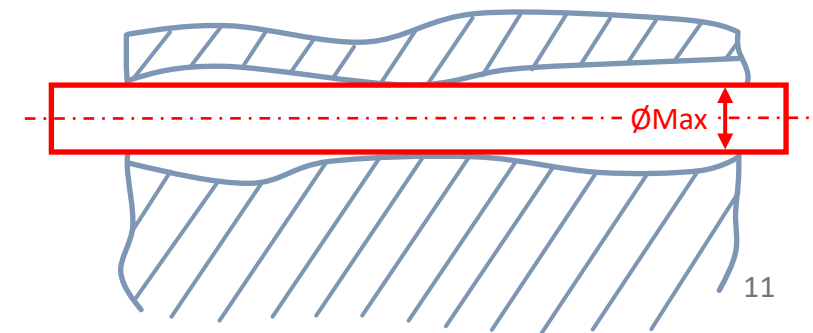
Elément de Référence
(surface non-idéale nominale cylindrique)



Elément associé
(cylindre idéal)



**Association par le critère [X] :
maximum inscrit**

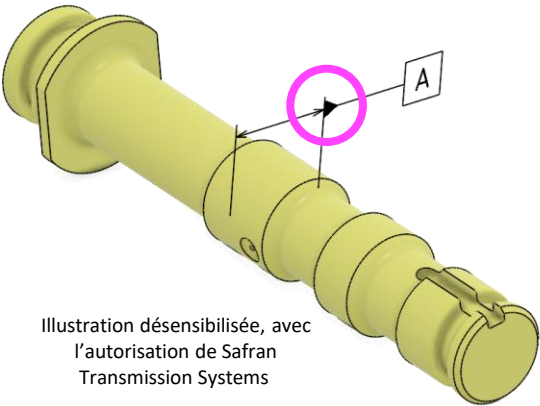


SPECIFICATION GEOMETRIQUE

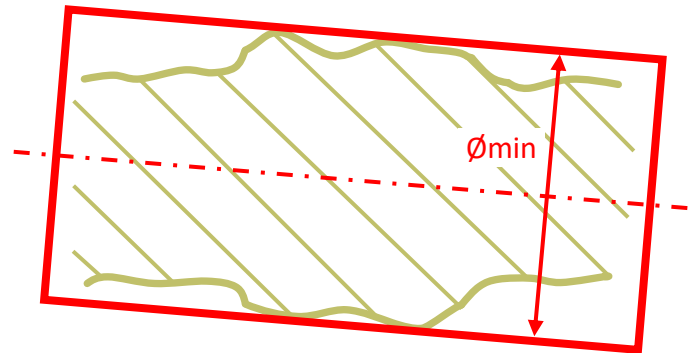
Cas d'une Référence Spécifiée construite sur une surface nominale cylindrique ou sphérique :

Le critère [X] ou [N]

Cas d'un arbre
(la matière est à l'intérieur)



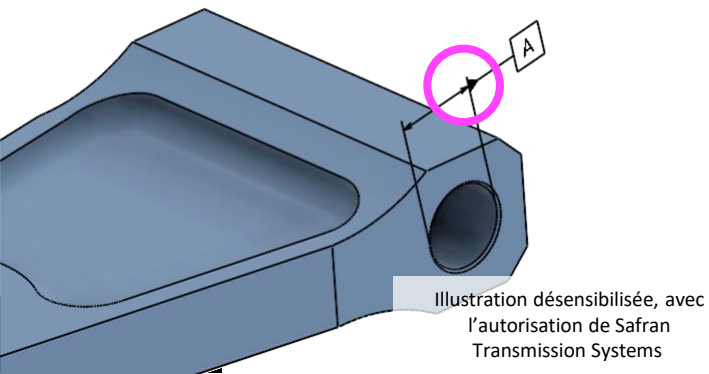
**Association par le critère [N] :
minimum circonscrit**



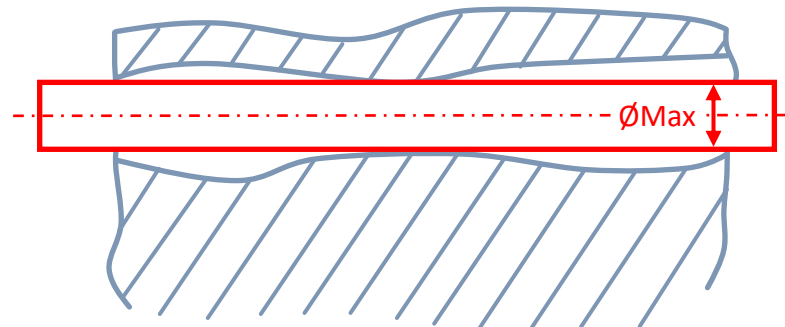
Le triangle du cadre de référence étant dans le prolongement d'une ligne de taille...
la Référence Spécifiée sera l'axe du cylindre associé



Cas d'un alésage
(la matière est à l'extérieur)



**Association par le critère [X] :
maximum inscrit**



SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Critère d'association

$[X]$ et $[N] \neq [CE]$

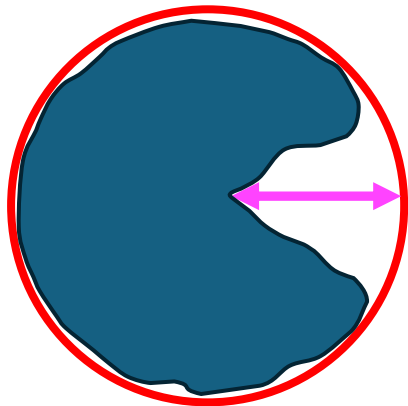


Voir Annexe B de l'ISO 4351 (2023)



La fonction objectif *minimiser la distance maximale* ($[C]$ ou Tchebychev) **n'est pas équivalente** à *minimiser le diamètre circonscrit* (ou *maximiser le diamètre inscrit*)

Le cercle $\mathcal{C}_1$ est le plus petit possible en contact avec la matière



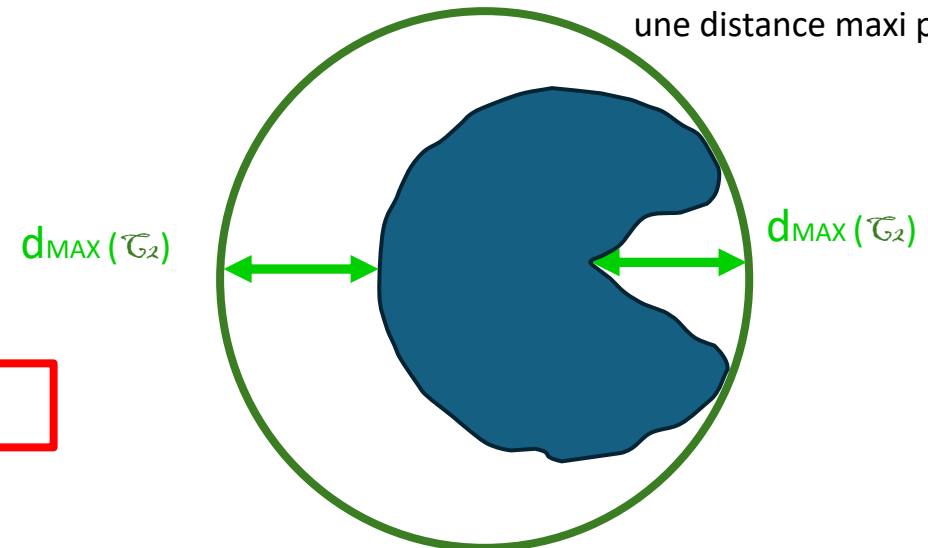
$d_{MAX}(\mathcal{C}_1)$

$[N]$: plus petit circonscrit

$d_{MAX}(\mathcal{C}_1) > d_{MAX}(\mathcal{C}_2)$



Le cercle $\mathcal{C}_2$ est construit de telle sorte qu'il n'existe pas d'autre cercle qui aurait une distance maxi plus petite



$[CE]$: Minimiser la distance maximale avec contrainte extérieure matière

EN APARTE

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Modification du critère d'association : cas d'une surface frettée

Sur une surface frettée :

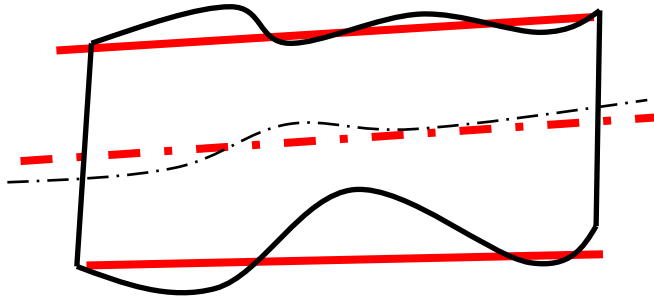
L'objectif n'étant pas de garantir un jeu fonctionnel, positif mais la plus grande surface de contact possible, il est judicieux de modifier le critère d'association :

Fonction Objectif : G : Gaussienne ou des moindres carrés

Contrainte Matière : sans

Offset Matière : sans

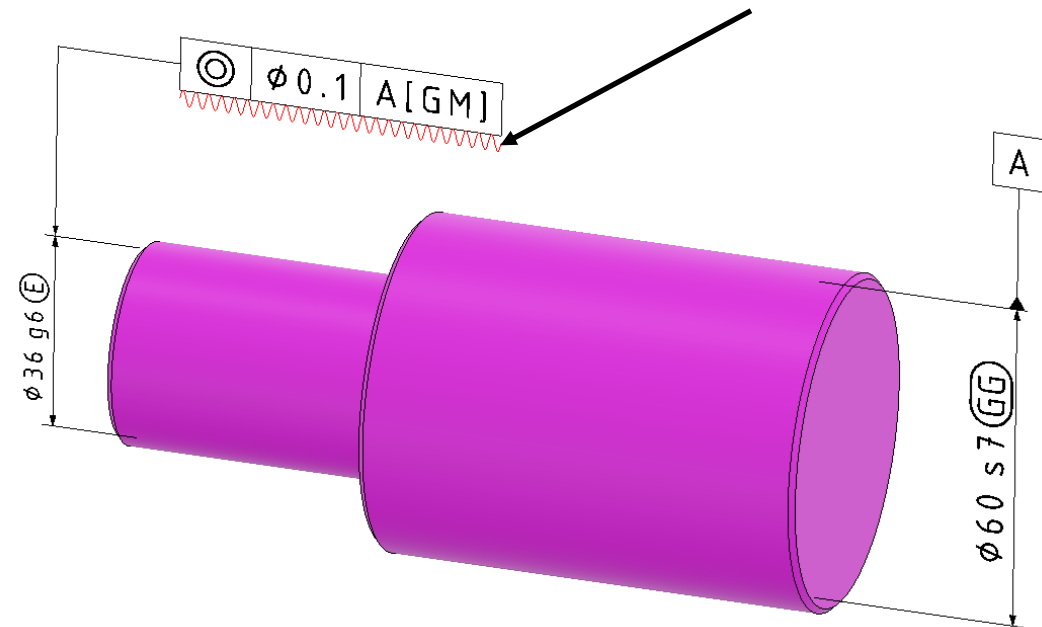
Représentation en 2D du
critère d'association



Nota :

La spécification ci-dessous a été écrite à l'aide de l'App : "3D Tolerancing & Annotation" du logiciel 3D Experience.
Dans la version 2026, les modificateurs du critère d'association ne sont pas pris en charge dans 3D Experience.

La notation ci-dessous est dite **"non-sémantique"**



Nota : Le critère Gaussien est usuellement utilisé pour construire une référence spécifiée sur une surface frettée.
Il serait aussi envisageable d'utiliser le critère de Tchebychev, la notation serait alors : [CM].

EN APARTE

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

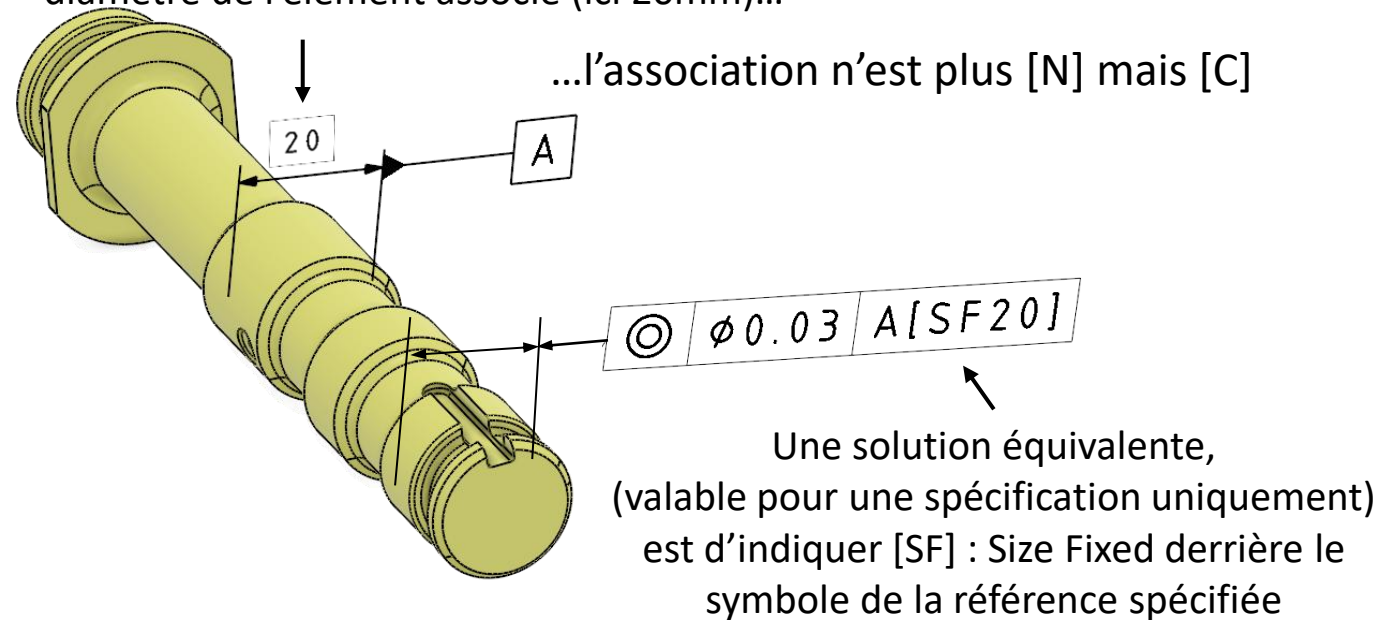
Élément associé de taille fixe / variable

Par défaut pour une entité dimensionnelle cylindrique, le cylindre idéal associé est de taille variable afin de minimiser ou maximiser le diamètre.

Mais...

...mettre une dimension encadrée imposera le diamètre de l'élément associé (ici 20mm)...

...l'association n'est plus [N] mais [C]



Entité dimensionnelle	Caractéristique intrinsèque	Élément associé
Cylindre	Diamètre	Variable
Sphère	Diamètre	Variable
Biplan (2 plans opposés et parallèles)	Distance entre les deux plans	Variable
Cône	Angle	Fixe
Coin	Angle	Fixe

Etat par défaut des éléments associés pour les entités dimensionnelles

[SV]	Pour imposer une Taille variable (Size Variable) à l'élément associé (pour les entités associées de taille fixe par défaut : cône, coin)
[SF]	Pour imposer une Taille fixe (Size Fixed) à l'élément associé (pour les entités associées de taille variable par défaut : cylindre, sphère, biplan)
[SFxx]	Pour imposer à l'élément associé une Taille fixe avec valeur xx spécifiée

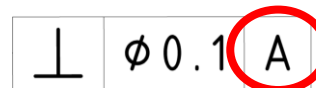
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Classe d'invariance et éléments de situations associés aux références spécifiés

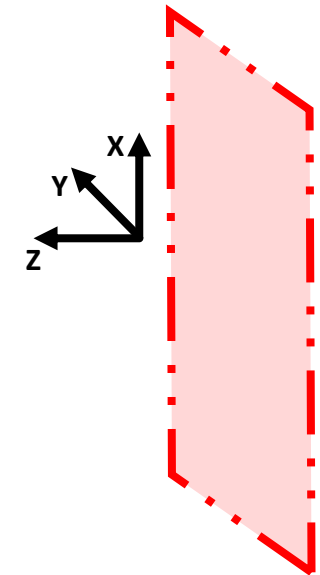
Une Référence Spécifiée (RS) définit un ou plusieurs
 “**éléments de situation**” de type
 plan : [PL] ; droite : [SL] ; point : [PT].

[PL] pour Plane = plan
 [SL] pour Straight Line = droite
 [PT] pour Point = point

La “**classe d'invariance**” représente les degrés de liberté que bloquent les éléments de situation (voir diapo suivante)

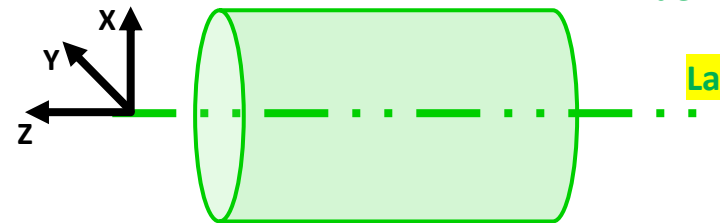


Dans cette spécification, la référence spécifiée est simple et unique et suivant sa nature elle définira un type d'élément de situation



Une Référence Spécifiée de type plan
 définit un élément de situation :
 [PL]
 La classe d'invariance est plane

Nota : un plan bloque les 3 degrés de liberté : Rx, Ry, Tz.
 Avoir [PL] comme élément de situation permettra au concepteur de tolérer d'autres surfaces de la pièce en orientation suivant les directions X et Y du plan et en position suivant la direction Z du plan.
 = appui plan



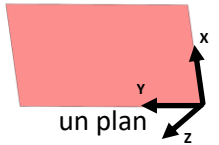
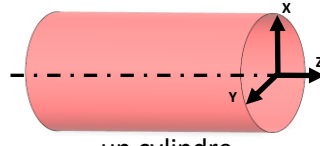
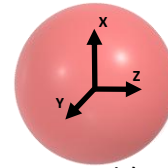
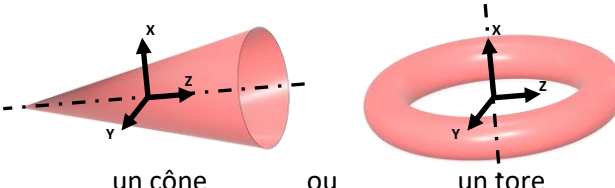
Une Référence Spécifiée de type droite
 dérivée d'un cylindre définit un élément de
 situation : [SL] : axe du cylindre
 La classe d'invariance est : cylindrique

Nota : une droite bloque les 4 degrés de liberté : Rx, Ry, Tx, Ty.
 Avoir [SL] comme élément de situation permettra au concepteur de tolérer d'autres surfaces de la pièce en orientation suivant les directions X et Y de la droite et en position suivant les directions X et Y de la droite.
 = centrage long

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Classe d'invariance et éléments de situations 1/2

Nota :
 ddl en cinématique
 =
 Classe d'invariance en tolérancement

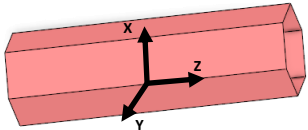
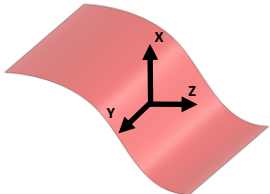
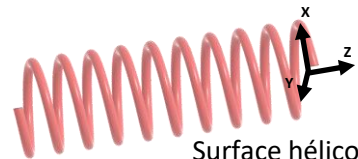
Classe d'invariance	Degrés de liberté avec contraintes	Degrés de liberté sans contraintes	Illustration de typologie de surface	Élément de situation
Plane (équivalent appui-plan)	1 translation T_z et deux rotations R_x et R_y	2 translations T_x et T_y et 1 rotation R_z	 un plan	1 plan [PL]
Cylindrique (équivalent pivot-glissant)	1 translation T_z et 2 rotations R_x et R_y	1 translation T_z et 2 rotations R_x et R_y	 un cylindre	1 droite [SL]
Sphérique (équivalent rotule ou sphérique)	3 translations T_x , T_y , T_z	3 rotations R_x , R_y , R_z	 une sphère	1 point [PT]
De révolution (équivalent pivot)	3 translations T_x , T_y , T_z et 2 rotations R_x et R_y	1 rotation R_z	 un cône ou un tore	1 point [ToL] 1 droite

Suivant Tableau de la norme ISO 5459

Nota :
 ddl en cinématique
 =
 Classe d'invariance en tolérancement

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Classe d'invariance et éléments de situations 2/2

Classe d'invariance	Degrés de liberté avec contraintes	Degrés de liberté sans contraintes	Illustration de typologie de surface	Élément de situation
Prismatique (équivalent glissière)	2 translations T_x et T_y et trois rotations R_x et R_y et R_z	1 translation T_z	 un prisme	1 plan [PL] 1 droite [SL]
Complexe (équivalent encastrement)	3 translations T_x , T_y , T_z et trois rotations R_x , R_y , R_z	aucun	 Une surface de quelconque	1 point [PT] 1 droite [SL] 1 plan [PL]
Hélicoïdale (équivalent hélicoïdale)	2 translations T_x et T_y et 2 rotations R_x et R_y	1 translation T_z et une rotation R_z liées	 Surface hélicoïdale	1 droite [SL]

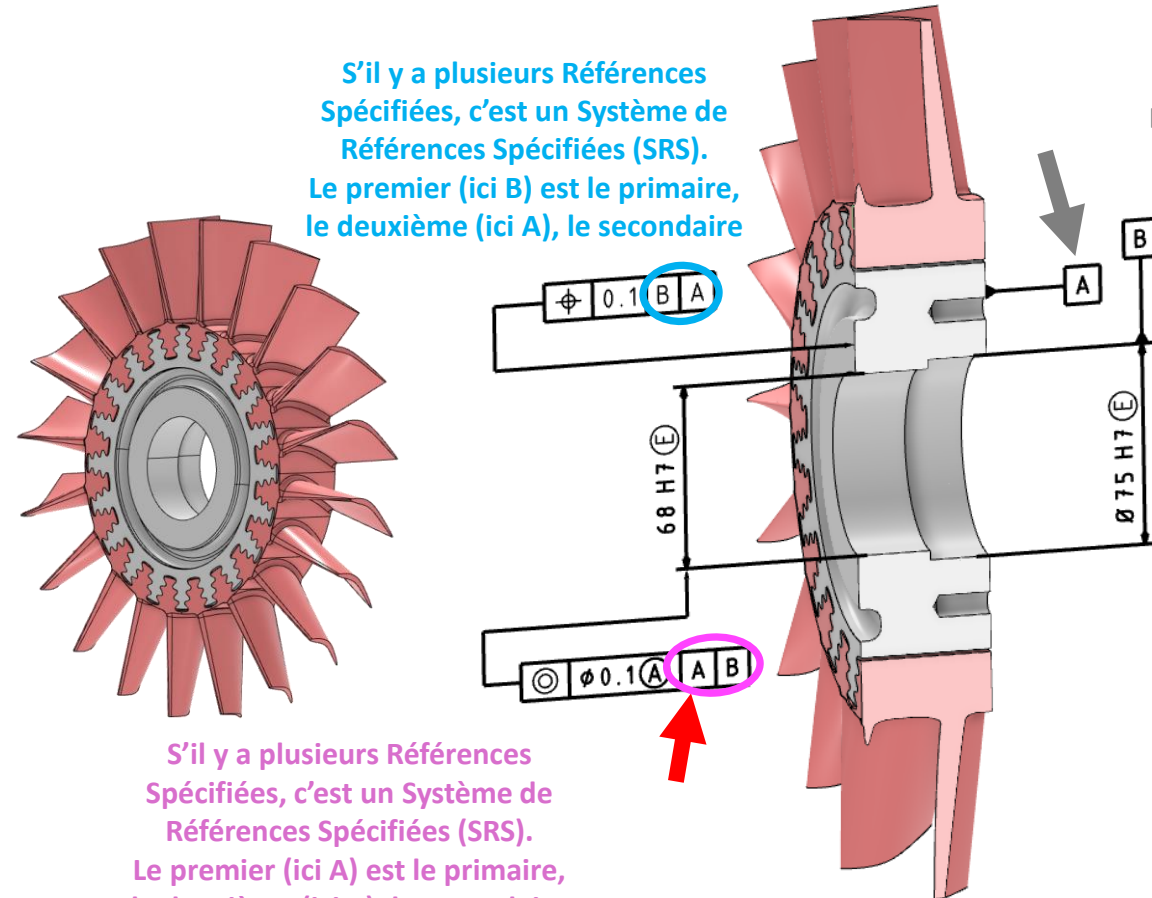
Nota : la norme ISO 5459 indique que les surfaces hélicoïdales en tant que tel ne sont pas prises en compte. Elles sont considérées comme des surfaces cylindriques, car dans la plupart des cas fonctionnels impliquant des surfaces hélicoïdales (filetages, pente hélicoïdale, vis sans fin, etc.), la combinaison de rotation et de translation de l'hélice n'est pas nécessaire pour les besoins de références spécifiées

Suivant Tableau de la norme ISO 5459

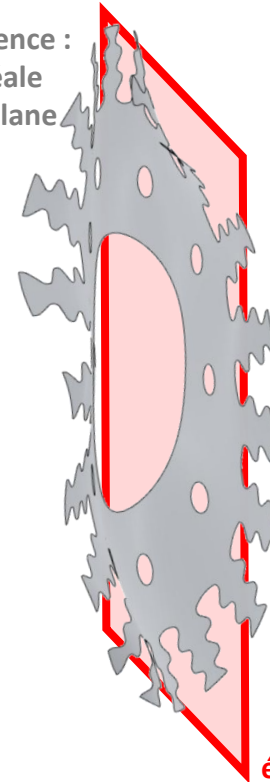
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Classe d'invariance et éléments de situations associés aux Système de Références Spécifiés - Exemple -

S'il y a plusieurs Références Spécifiées, c'est un Système de Références Spécifiées (SRS).
Le premier (ici B) est le primaire, le deuxième (ici A), le secondaire

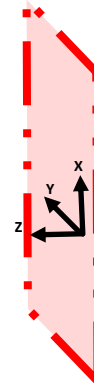


Elément de Référence :
Surface non-idéale
nominalement plane



Référence Spécifiée :
Plan idéal associé par le
critère [GE] =
élément de situation [PL]

Classe d'invariance : Plane
Elément de situation : [PL]

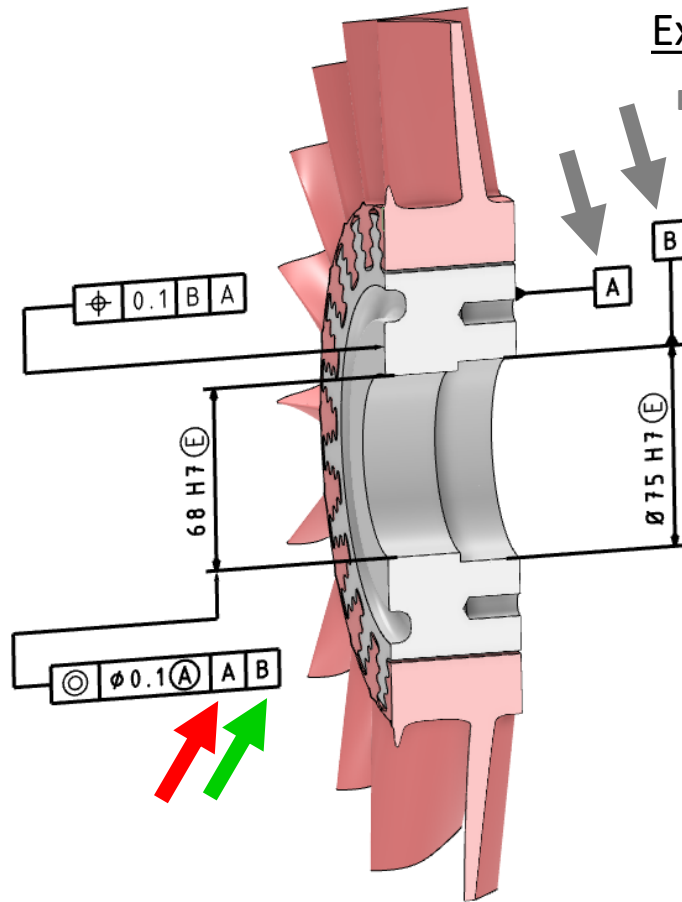
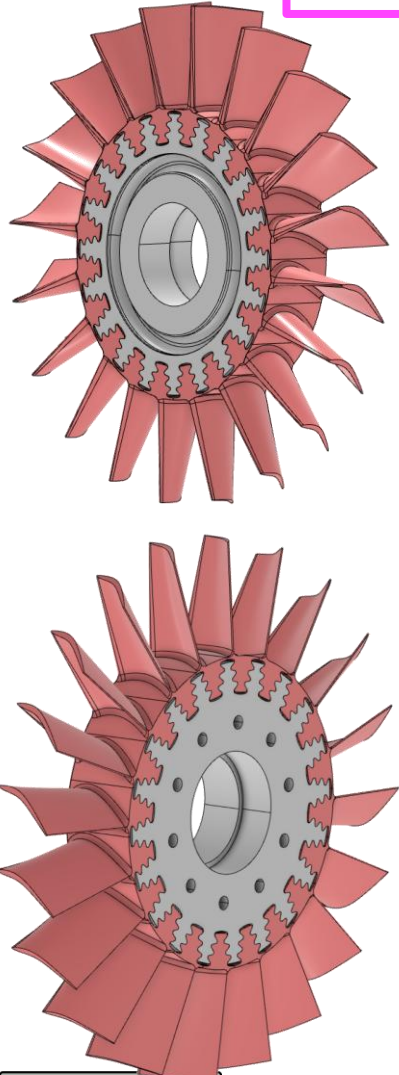


Nota : la référence spécifiée étant primaire, l'élément de situation est directement = à la référence spécifiée

Avec [PL], le concepteur pourra tolérer la pièce suivant 3 ddl (Tz, Rx, Ry)

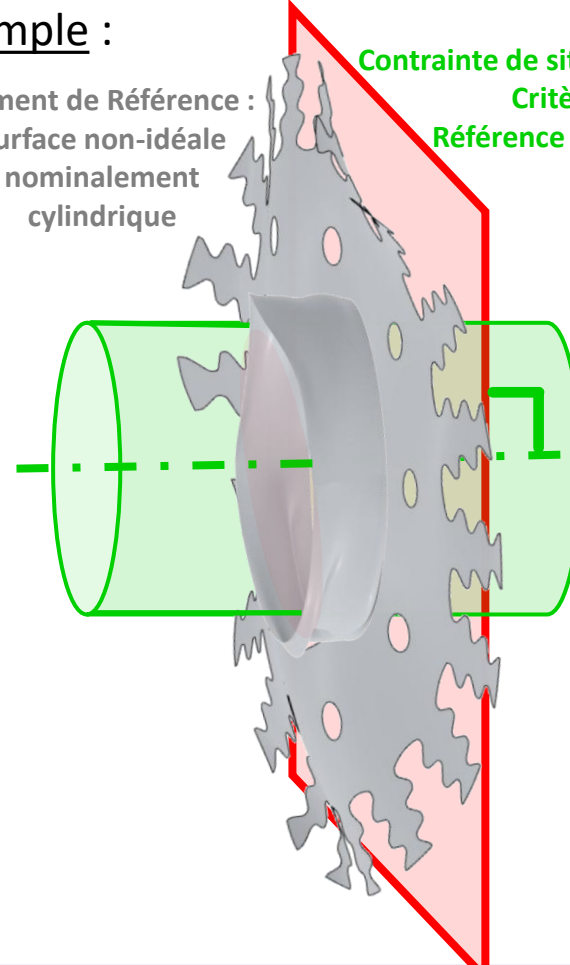
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Classe d'invariance et éléments de situations associés aux Système de Références Spécifiés - Exemple -



Exemple :

Elément de Référence :
Surface non-idéale
nominalement
cylindrique



Cylindre idéal associé par :

Contrainte de situation = **perpendicularité à RS primaire implicite**

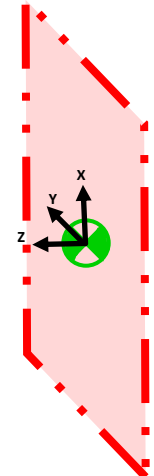
Critère d'association : fonction objectif [X]

Référence Spécifié Secondaire = [PT] : [PL] $\cap$ (axe du cylindre associé)

Classe d'invariance : de révolution
(pivot d'axe ([PT] , $\vec{z}$))

Elément de situation : [PT] dans [PL]
ou **point In Plane**

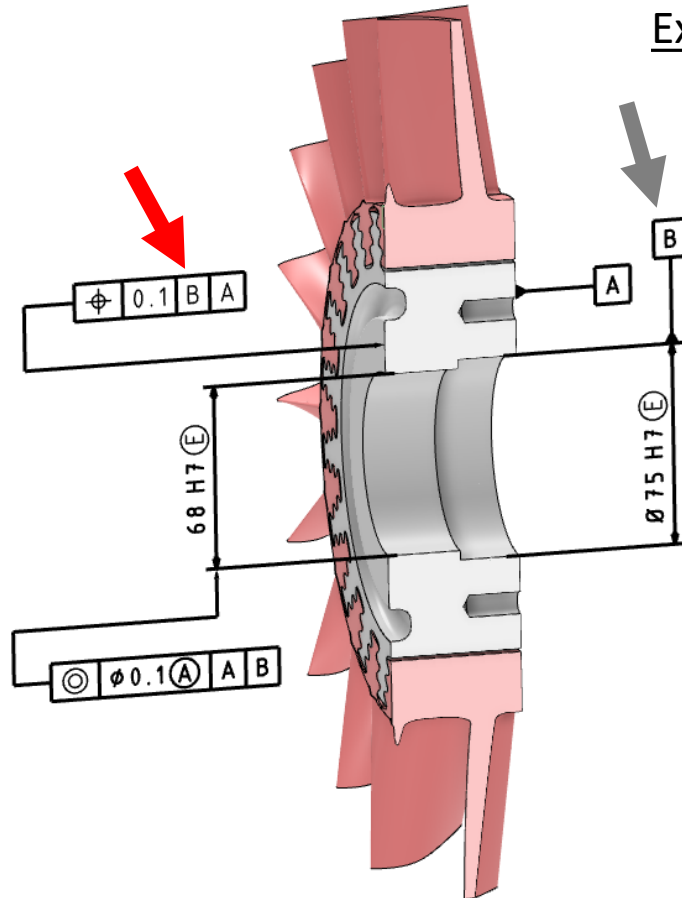
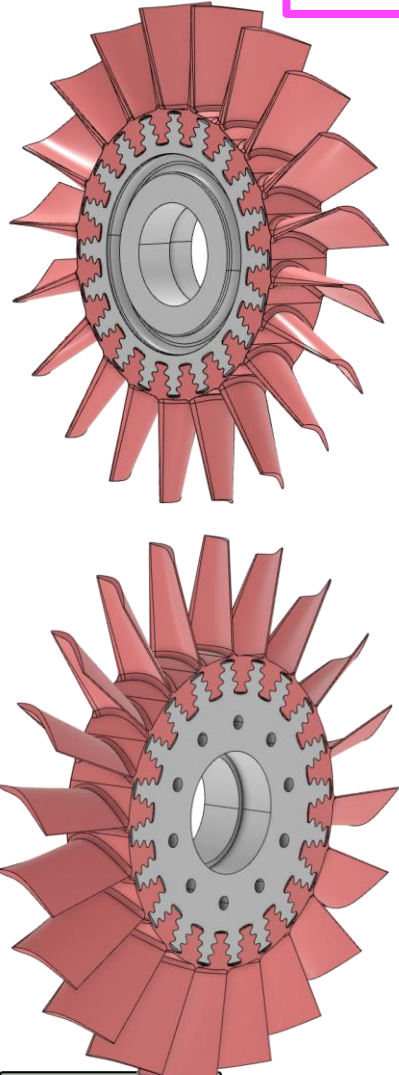
= **[TiP]**



Grace à **[TiP]** le concepteur pourra tolérer la pièce suivant 5 ddl (T_x , T_y , T_z , R_x , R_y)

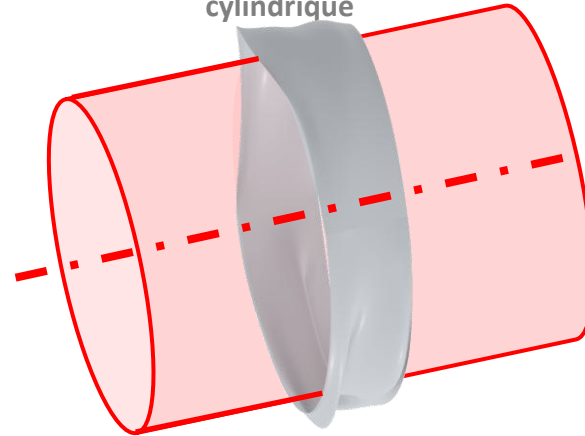
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Classe d'invariance et éléments de situations associés aux Système de Références Spécifiés - Exemple -



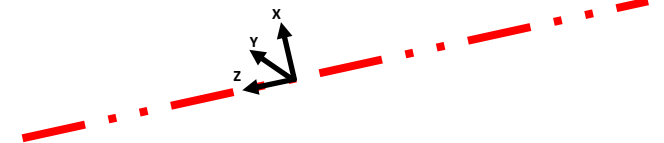
Exemple :

Elément de Référence :
Surface non-idéale
nominale
cylindrique



Classe d'invariance : Cylindrique
(pivot glissant d'axe $\vec{z}$)
Elément de situation : [SL]

Référence Spécifiée :
Droite idéale qui est l'axe d'un cylindre idéal associé
associé par le critère [X] =
élément de situation [SL]

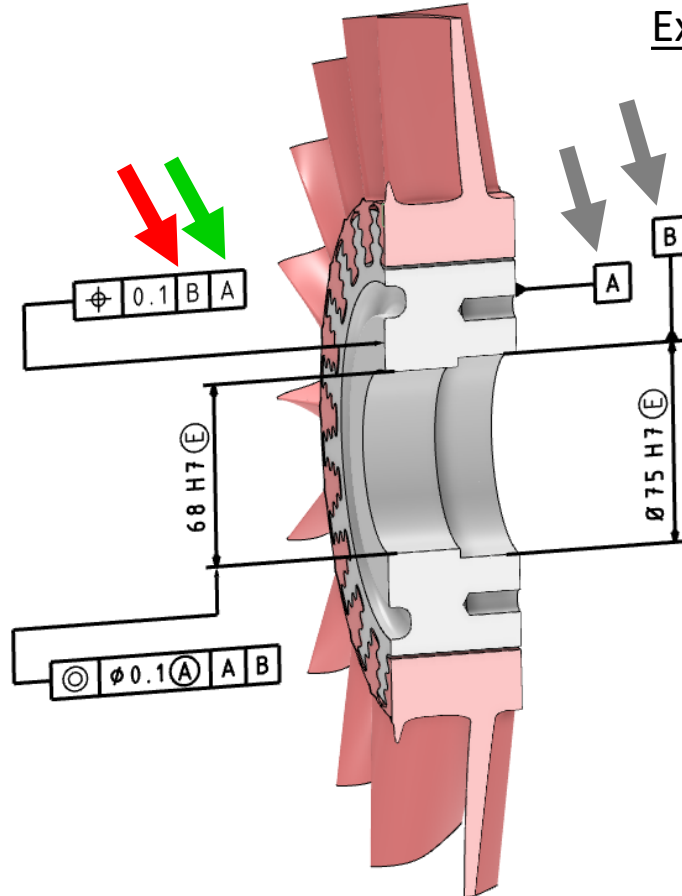
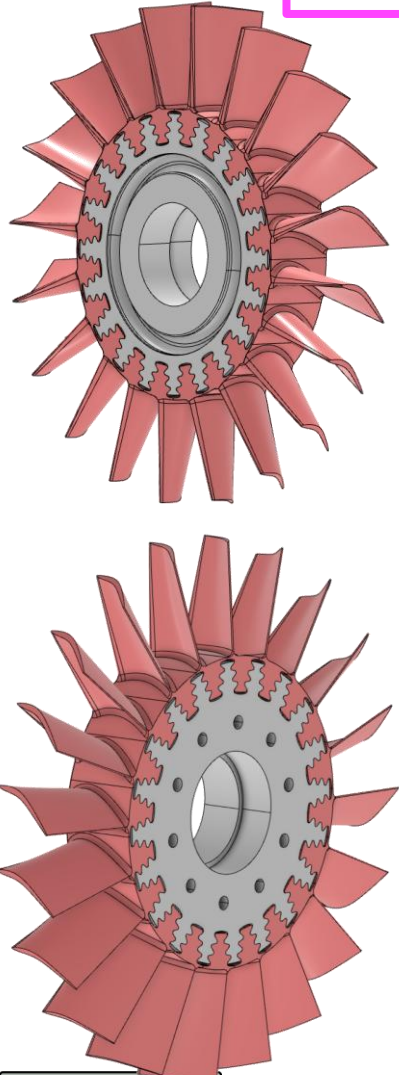


Nota : la référence spécifiée
étant primaire, l'élément de
situation est directement = à
la référence spécifiée

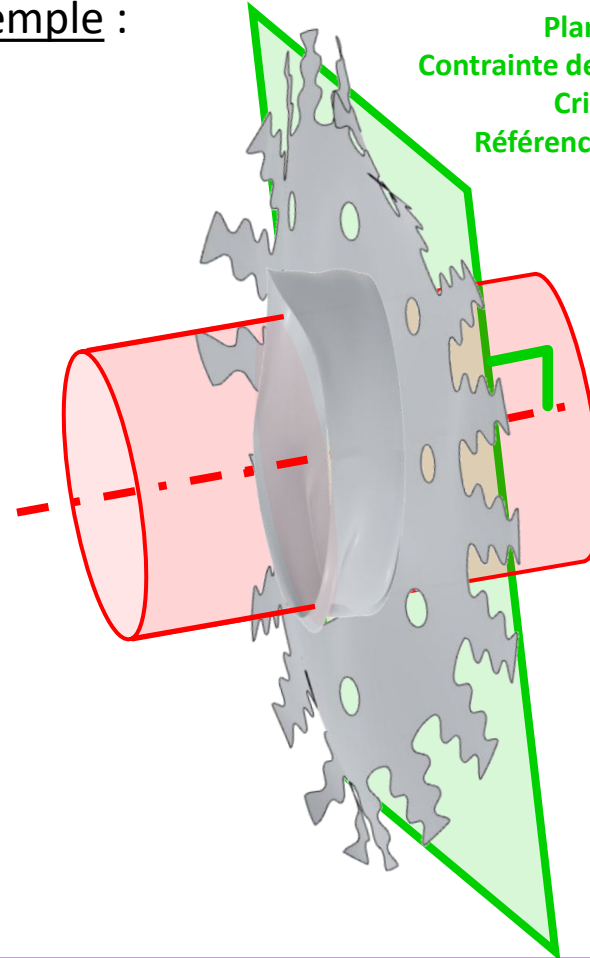
Avec à [SL], le concepteur pourra tolérer la pièce suivant 4 ddl (T_x , T_y , R_x , R_y)

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Classe d'invariance et éléments de situations associés aux Système de Références Spécifiés - Exemple -



Exemple :



Plan idéal associé à l'élément de référence par
Contrainte de situation = **perpendicularité à RS primaire implicite**
Critère d'association : fonction objectif [GE] .
Référence Spécifié Secondaire = [PT] : [SL] ∩ Plan associé

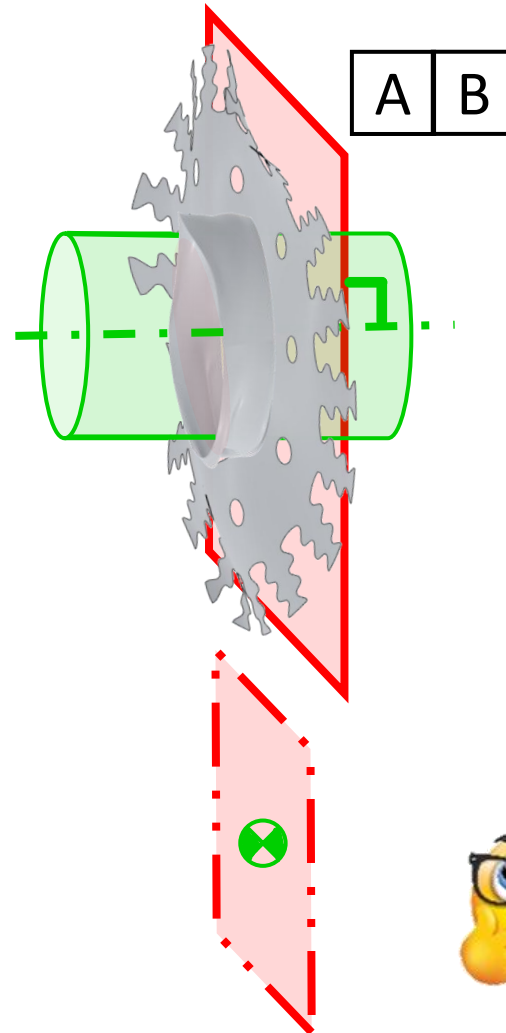
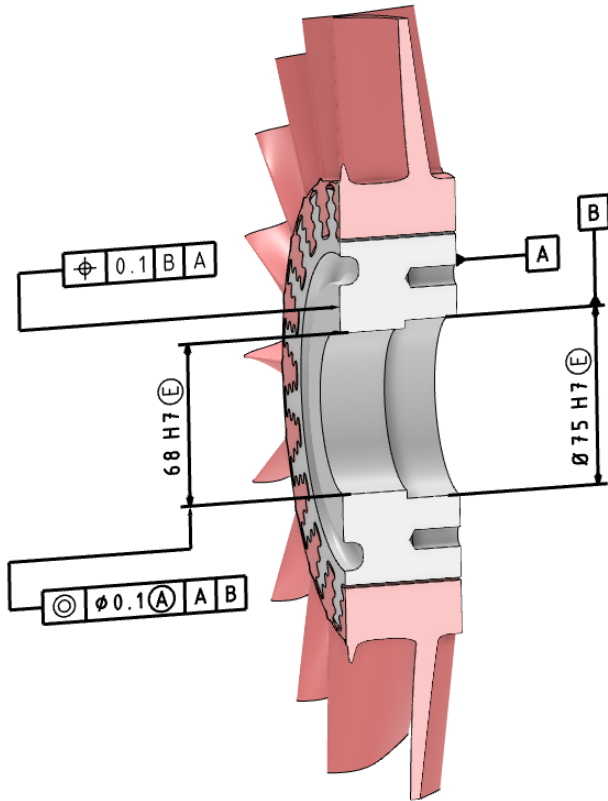
Classe d'invariance : de révolution
(pivot d'axe ([PT] , $\vec{z}$)
Elément de situation : [PT] sur [SL]
ou **point On Line**
= **[ToL]**



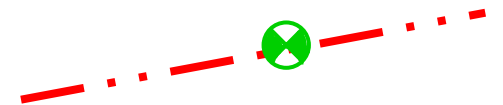
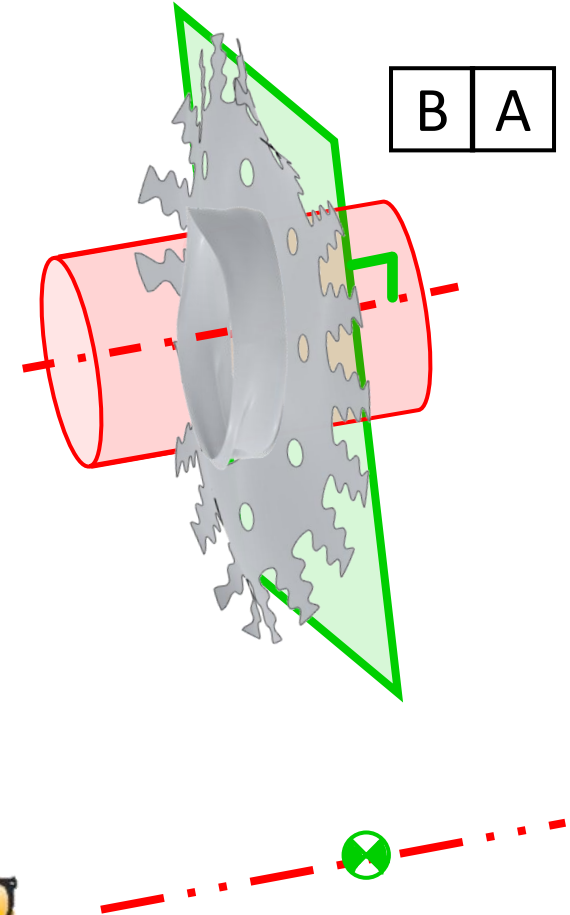
Grace à **[ToL]**, le concepteur pourra tolérer la pièce suivant 5 ddl (Tx, Ty, Tz, Rx, Ry)

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Classe d'invariance et éléments de situations associés aux Système de Références Spécifiés - Exemple -



ou



SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Classe d'invariance et éléments de situations associés aux Système de Références Spécifiés

si unique, les éléments de situation sont de type :

PointT [PT],
Straight Line [SL] = droite ,
Plan [PL]

Si multiple :

Point dans plan (pointT in Plane) : [TiP]
Point sur ligne (pointT on Line) : [ToL]
Ligne dans plan (Line in Plane) : [LiP]
Point sur ligne dans plan (pointT on Line in Plane) : [ToLiP]

Suivant ISO/DIS
20223:2024
En cours de validation

Ces éléments de situations vont permettre d'orienter et/ou positionner :

- Des élément d'évaluations
- Des états virtuels

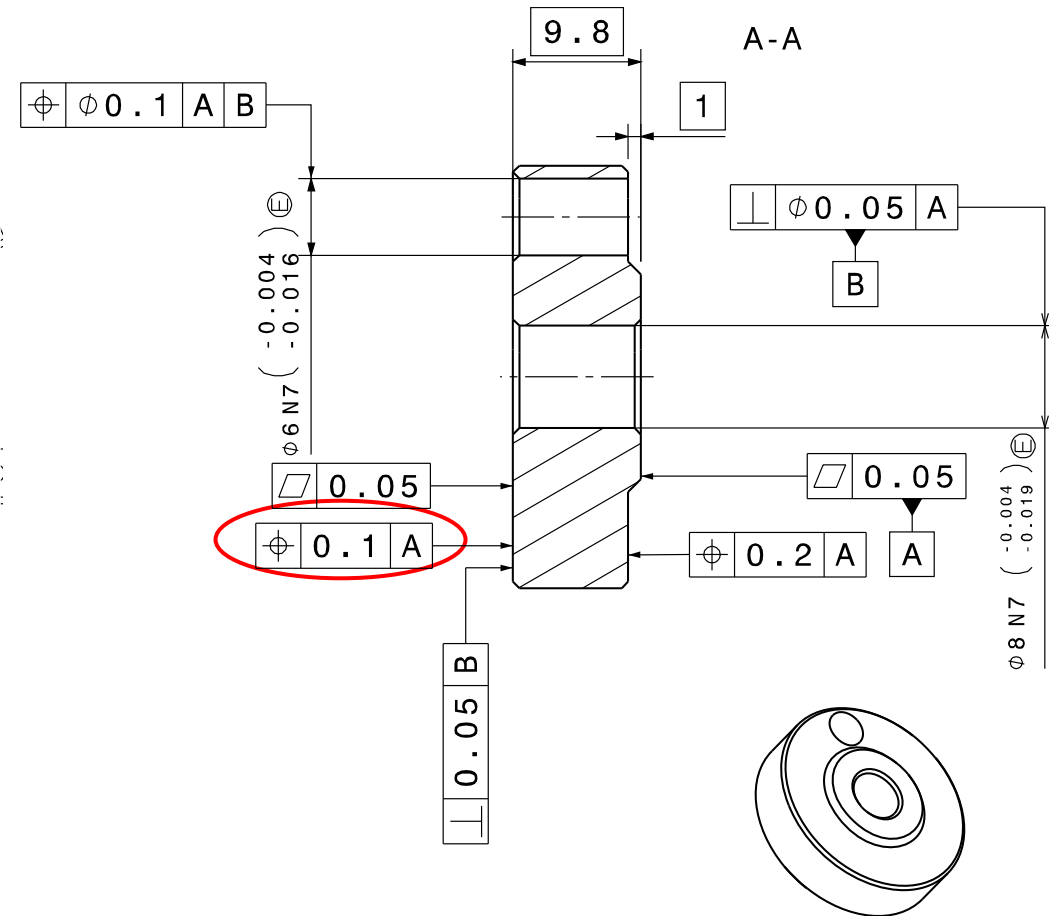
Les éléments de situation seront très utiles dans le processus de décodage de spécification

Technical drawing of a shaft with various geometric features and GD&P annotations. The shaft has a total length of 9.8. Features include a central hole with diameter 0.1 and tolerance 0.004/-0.016, a central step with a width of 1, and a central section with a diameter of 0.05 and tolerance 0.004/-0.019. A cross-section A-A is shown at the right end. A circular feature at the bottom right is also shown.

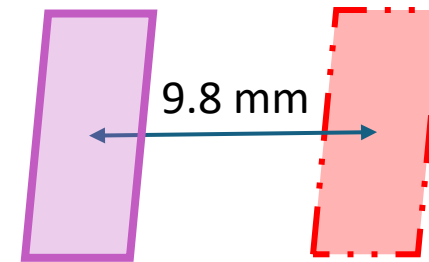


SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple pour une localisation simple avec élément de situation [PL]

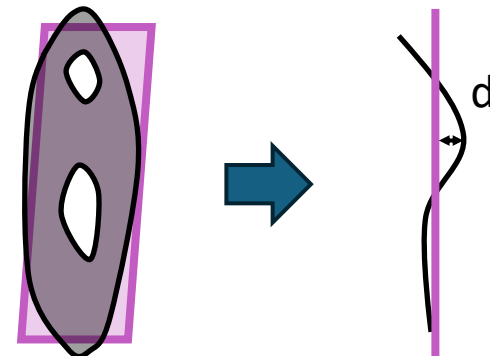


L'élément d'évaluation est un plan idéal qui sera positionné à 9.8 mm de l'élément de situation [PL].



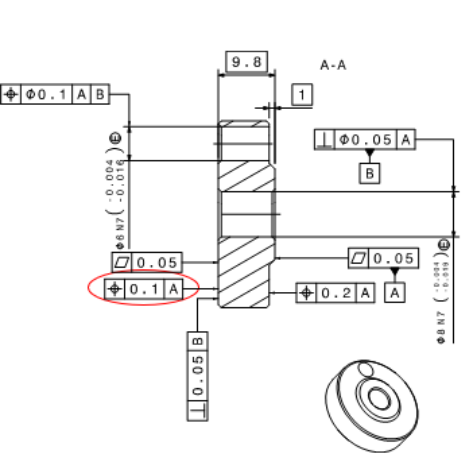
Nota : l'élément d'évaluation sera automatiquement parallèle à [PL].
3ddl de l'élément d'évaluation seront bloqués : 2 rotations et une translation

La caractéristique est la distance "di" entre l'élément d'évaluation et l'élément tolérancé.



Condition unilimite :
 $di_{MAX} \leq 0.1/2$

Grille de décodage



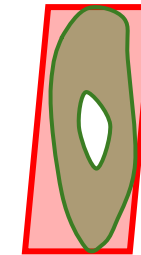
Spécification :  0 . 1 A				
NON IDEAL		IDEAL		
Elément(s) Tolérancé(s) (obligatoire)	Elément(s) de Référence(s) (si nécessaire)	Elément associé à (aux) élément(s) de référence(s)	Elément de Situation de l'élément associé [PT] [SL] [PL]	Référence Spécifiée résultante [PT] [SL] [PL]
Surface non-idéale nominalement plane	Surface non-idéale nominalement plane	Primaire		
		Forme et contrainte(s) interne(s) : Plan Idéal	[PL]	
		Critère d'association : [GE]		
		Secondaire		
IDEAL		Forme et contrainte(s) interne(s) :		
Elément d'évaluation		Contrainte(s) externe(s) :		
Nombre, forme et contrainte(s) interne(s) si besoin : Plan idéal		Critère d'association :		
Contrainte externe(s) (orientation et/ou position par rapport aux éléments de situations) : Positionné à 9.8 mm de [PL]				
Fonction objectif (nécessaire si tous les ddl ne sont pas bloqués, associe l'élément d'évaluation à l'élément tolérancé) : Sans objet				
Condition de conformité		Tertiaire		
Caractéristique (type de grandeur à évaluer)		Forme et contrainte(s) interne(s) :		
Condition uni-limite		Contrainte(s) externe(s) :		
La caractéristique est la distance "di" entre l'élément d'évaluation et l'élément tolérancé.	Condition unilimite : di_MAX ≤ 0.1/2	Critère d'association :		
		Classe d'invariance et Eléments de situation finaux : Plane – [PL]		

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple pour une localisation avec élément de situation [TiP]

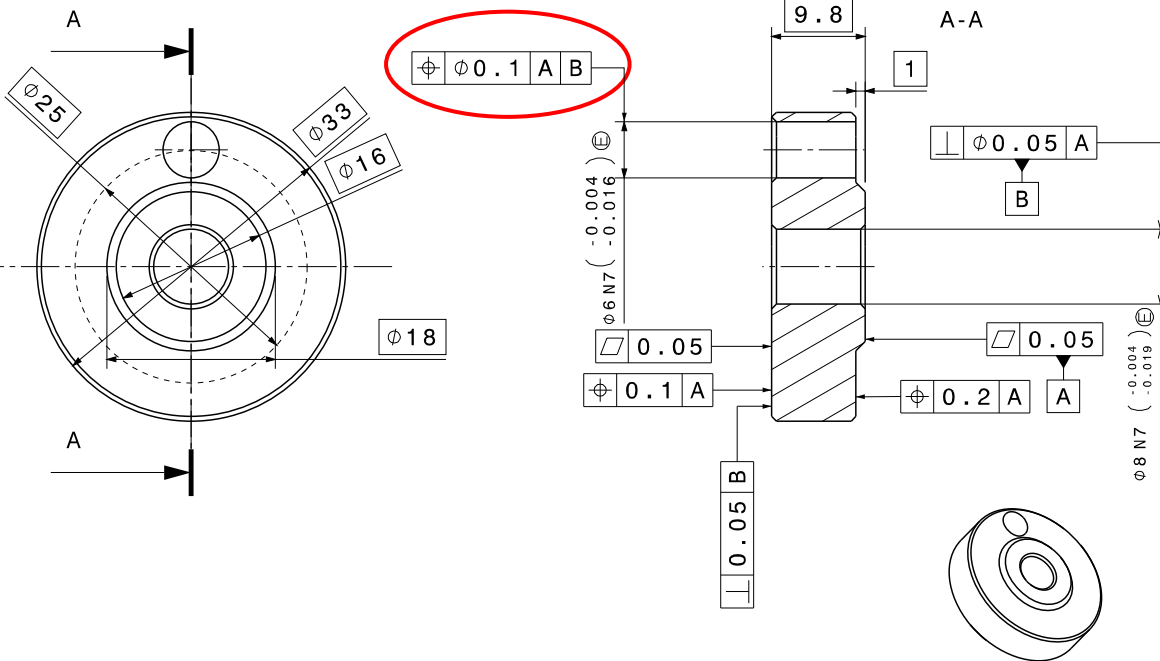
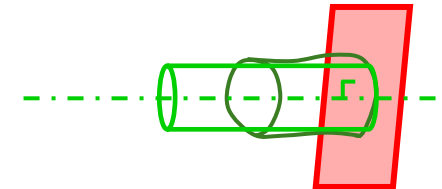
Un **plan idéal** sera associé à l'élément de Référence A par le critère [GE] : Gaussien Externe.

Ce plan est la Référence Spécifié PRIMAIRE qui définit l'élément de situation [PL]



Un **cylindre idéal** contraint à être **perpendiculaire à [PL]** sera associé à l'élément de Référence B par le critère [X] : Maximiser le diamètre inscrit.

L'**axe du cylindre** sera la Référence Spécifié SECONDAIRE qui définit l'élément de situation [SL]



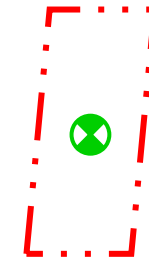
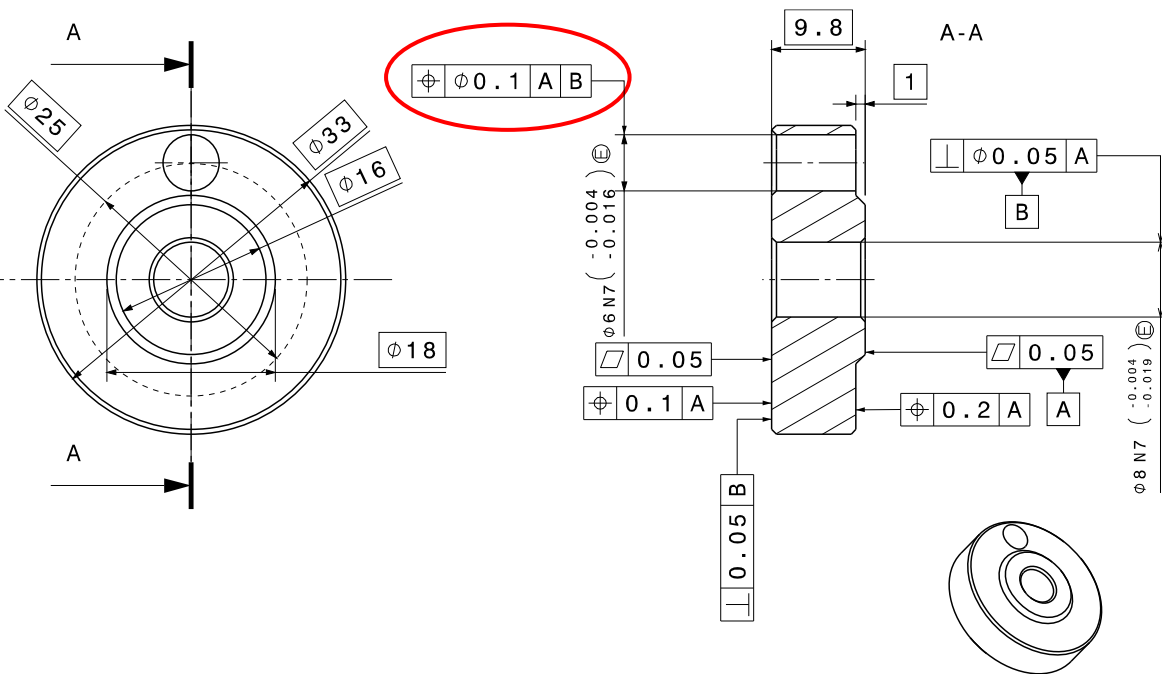
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple pour une localisation avec élément de situation [TiP]

Le système de Référence Spécifié résultant sera :

- [PL]

- [PT] : intersection de [SL] avec [PL] = [TiP]



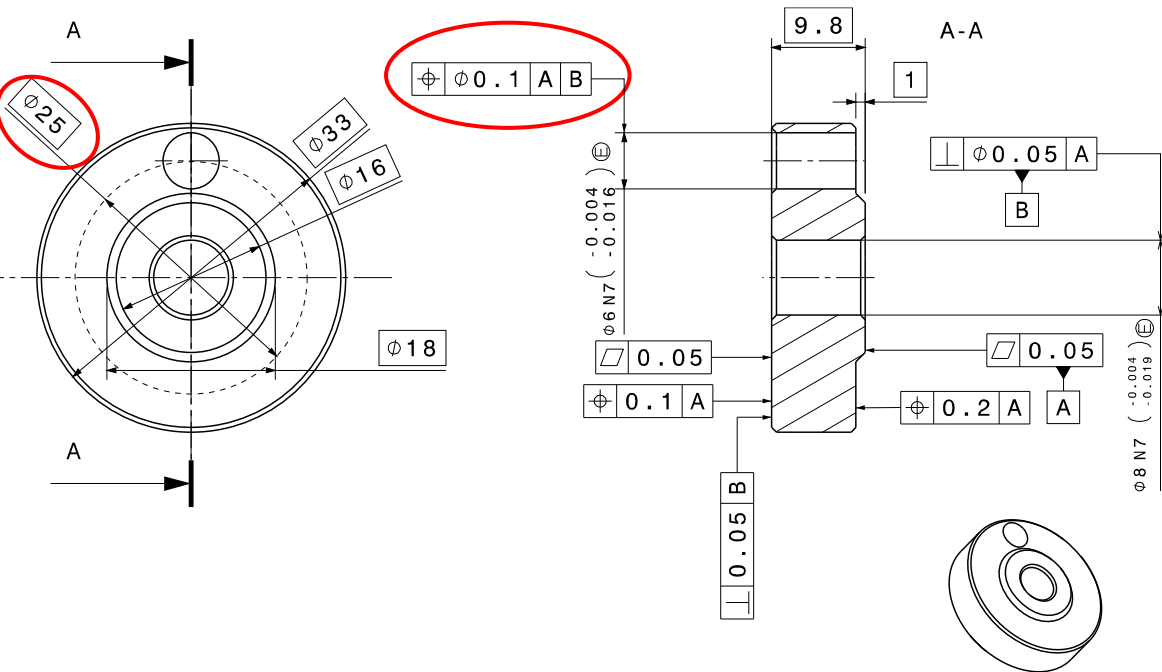
Nota : avec [TiP], il est possible d'orienter et positionner l'élément d'évaluation suivant les 3ddl bloqués par le plan :

2 rotations et 1 translation.

Et de positionner dans le plan suivant les deux dernières translations
 La classe d'invariance est de révolution : 1 ddl de rotation reste libre.

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple pour une localisation avec élément de situation [TiP]



L'élément d'évaluation est une droite idéale qui sera :
perpendiculaire à [PL]

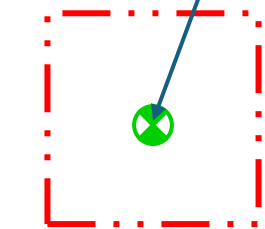
Positionné par rapport à [PT] à 12.5 mm (TED de $\varnothing 25$ mm).

L'élément d'évaluation n'étant pas complètement positionné, le dernier ddl sera bloqué en minimisant la distance maximale avec l'élément tolérancé

Elément tolérancé

● Élément d'évaluation

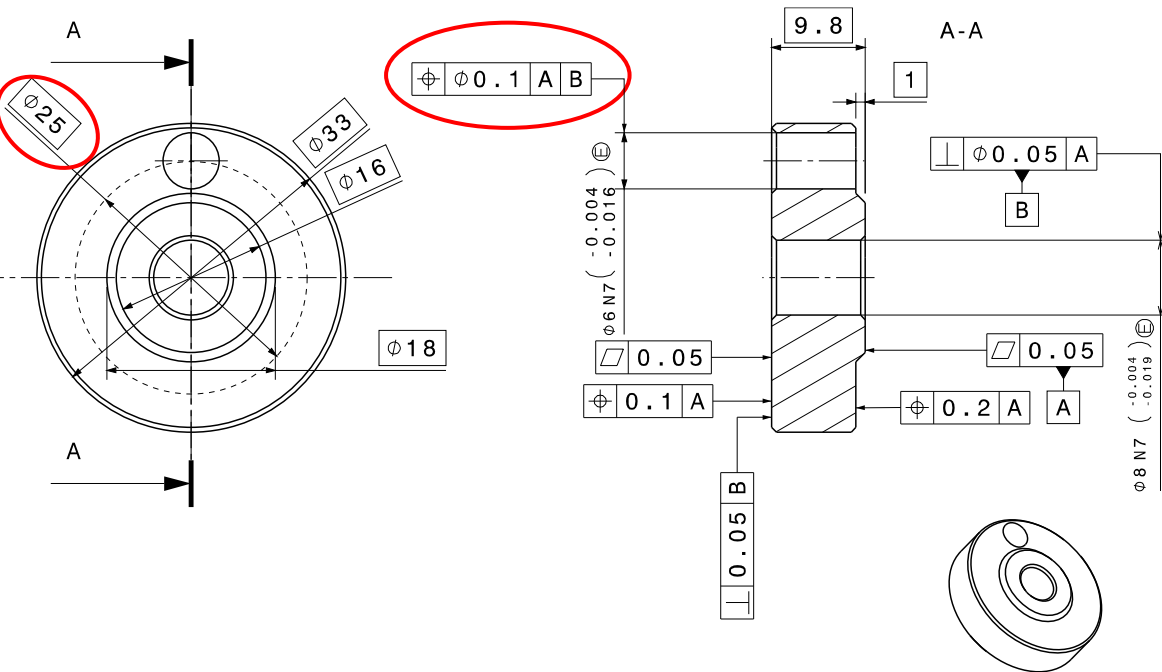
12.5 mm imposé



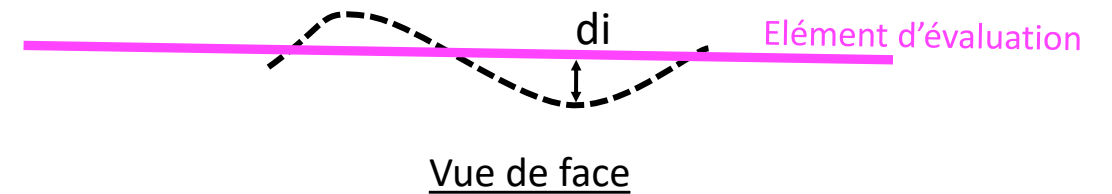
Vue de gauche

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

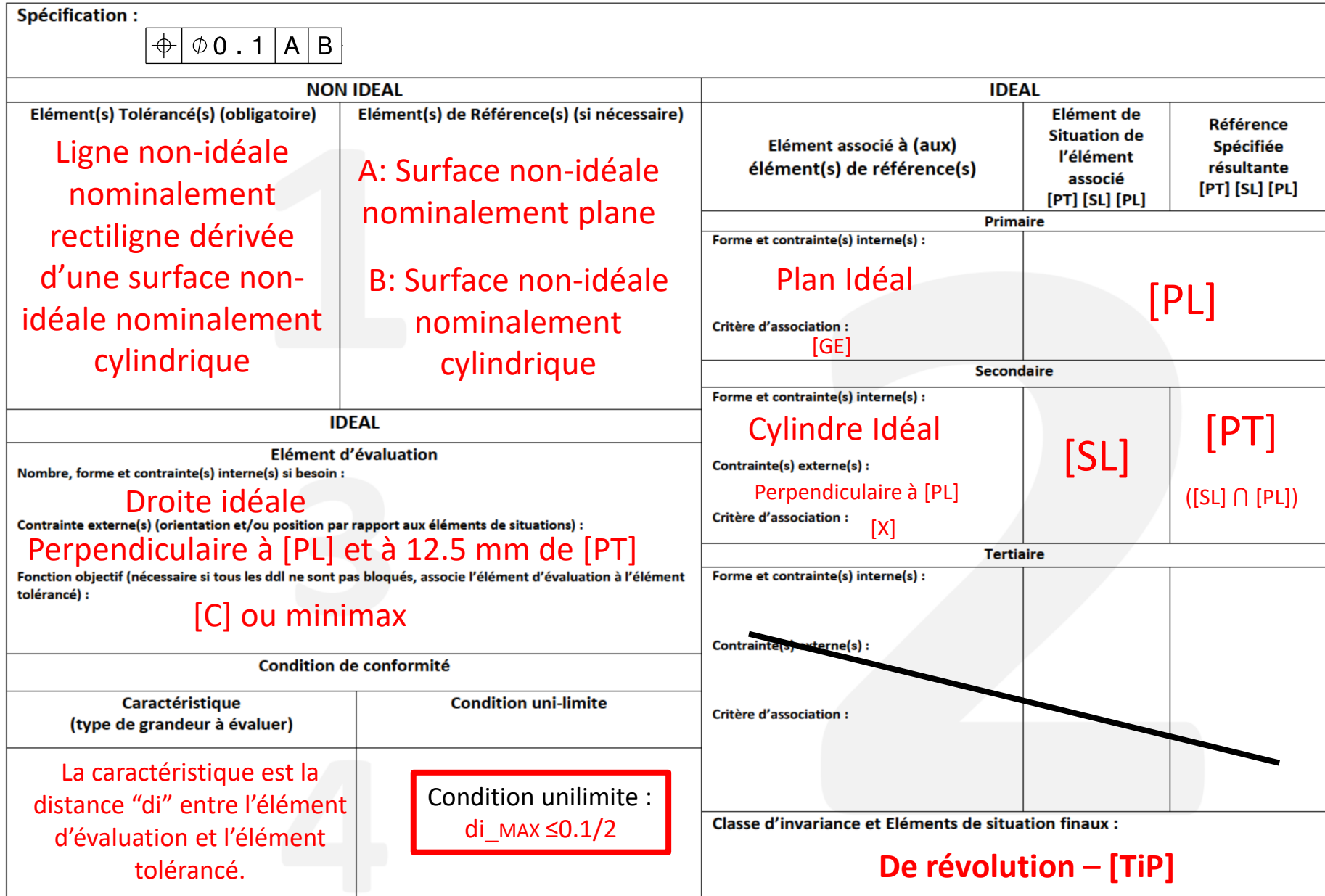
Exemple pour une localisation avec élément de situation [TiP]



La caractéristique est la distance “di” entre l’élément d’évaluation et l’élément tolérancé.

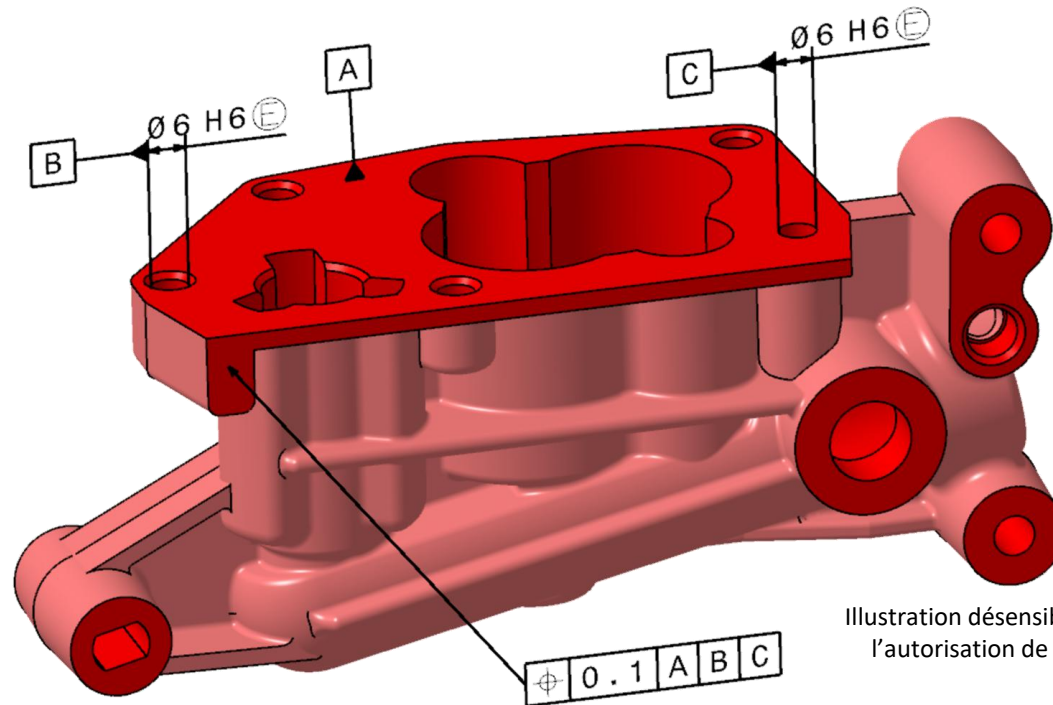


Condition unilimite :
 $di_{MAX} \leq 0.1/2$



SPECIFICATION GEOMETRIQUE

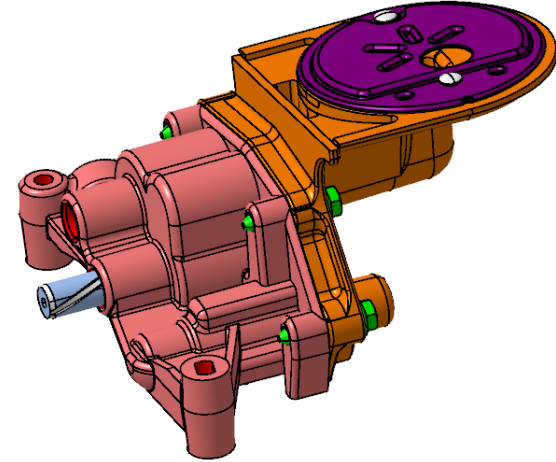
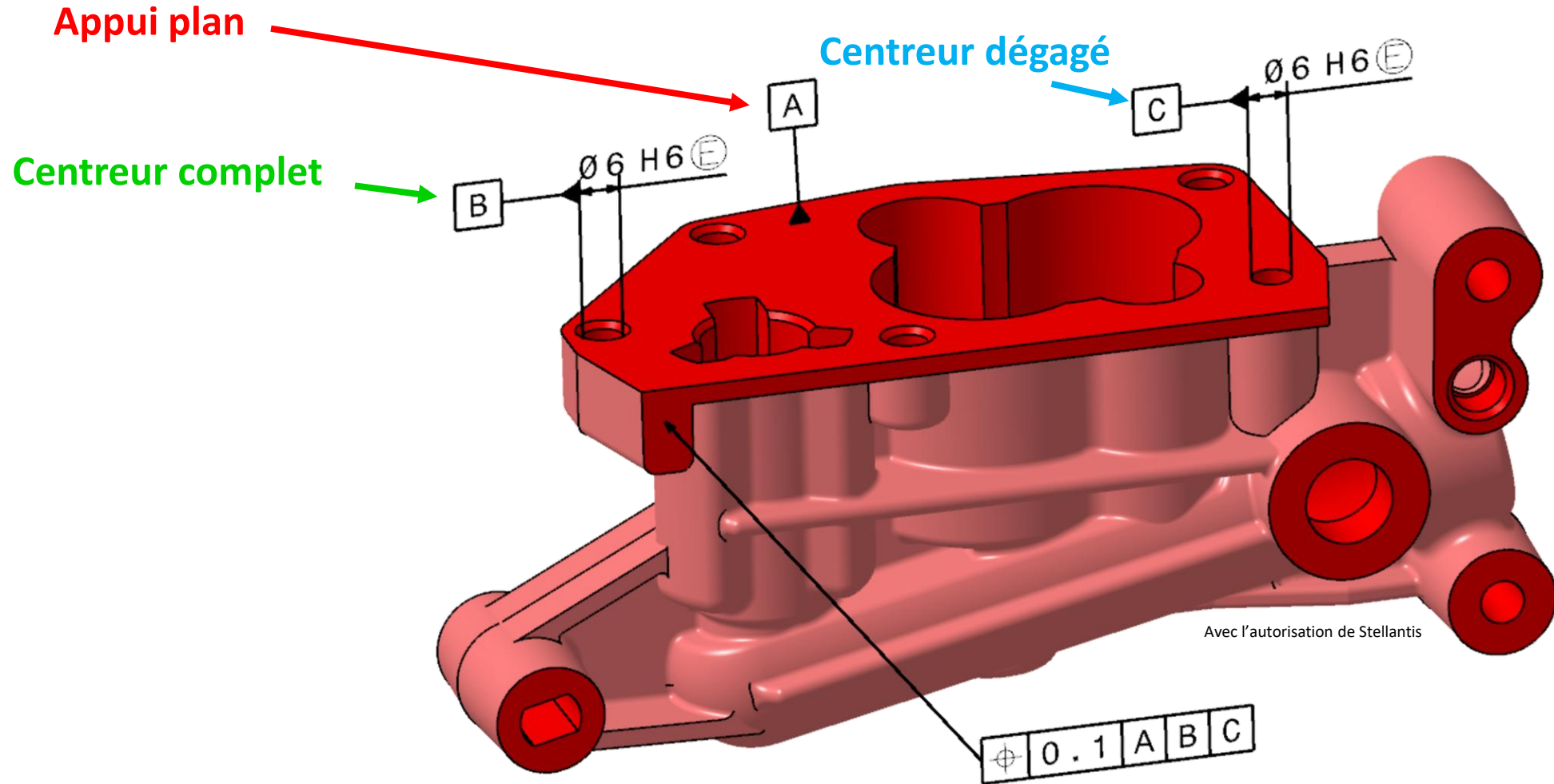
Exemple complet en [ToLiP]



SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS



Corps de pompe à huile

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

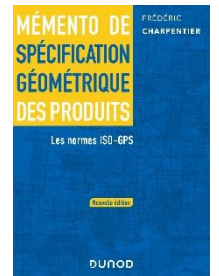
Exemple [ToLiP]

Démarche pour déterminer les Références Spécifiées

Inspiré du **PERS** : Processus d'Elaboration d'une Référence Spécifiée

1. **IDENTIFIER**, la ou les portions de surface (peau de la pièce) = élément de références
2. **ASSOCIER**,
 - 2.1 TYPE : une (des) surfaces idéales sur la (les) surface(s) identifiée(s) précédemment
 - 2.2 CONTRAINTE : Orientation par défaut du tertiaire /secondaire / primaire...
 - 2.3 CRITERE ou FONCTION OBJECTIF : Lorsque la solution n'est pas unique (minimax)
3. **TROUVER**, les éléments de situations de type point / droite / plan

Référence : D'après "Memento de Spécification Géométrique des Produits"
(Frederic Charpentier, DUNOD)

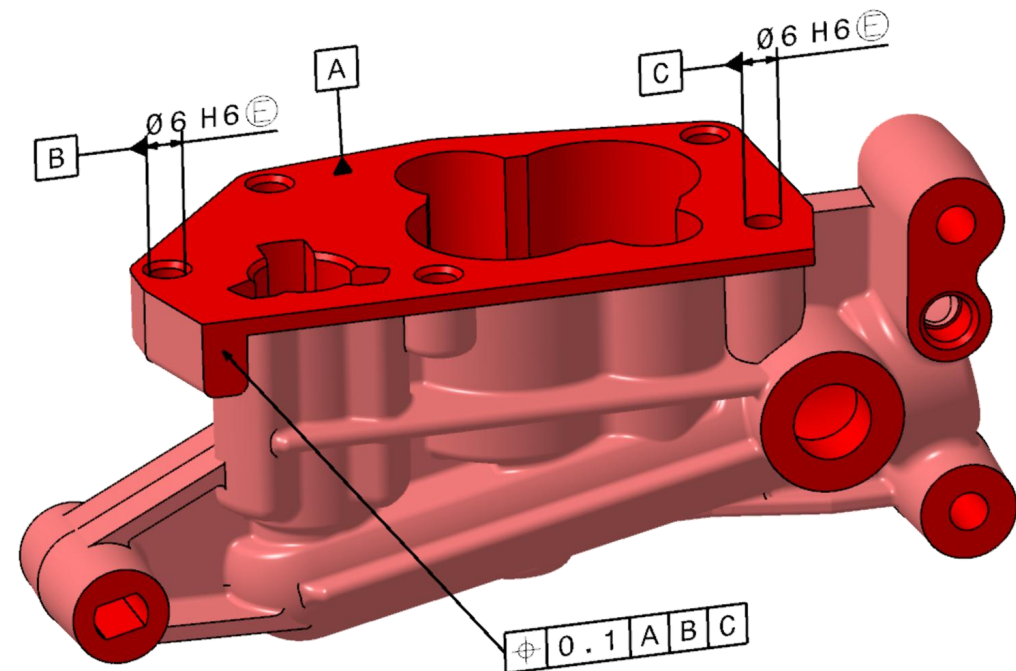


PERS_ETAPE 1 :
identifier

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

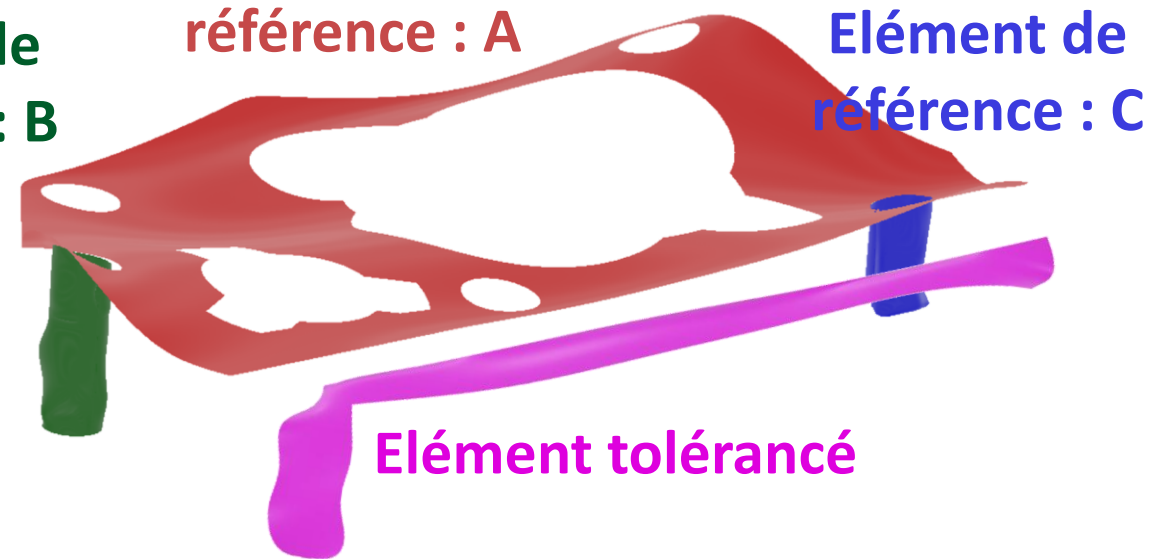
Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS



Élément de
référence : B

Élément de
référence : A

Élément de
référence : C



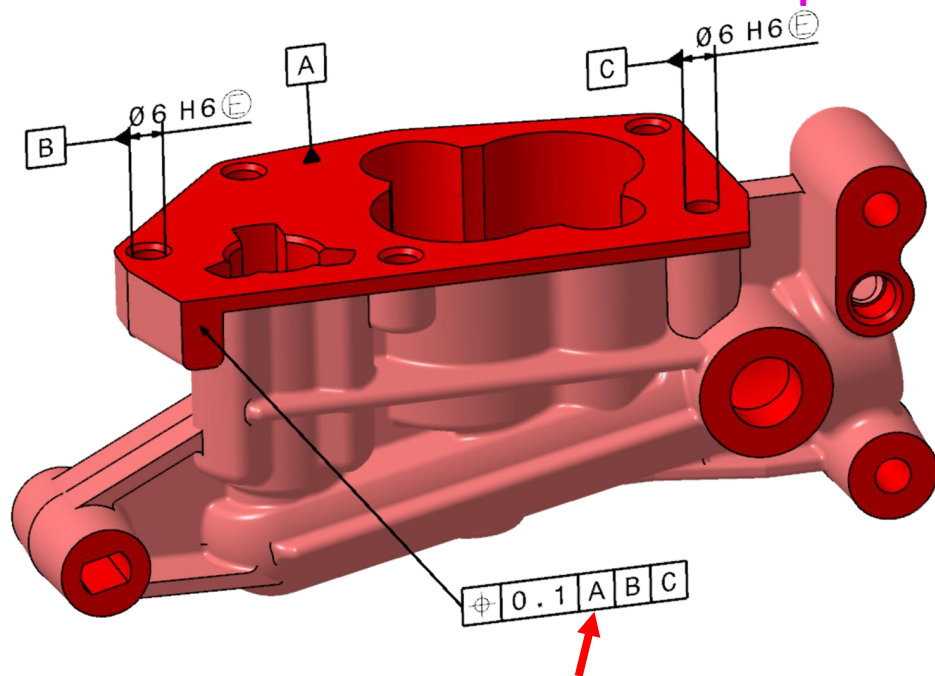
Rappel : les éléments de références (jamais des éléments dérivés)
sont des surfaces ou portions de surfaces
non-idéales extraites

PERS_ETAPE 2 :
associer

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS



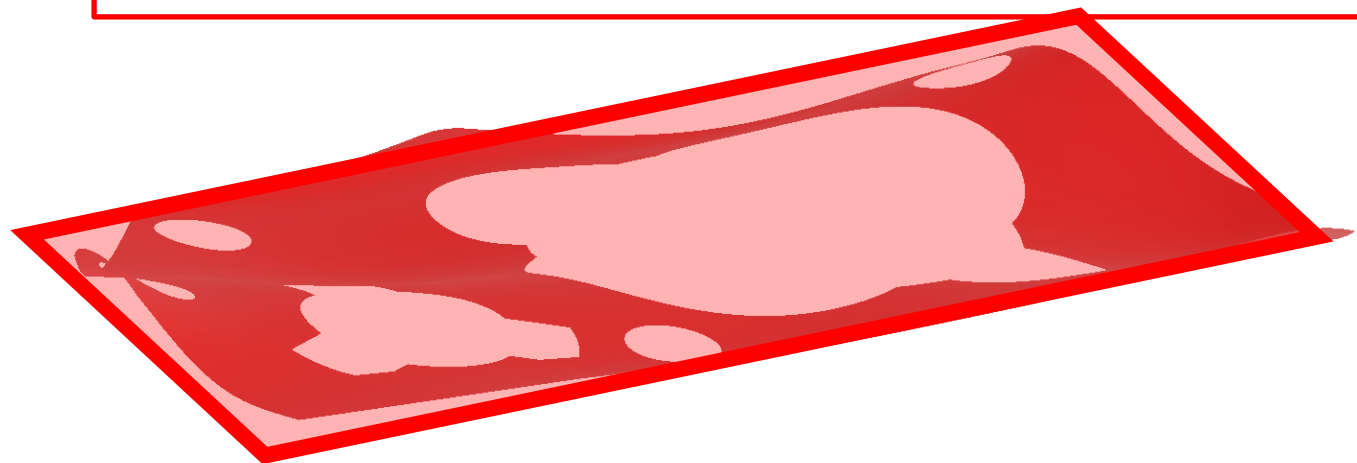
Pour déterminer la **Référence Spécifiée Primaire** : PERS_Etape 2 : Associer

Association à l'élément de référence d'un plan idéal par :

Contrainte de situation : aucune

Critère d'association : [GE] (critère par défaut) :

- Fonction objectif Gaussienne : G
- Contrainte extérieur matière : E
- Offset matière : sans objet



Nota-rappel : pour spécifier le critère d'association en vigueur avant 2024 (Tchebychev Extérieur), il convient de spécifier le modificateur [CE] :

$\oplus$	0.1	A[CE]	B	C
----------	-----	-------	---	---

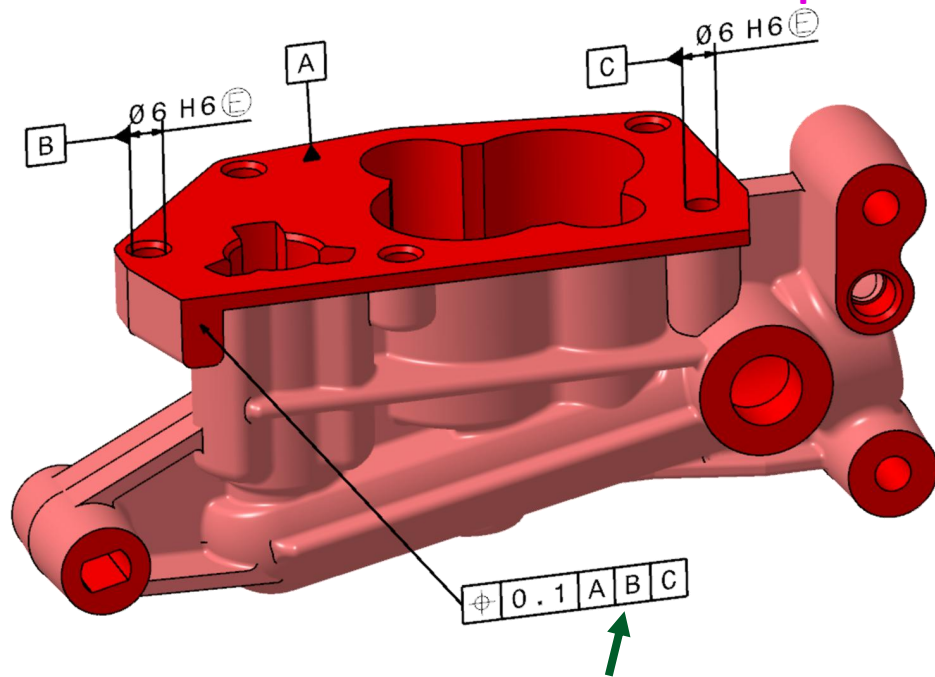
PERS_Etape 3 : Trouver : **Référence Spécifiée Primaire = élément de situation = [PL]**

PERS_ETAPE 2 :
associer

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS



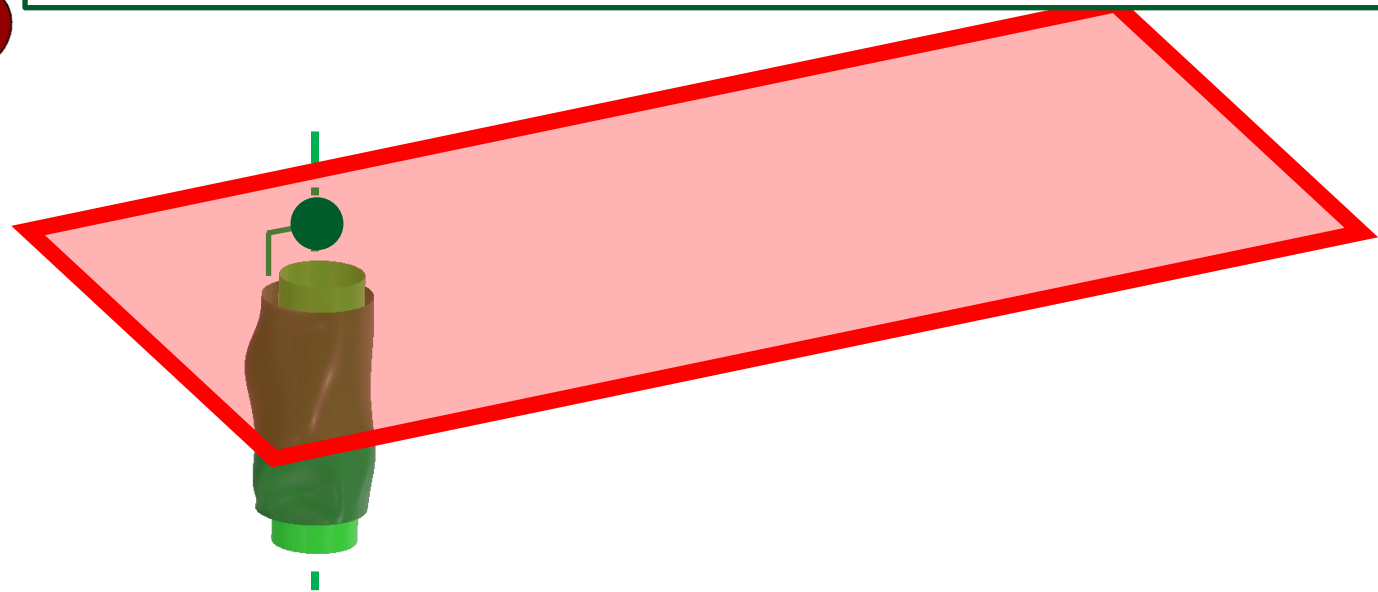
Pour déterminer la **Référence Spécifiée Secondaire** : PERS_Etape 2 : Associer

Association à l'élément de référence d'un Cylindre idéal par :

Contrainte de situation : orientation : **perpendicularité implicite** / RS_primaire

Critère d'association : [X] (critère par défaut) :

- Fonction objectif : maximiser le diamètre inscrit : X
- Contrainte extérieur matière : sans objet
- Offset matière : sans objet



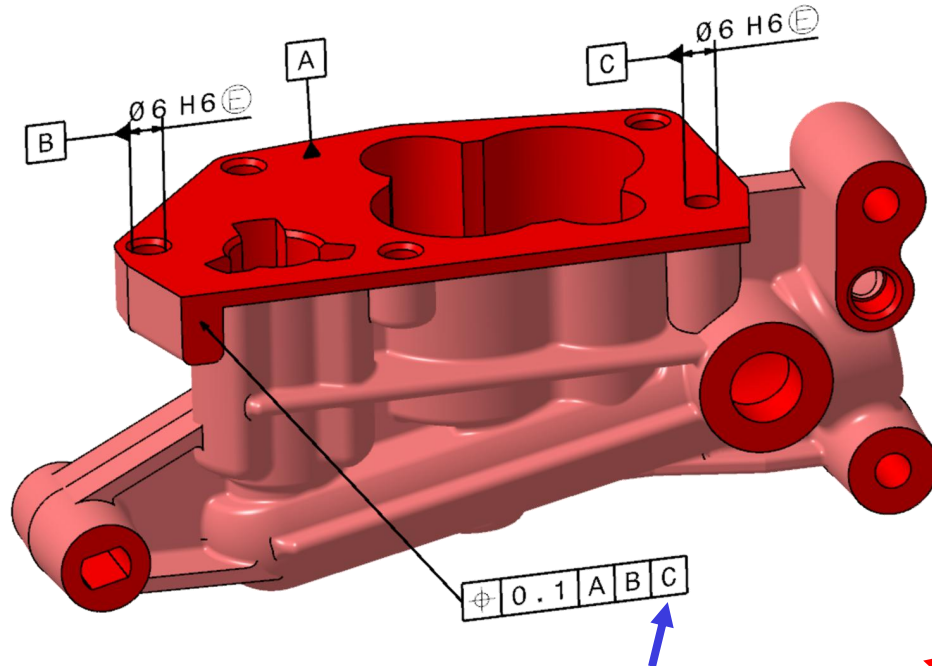
PERS_Etape 3 : Trouver : **Référence Spécifiée Secondaire** = élément de situation = [PT].

PERS_ETAPE 2 :
associer

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS



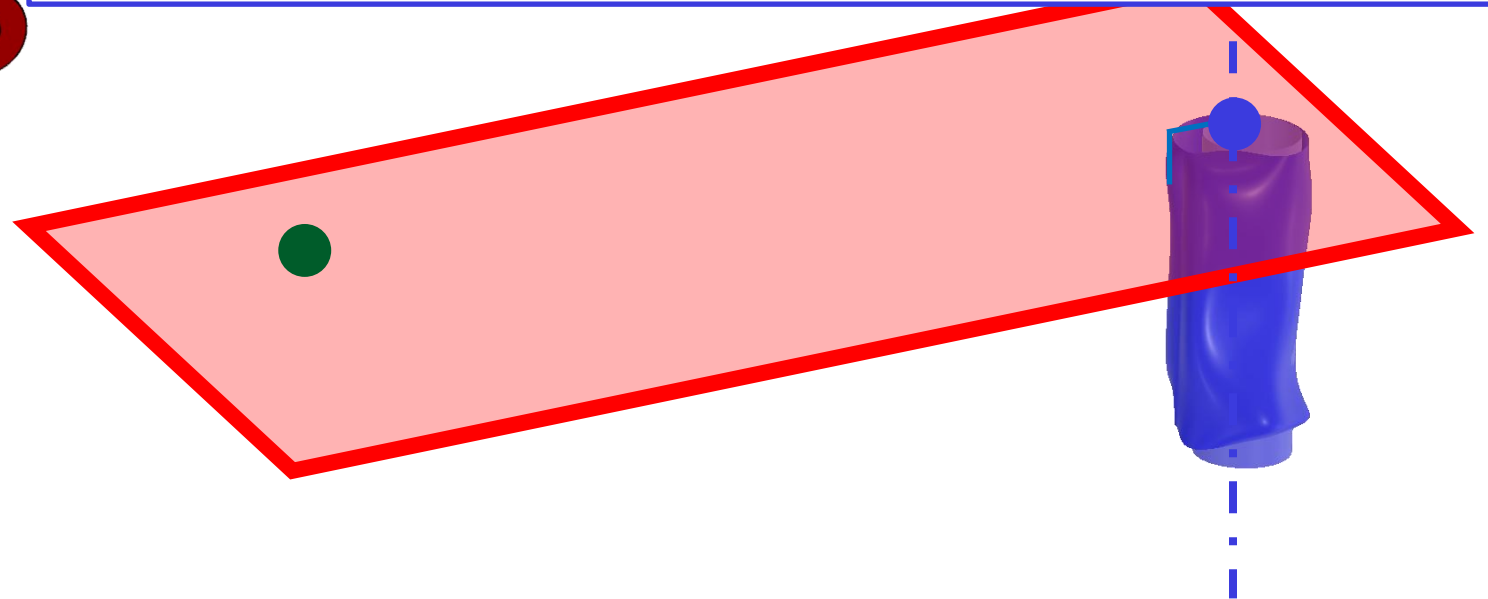
Pour déterminer la **Référence Spécifiée Tertiaire** : PERS_Etape 2 : Associer

Association à l'élément de référence d'un Cylindre idéal par :

Contrainte de situation : orientation : **perpendicularité implicite** / RS_primaire

Critère d'association : [X] (critère par défaut) :

- Fonction objectif : maximiser le diamètre inscrit : X
- Contrainte extérieur matière : sans objet
- Offset matière : sans objet

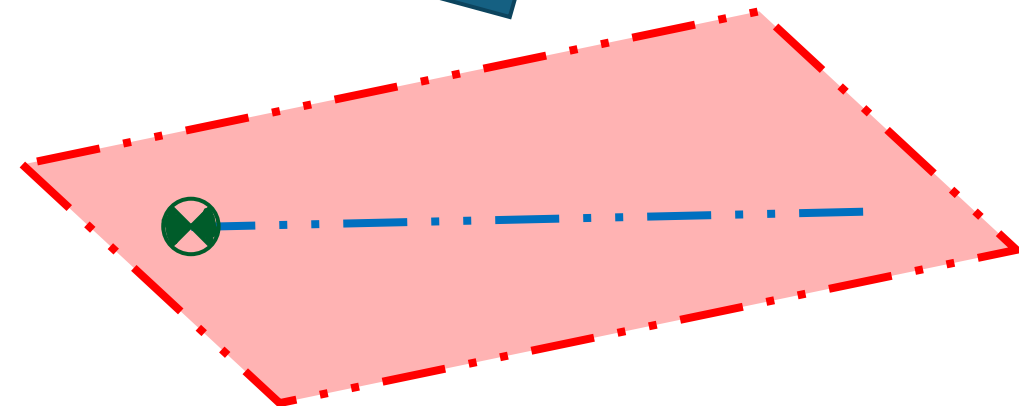
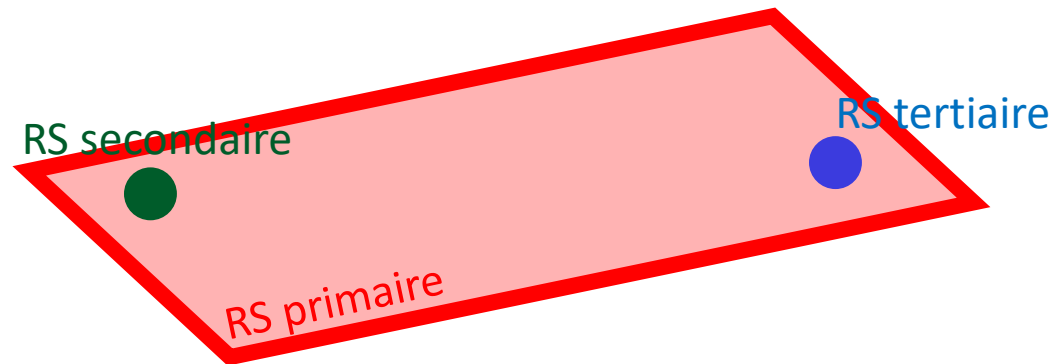
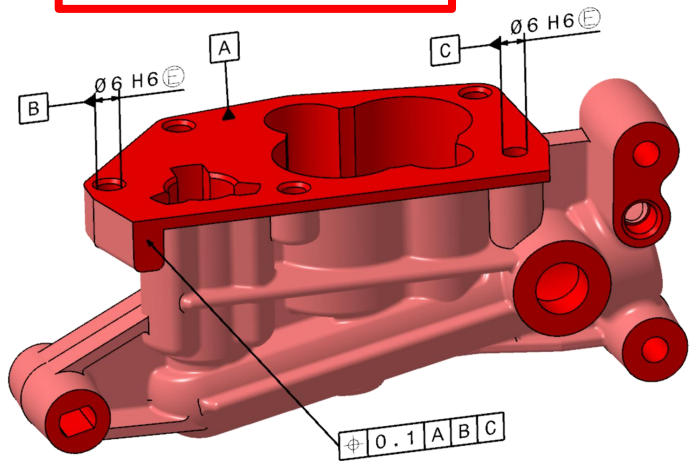


PERS_Etape 3 : Trouver : **Référence Spécifiée Tertiaire = élément de situation = [PT]**

**PERS_ETAPE 3 :
trouver**

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS



Les éléments de situations finaux seront :

[PL] = Plan défini par la Référence Spécifiée Primaire (3ddl)

[PT] = Point : intersection entre [PL] et la droite du cylindre associé secondaire (2ddl)

[SL] = Droite : reliant le [PT] de la RS_secondeira au [PT] de la RS_tertiaire

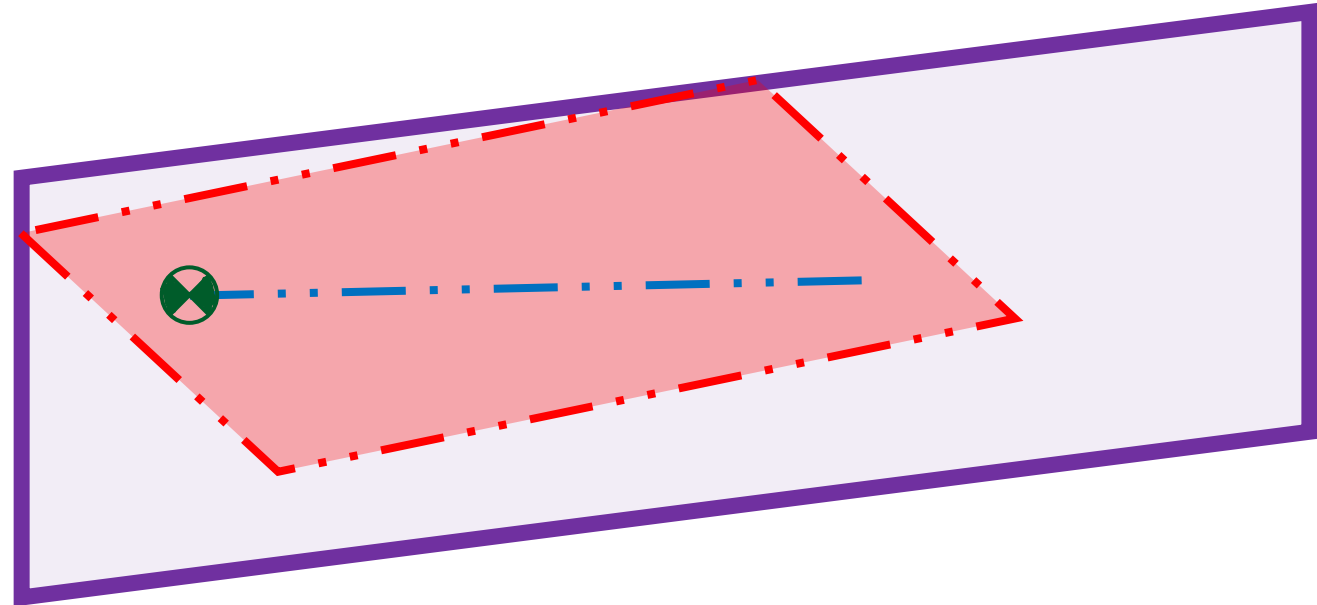
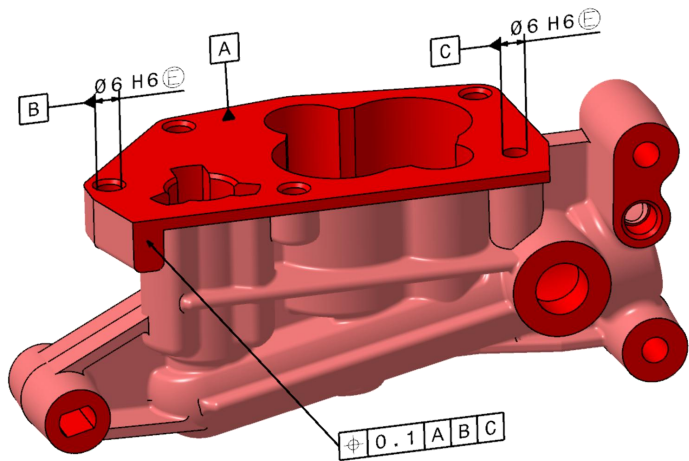
Point sur ligne dans plan (point **T** on **L**ine in **P**lane) : [ToLiP] : les 6ddl sont bloqués

Nota : ces éléments de situation permettront par la suite de **"situer"** l'élément d'évaluation

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS



Élément d'évaluation :

Type : un plan idéal

Contrainte : 1.Perpendicularité par rapport à **[PL]**, 2.Orienté par rapport à **[SL]** : rotation ce centre **[PT]**
3.Décalé par rapport à **[PT]** dans direction normale à l'élément d'évaluation précédemment orienté

Fonction objectif : sans objet car tous les ddl sont bloqués

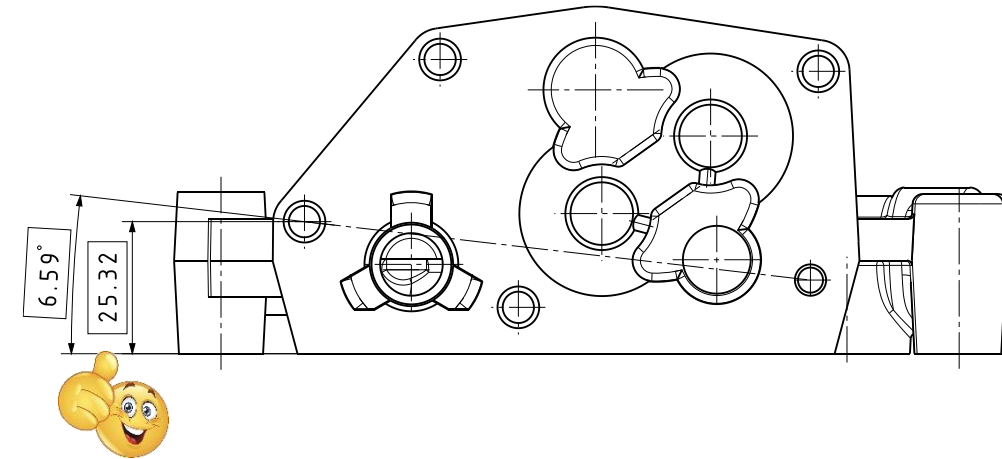
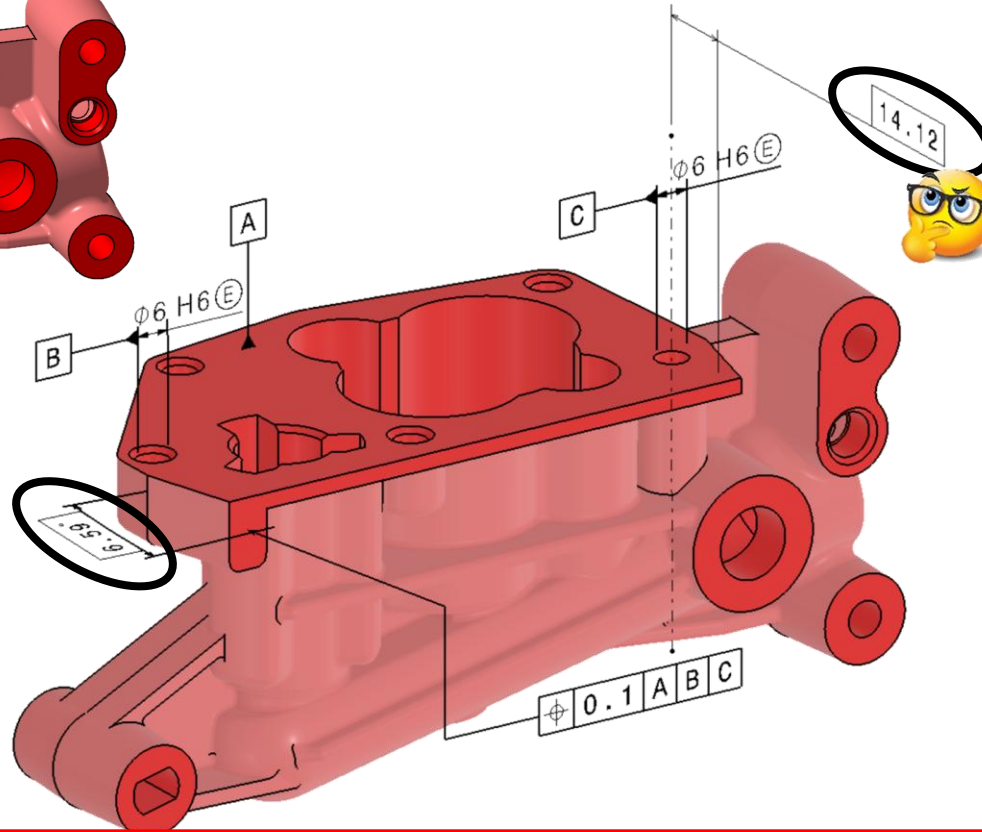
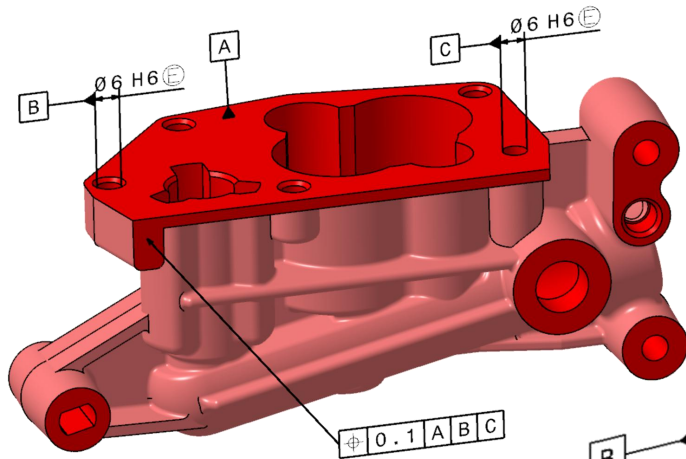
Les TEDs ne sont pas obligatoires dans le cas d'un tolérancement en 3D sur la CAO.

Dans le cas d'un tolérancement 2D, ces TEDs seront : un angle / **[SL]**, une distance / **[PT]** (voir suite)

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS



Ecriture des TEDs en **automatique** sous 3dExp.

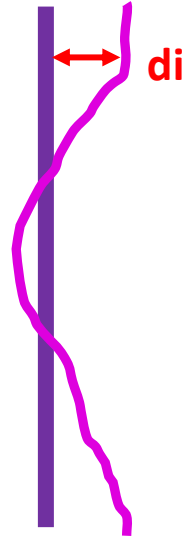
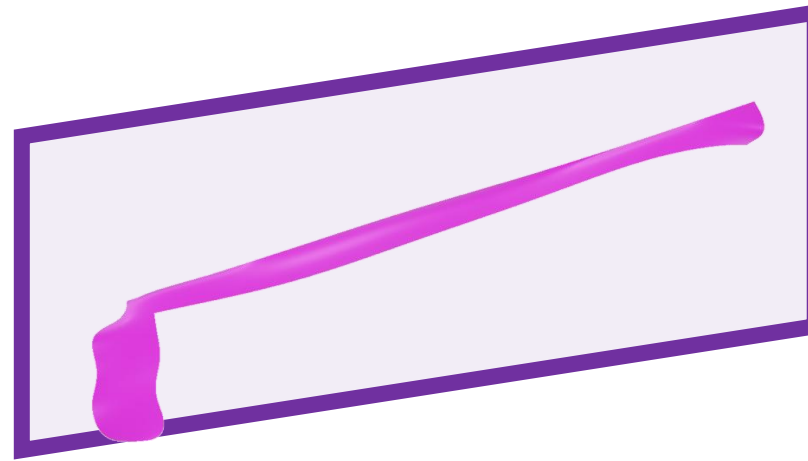
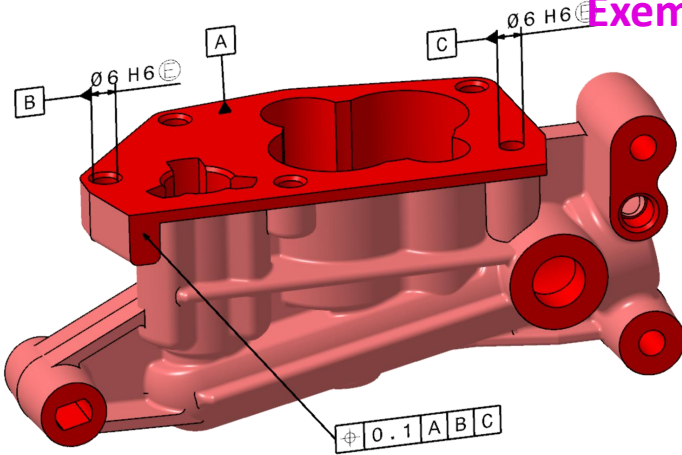
Cette notation est sémantique.

Pour l'écriture il **serait préférable** de faire partir la TED linéaire de valeur 14.12 de l'élément de situation **[PT]** car la rotation se fait autour de ce point (voir diapo précédente)

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS



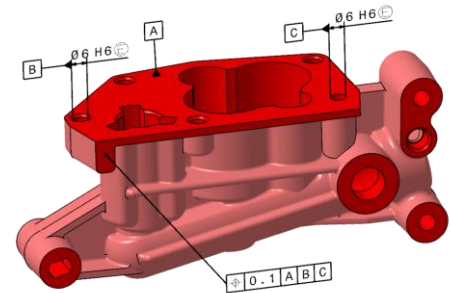
Caractéristique :

Distance “ d_i ” entre l’élément tolérancé et l’élément d’évaluation

Condition uni-limite :

$d_{i_MAX} \leq IT/2$ (ici ≤ 0.05)

Grille de décodage



Spécification :		⌀ 0.1 A B C		
NON IDEAL		IDEAL		
Elément(s) Tolérancé(s) (obligatoire)	Elément(s) de Référence(s) (si nécessaire)	Elément associé à (aux) élément(s) de référence(s)	Elément de Situation de l'élément associé [PT] [SL] [PL]	Référence Spécifiée résultante [PT] [SL] [PL]
Surface non-idéale nominalement plane	A : Surface non-idéale nominalement plane	Primaire		
	B : Surface non-idéale nominalement cylindrique	Forme et contrainte(s) interne(s) : Plan idéal Critère d'association : Gaussien Externe [GE]	Plan [PL]	
	C : Surface non-idéale nominalement cylindrique	Secondaire		
IDEAL		Forme et contrainte(s) interne(s) : Cylindre idéal Contrainte(s) externe(s) : Perpendiculaire à [PL] Critère d'association : [X]	Droite : [SL]	[PT] : [SL] ∩ [PL]
Elément d'évaluation Nombre, forme et contrainte(s) interne(s) si besoin : Plan idéal Contrainte externe(s) (orientation et/ou position par rapport aux éléments de situations) : ⊥ à [PL] / tourné de 6,59° autour de [[PT];[SL]] / décalé de 25,32mm Fonction objectif (nécessaire si tous les ddl ne sont pas bloqués, associe l'élément d'évaluation à l'élément tolérancé) : Sans objet		Tertiaire		
Condition de conformité		Forme et contrainte(s) interne(s) : Cylindre idéal Contrainte(s) externe(s) : Perpendiculaire à [PL] Critère d'association : [X]	Droite : [SL]	[SL] : ([PT] ; ([SL] ∩ [PL]))
Caractéristique (type de grandeur à évaluer)	Condition uni-limite	Classe d'invariance et Eléments de situation finaux :		
Distance “di”entre l'élément tolérancé et l'élément d'évaluation	di_MAX ≤ 0.1/2	Classe d'invariance complexe. [Tolip]		

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Références communes

Très utiles si la mise en position est réalisée sur plusieurs éléments indépendants (2 surfaces cylindriques qui sont des portées de roulements par exemple)

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

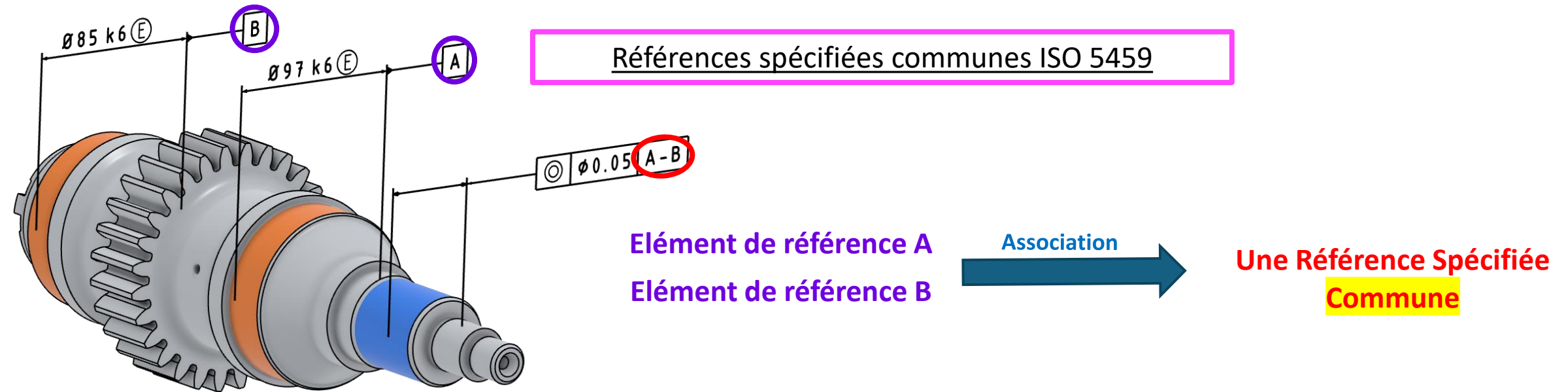


Illustration désensibilisée, avec l'autorisation de
Safran Transmission Systems

**Les éléments associés qui forment une Référence Spécifiée Commune sont par défaut
contraints les uns par rapport aux autres en position et en orientation.**

Rem : Si le modificateur [DV] est placé dans le cadre de tolérance après la ou les lettre(s) identifiant une référence spécifiée commune, la distance linéaire entre les éléments de la collection qui composent cette référence commune doit alors être considérée comme variable (voir suite)

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple :

Références spécifiées communes ISO 5459

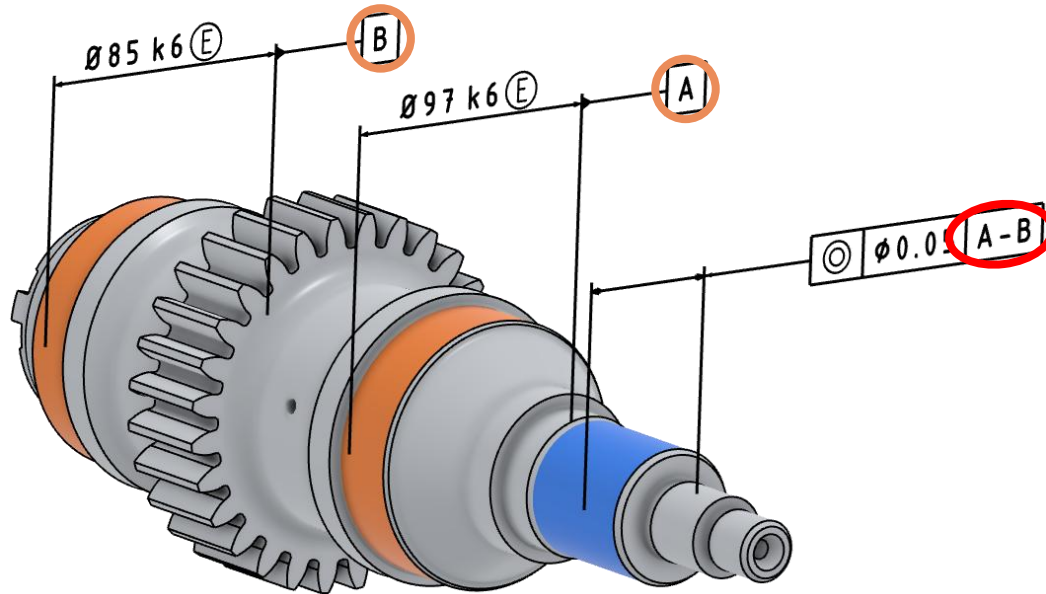
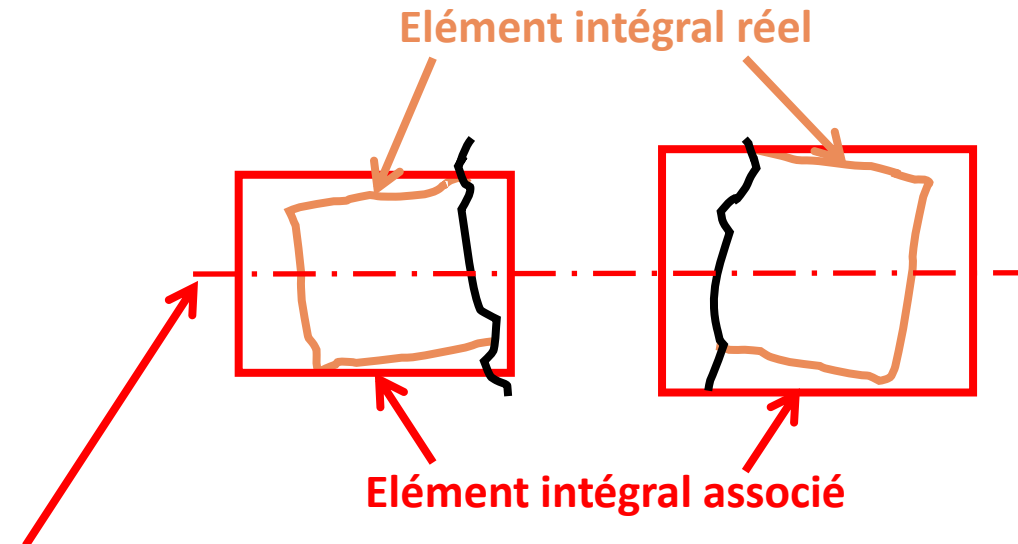


Illustration désensibilisée, avec l'autorisation de
Safran Transmission Systems



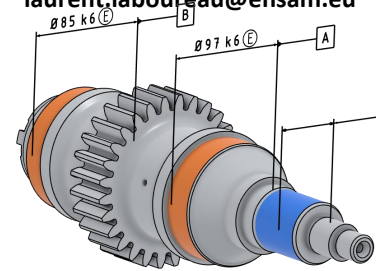
Référence spécifiée (élément dérivé directement associé)

La référence spécifiée est **l'axe commun de deux cylindres coaxiaux** (contrainte de position) associés **aux deux éléments de références** en minimisant **simultanément et globalement** leurs diamètres avec les éléments intégraux réels (fonction objectif [N] : minimal circonscrit).

L'élément de situation est une droite : [SL]. La classe d'invariance est cylindrique.

Nota : du fait des défauts d'orientation, les deux cylindres idéaux associés auront **des diamètres différents**, même si les nominaux sont égaux

Synthèse

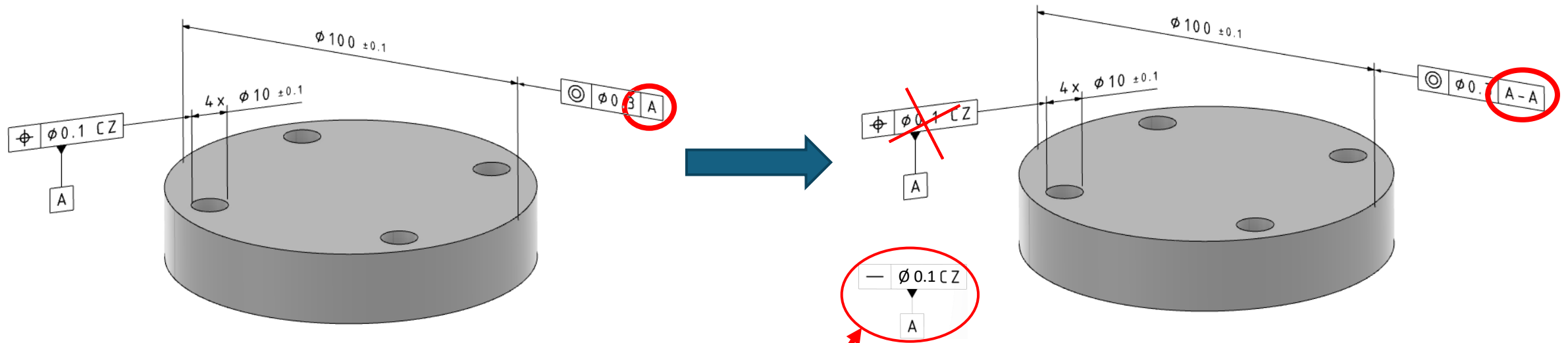


Spécification :				
⊙ ∅ 0.05 A - B				
NON IDEAL		IDEAL		
Elément(s) Tolérancé(s) (obligatoire)	Elément(s) de Référence(s) (si nécessaire)	Elément associé à (aux) élément(s) de référence(s)	Elément de Situation de l'élément associé [PT] [SL] [PL]	Référence Spécifiée résultante [PT] [SL] [PL]
Ligne non-idéale nominale rectiligne dérivée d'une surface non-idéale nominale cylindrique	A: Surface non-idéale nominale cylindrique B : Surface non-idéale nominale cylindrique	Primaire		
		Forme et contrainte(s) interne(s) :	[SL] (axe commun aux deux cylindres associés)	
		2 cylindres idéaux coaxiaux de taille variable		
		Critère d'association : Minimal circonscrit [N]		
IDEAL		Secondaire		
Elément d'évaluation Nombre, forme et contrainte(s) interne(s) si besoin : Droite idéale Contrainte externe(s) (orientation et/ou position par rapport aux éléments de situations) : Coaxiale à [SL] Fonction objectif (nécessaire si tous les ddl ne sont pas bloqués, associe l'élément d'évaluation à l'élément tolérancé) : Sans objet		Forme et contrainte(s) interne(s) :		
		Contrainte(s) externe(s) :		
		Critère d'association :		
		Tertiaire		
Condition de conformité		Forme et contrainte(s) interne(s) :		
Caractéristique (type de grandeur à évaluer)		Contrainte(s) externe(s) :		
		Critère d'association :		
		Classe d'invariance et Eléments de situation finaux :		
Distance "di"entre l'élément tolérancé et l'élément d'évaluation		Classe d'invariance cylindrique. [SL]		

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Références spécifiées communes ISO 5459

Indications possibles sur le dessin : Evolution des pratiques



ISO 5459 : 1981 : Référence spécifiée simple établie sur un groupe d'éléments

ISO 5459 : 2011 : Référence spécifiée commune établie sur un groupe d'éléments

Nota : Une **rectitude en zone combinée** peut remplacer la localisation...
 Voir tableau des symboles

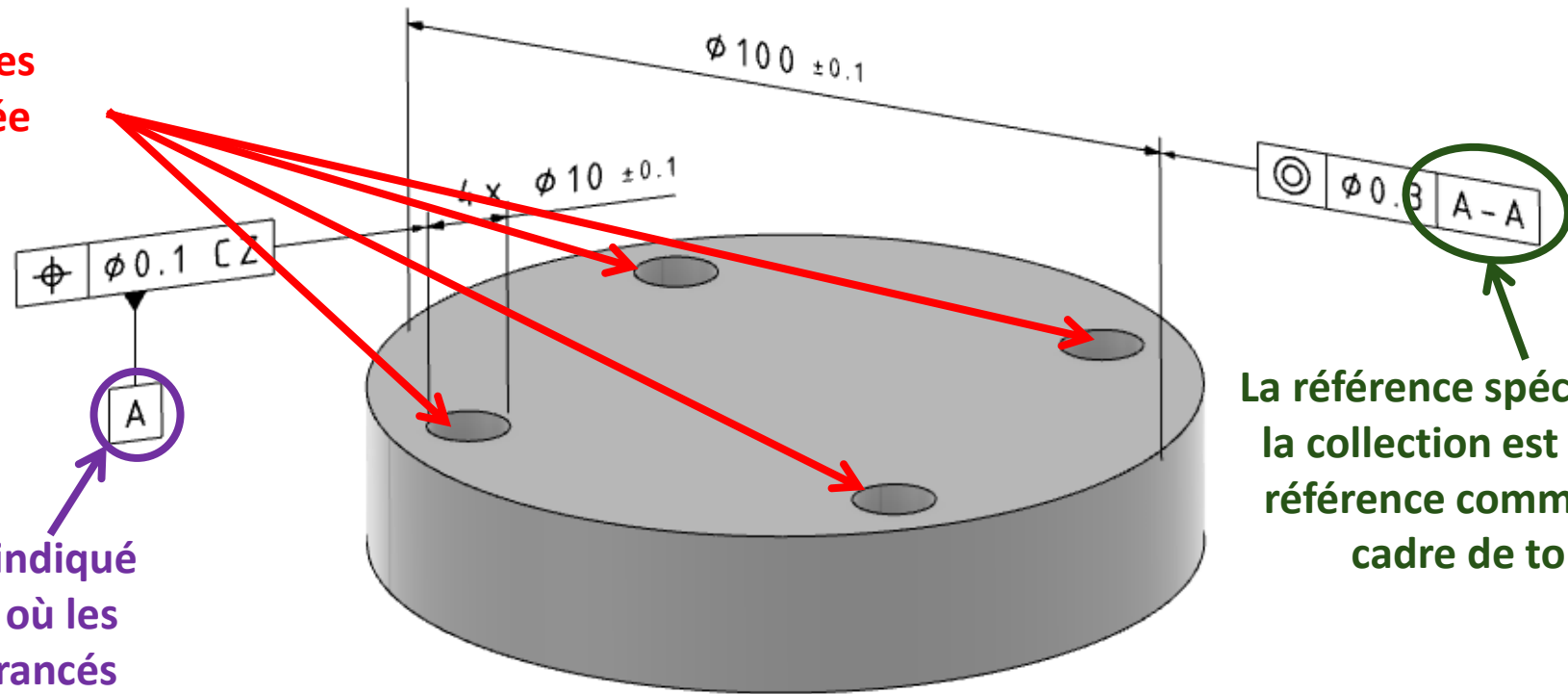
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Références spécifiées communes ISO 5459

Références spécifiées communes : exemple où la référence spécifiée est construite sur 4 cylindres 1/4

Exemple/Exercice :

Les quatre alésages identiques forment la référence spécifiée ...rôle fonctionnel ?



L'élément de référence est indiqué sous le cadre de tolérance où les quatre éléments sont tolérancés

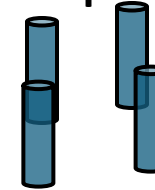
La référence spécifiée issue de la collection est indiquée en référence commune dans le cadre de tolérance

La référence spécifiée est construite sur quatre alésages

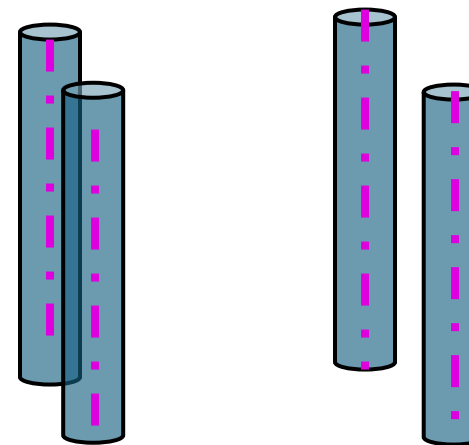
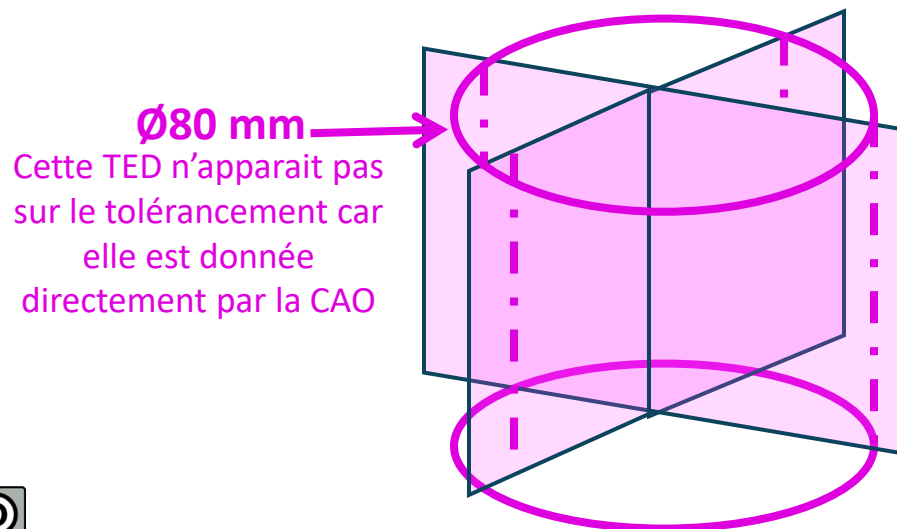
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Références spécifiées communes : exemple ou la référence spécifiées est construite sur 4 cylindres 2/4

La référence spécifiée est construite sur quatre éléments cylindriques de taille variable (ce sont les éléments associés).



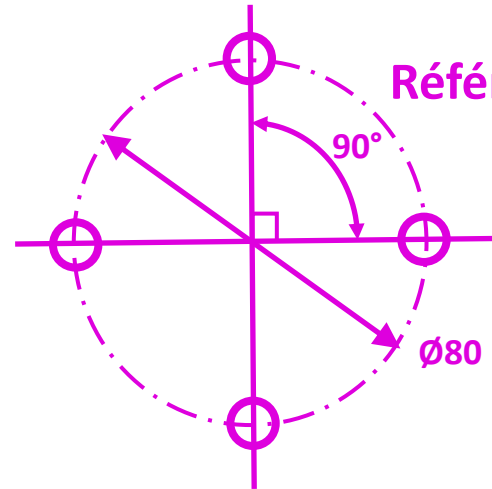
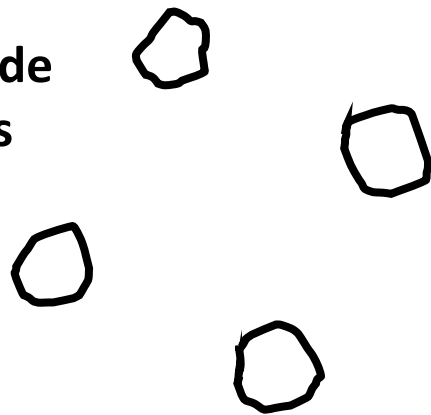
Les 4 axes des cylindres sont parfaitement positionnés et orientés les uns par rapport aux autres. Ils sont sur l'intersection d'un cylindre de diamètre 80 mm et de deux plans orthogonaux (angles de 90° implicite) passant par l'axe du cylindre.



SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Références spécifiées communes : exemple ou la référence spécifiées est construite sur 4 cylindres 3/4

4 éléments de références

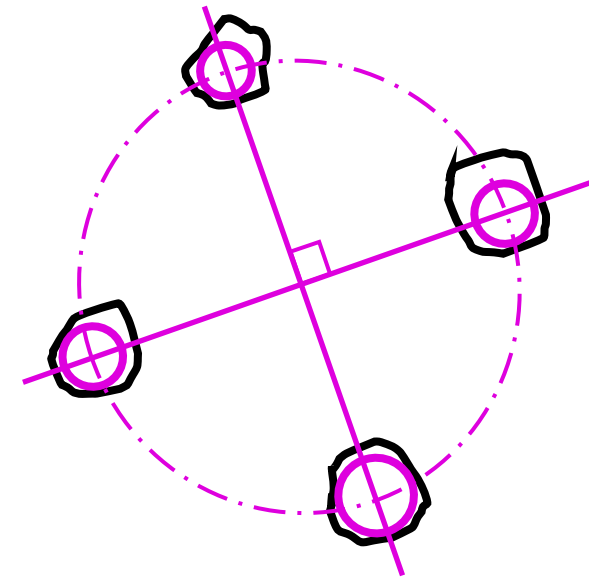


Référence spécifiée commune

Opération d'association

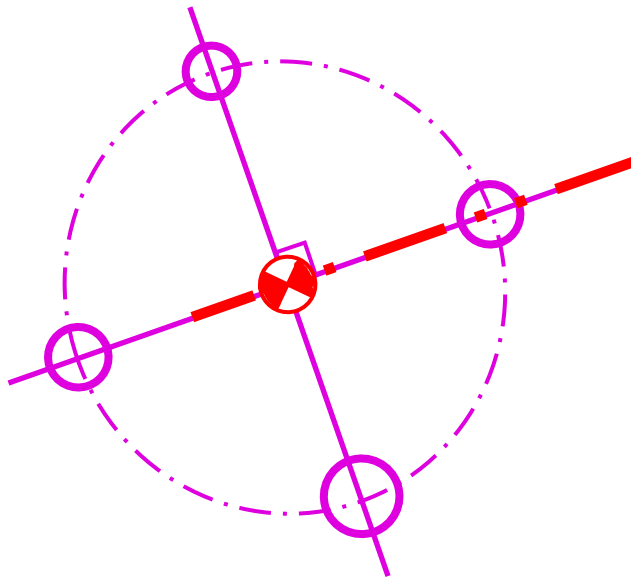


Maximum inscrit : [X], la taille des cylindres est variable.

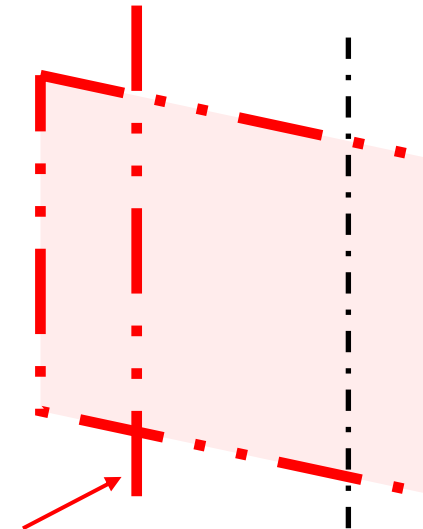


SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Références spécifiées communes : exemple ou la référence spécifiées est construite sur 4 cylindres 4/4



Droite médiane
des 4 axes des
cylindres : [SL]



Un plan contenant
cette droite et un des
axes des 4 cylindres
associés : [PL]

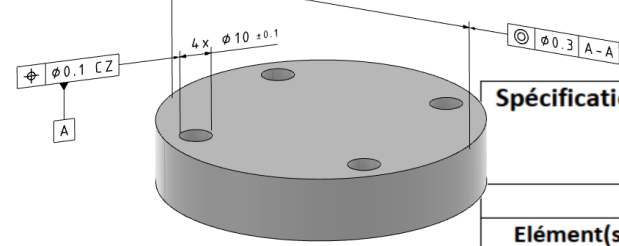
La **Référence Spécifiée unique** permettra de définir deux éléments de situations : **[PL]** et **[SL]**

Les éléments de situation sont de type : Ligne dans plan (Line in Plane) : [LiP]

La classe d'invariance est prismatique, 1 seul ddl est libre.

Il est possible de n'utiliser que [PL] ou [SL] de cette Référence Spécifiée (voir suite)

Synthèse

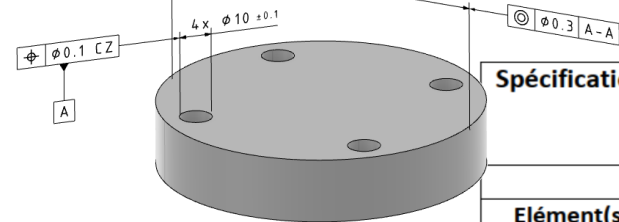


Spécification :

$\phi 0.1 \text{ CZ}$

NON IDEAL		IDEAL		
Elément(s) Tolérancé(s) (obligatoire)	Elément(s) de Référence(s) (si nécessaire)	Elément associé à (aux) élément(s) de référence(s)	Elément de Situation de l'élément associé [PT] [SL] [PL]	Référence Spécifiée résultante [PT] [SL] [PL]
4 lignes non-idéales nominale rectilignes dérivées de 4 surfaces non-idéales nominale cylindriques		Primaire		
		Forme et contrainte(s) interne(s) :		
		Critère d'association :		
		Secondaire		
		Forme et contrainte(s) interne(s) :		
		Contrainte(s) externe(s) :		
		Critère d'association :		
		Tertiaire		
		Forme et contrainte(s) interne(s) :		
		Contrainte(s) externe(s) :		
		Critère d'association :		
		Classe d'invariance et Eléments de situation finaux :		
Elément d'évaluation				
Nombre, forme et contrainte(s) interne(s) si besoin : 4 droite idéales, intersection entre deux plans orthogonaux et d'un cylindre de Ø80 mm. Contrainte externe(s) (orientation et/ou position par rapport aux éléments de situations) :				
Fonction objectif (nécessaire si tous les ddl ne sont pas bloqués, associe l'élément d'évaluation à l'élément tolérancé) :				
[C] Tchebychev sans contrainte matière (minimax)				
Condition de conformité				
Caractéristique (type de grandeur à évaluer)	Condition uni-limite			
Distance "di"entre les éléments tolérancés et les éléments d'évaluations	di_MAX ≤0.1/2			

Synthèse



Spécification :

⊙ 0.3 A - A

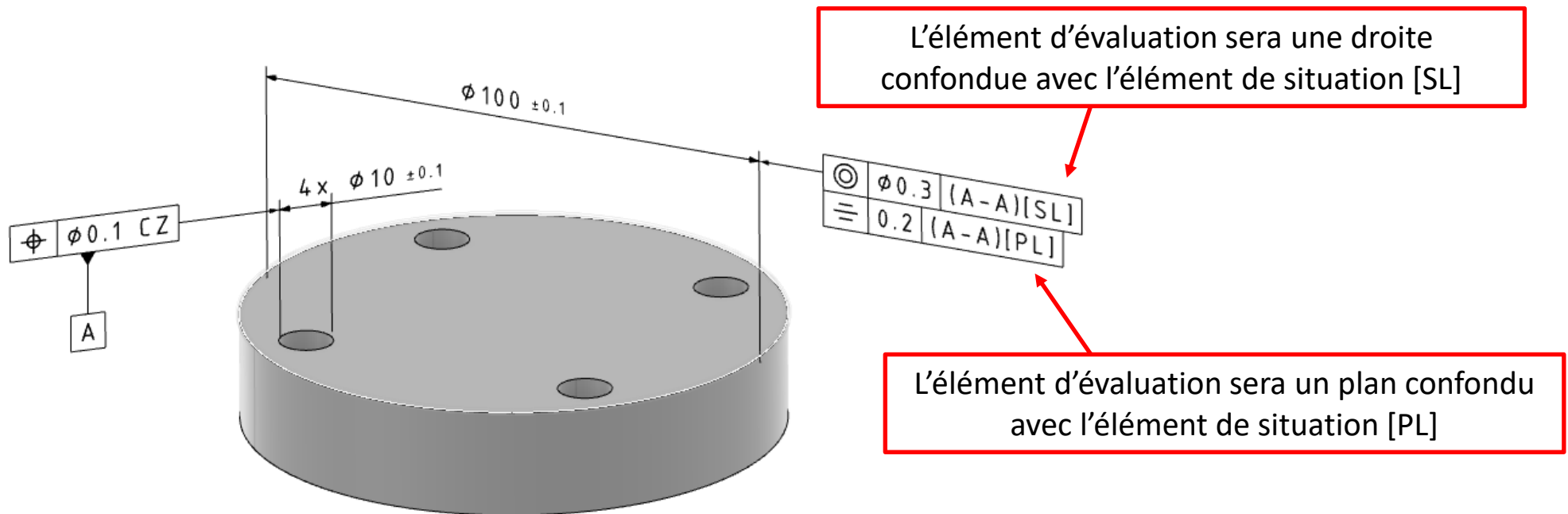
NON IDEAL		IDEAL			
Elément(s) Tolérancé(s) (obligatoire)	Elément(s) de Référence(s) (si nécessaire)	Elément associé à (aux) élément(s) de référence(s)	Elément de Situation de l'élément associé [PT] [SL] [PL]	Référence Spécifiée résultante [PT] [SL] [PL]	
Ligne non-idéale nominalement rectiligne dérivée d'une surface non- idéale nominalement cylindrique	A : Collection de 4 surfaces non-idéales nominalement cylindriques	Primaire			
		Forme et contrainte(s) interne(s) : 4 cylindres de taille variable dont les axes sont 4 droites idéales, intersection entre deux plans orthogonaux et d'un cylindre de Ø80 mm.	[SL] (axe médian des 4 cylindres associés)		
		Critère d'association : [X]	[PL] (plan passant par [SL] et un axe des 4 cylindres associés)		
		Secondaire			
Forme et contrainte(s) interne(s) :					
Contrainte(s) externe(s) :					
Critère d'association :					
Tertiaire					
Forme et contrainte(s) interne(s) :					
Contrainte(s) externe(s) :					
Critère d'association :					
Classe d'invariance et Eléments de situation finaux :					
Classe d'invariance prismatique. [LiP]					

IDEAL	
Elément d'évaluation	
Nombre, forme et contrainte(s) interne(s) si besoin :	
Droite idéale	
Contrainte externe(s) (orientation et/ou position par rapport aux éléments de situations) :	
Coaxiale à [SL] du [LiP]	
Fonction objectif (nécessaire si tous les ddl ne sont pas bloqués, associe l'élément d'évaluation à l'élément tolérancé) :	
Condition de conformité	
Caractéristique (type de grandeur à évaluer)	Condition uni-limite
Distance "di" entre l'élément tolérancé et l'élément d'évaluation	di_MAX ≤ 0.3/2

EN APARTE

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Références spécifiées : utilisation d'un seul élément de situation



Dans le cas d'un élément de situation à retenir de type point, il conviendra de spécifier : [PT]