Arts et Métiers Sciences et Technologies
laurent.laboureau@ensam.eu

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

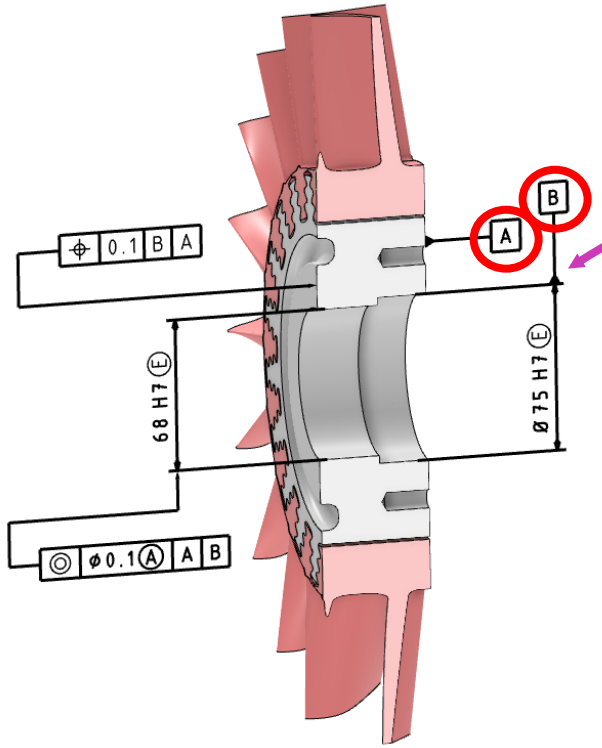
CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

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

Surface non-idéale
nominalement plane

Elément de Référence B

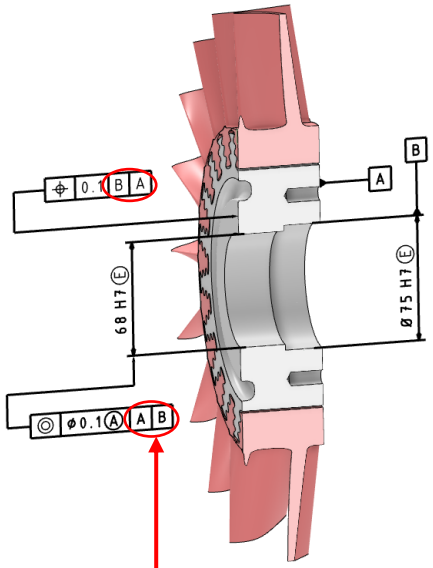
Surface non-idéale
nominalement cylindrique

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**

CC BY NC SA

Arts et Métiers Sciences et Technologies
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE



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

Références Spécifiées et Système de Références Spécifiées : **généralités**

◎	⌀0.2	A

Référence spécifiée unique et simple

◎	⌀0.2	A - B

Référence spécifiée commune

◎	⌀0.2	A	B	D

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

Primaire

Secondaire : contrainte en orientation / primaire

Tertiaire : contrainte en orientation / primaire et / secondaire

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

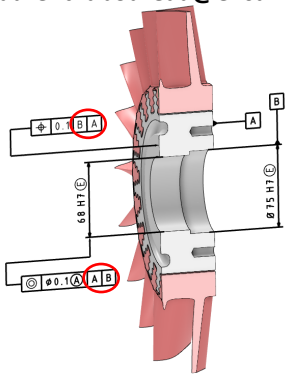
⌖	⌀0.2	A	B - C	D

Système de référence spécifiées "ordonnées"

La référence spécifiée secondaire est commune.

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu



SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Références Spécifiées et **critères d'association**

Ce sont des éléments **idéaux**

Ils sont construits par association sur les éléments de références.

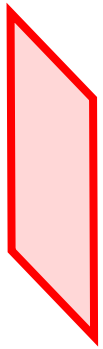
Leur géométrie est donc imposée par les éléments de références.

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.

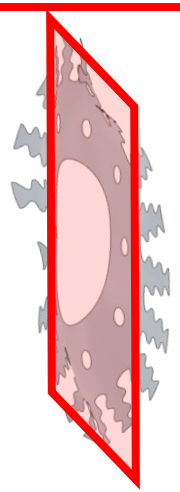
La norme donne aussi la méthode pour stipuler une éventuelle **contrainte matière ou offset matière**. (voir l'ISO 4351)

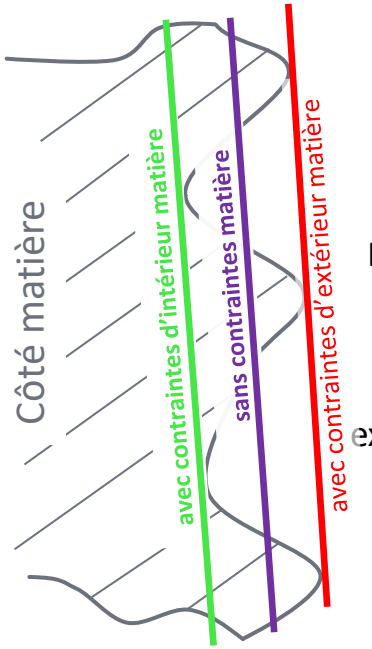
Elément de Référence
(Surface non-idéale nominalement plane)

Référence Spécifiée
(plan idéal)



Critère d'association
=
Fonction Objectif (obligatoire) + Contrainte Matière (optionnel)
+
Offset Matière (optionnel et seulement s'il n'y a pas de contrainte matière)





Nota : la différence entre contrainte matière et offset matière sera expliqué dans la suite du diaporama

CC BY NC SA

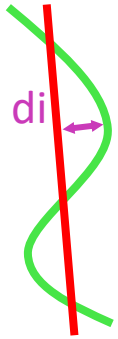
Arts et Métiers Sciences et Technologies
laurent.laboureau@ensam.eu

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

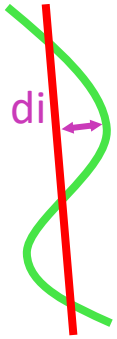


Il consiste à minimiser la somme des distances au carré

Σdi^2 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

Fonction Objectif	Contrainte matière	Offset matière
G : Gaussien	E : Exterieur 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		

Utilisent l'algorithme de Tchebychev (voir suite)

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

voir suite

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

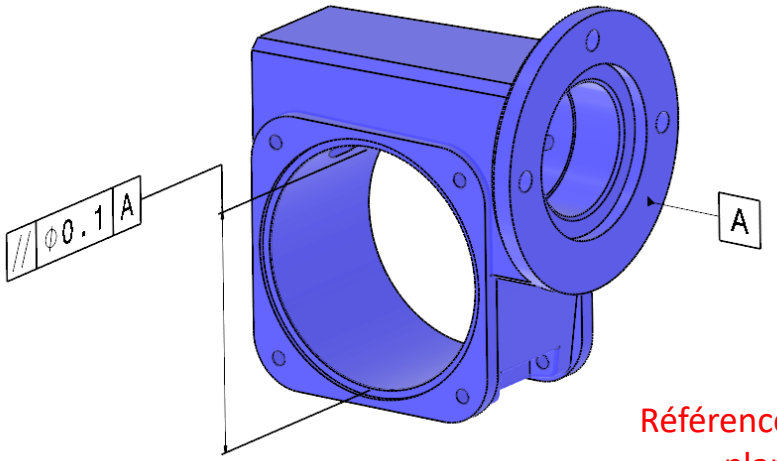
CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

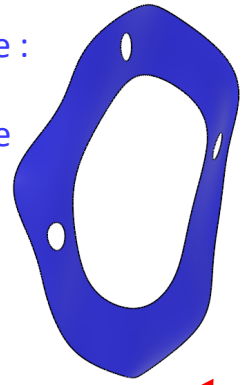
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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

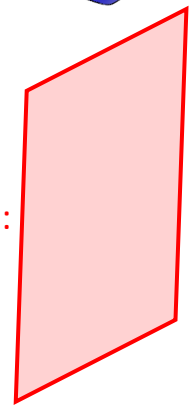
Depuis novembre 2024, la Référence Spécifiée associée à un Elément de Référence de type surface non-idéale nominalement plane est un plan idéal construit par le **critère Gaussien Extérieur Matière : [GE].**
Voir ISO 5459

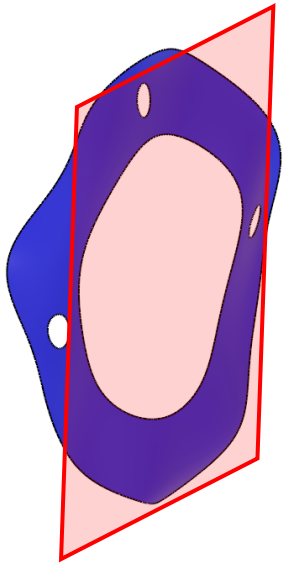


Elément de Référence : Surface non-idéale nominalement plane



Référence Spécifiée : plan idéal





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

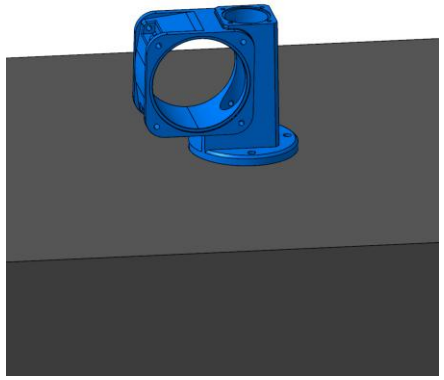
Association suivant la fonction objectif Gaussien Extérieur Matière : [GE]

CC BY NC SA

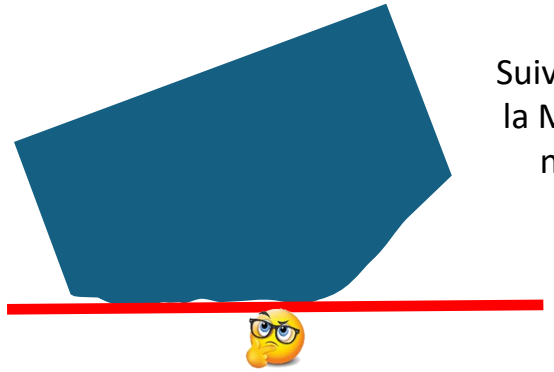
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

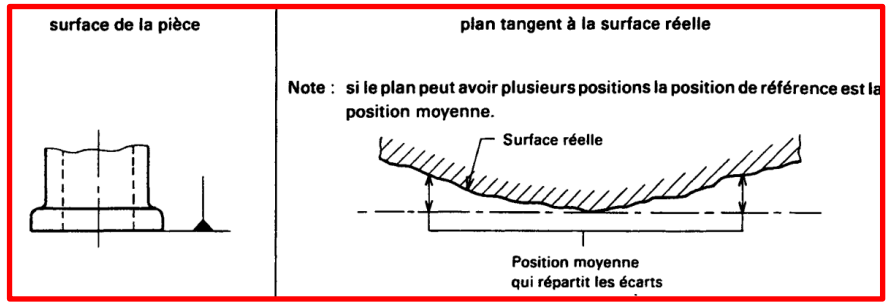
Cas d'une Référence Spécifiée construite sur une surface nominalement plane : **Le critère [GE]**



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 MIse 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

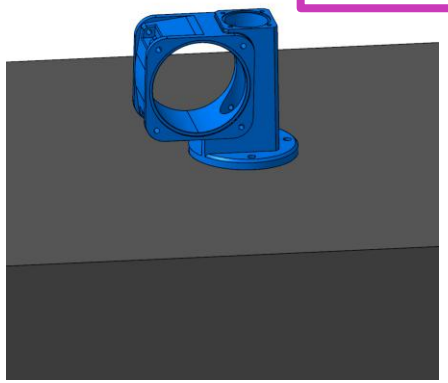
Ok mais comment coder cela dans mon logiciel de MMT ?

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Cas d'une Référence Spécifiée construite sur une surface nominalement 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**.

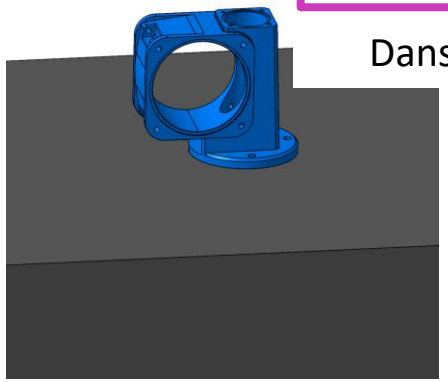
L'équation mathématique du plan Gaussien calculé à partir des coordonnées de points était ensuite décalé au point le plus éloigné afin de matérialisé le plan extérieur matière : **c'est le critère [G+] des normes actuelles (Fonction objectif Gaussien + Offset Extérieur Matière)**

CC BY NC SA

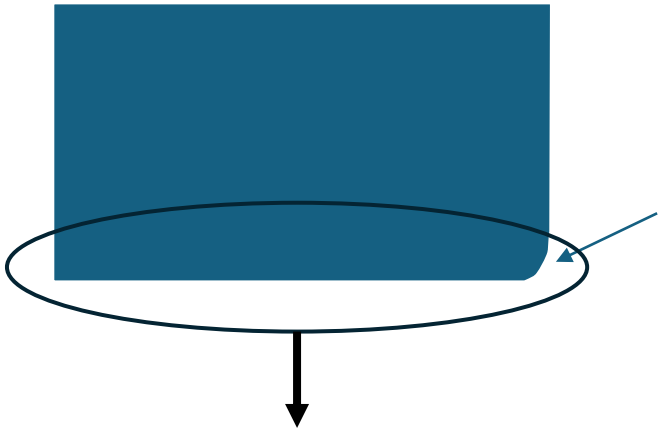
Arts et Métiers Sciences et Technologies
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Cas d'une Référence Spécifiée construite sur une surface nominalement 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 Extérieur Matière
(! 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]

d_Max

[G+]

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

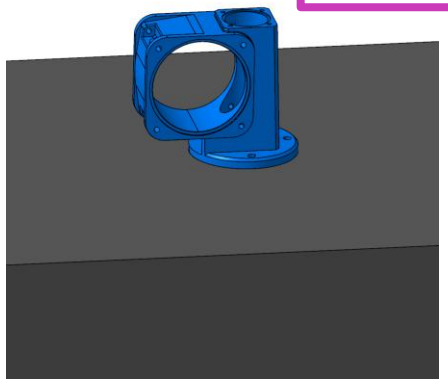
[CE] ne représente pas du tout le plan du marbre

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Cas d'une Référence Spécifiée construite sur une surface nominalement 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 nominalement 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 nominalement plane : ⊥ ϕ0.02 A [CE]

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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

Le critère [X] ou [N]

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

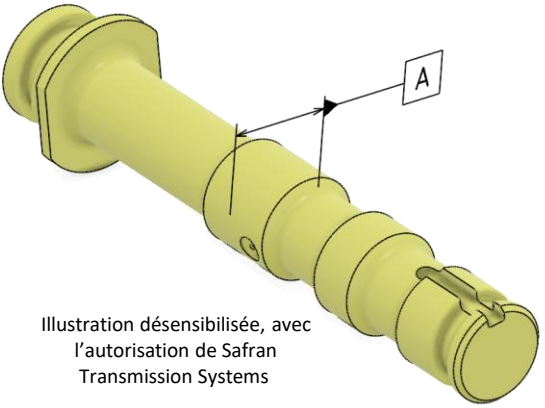
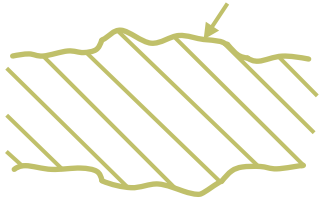
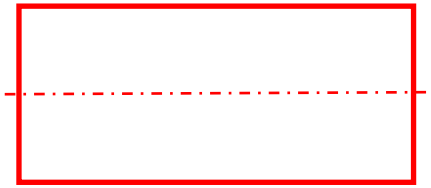


Illustration désensibilisée, avec l'autorisation de Safran Transmission Systems

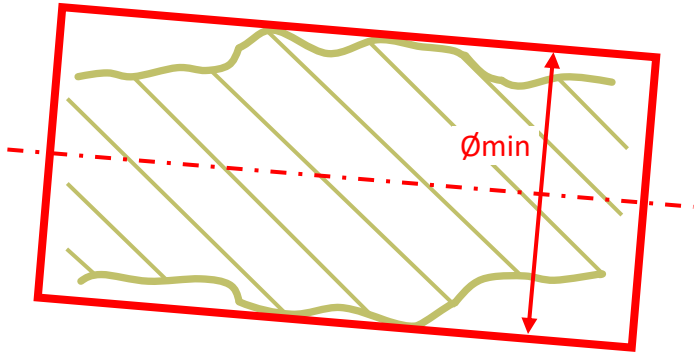
Elément de Référence
(surface non-idéale nominalement cylindrique)



Elément associé
(cylindre idéal)



Association par le critère [N] : minimum circonscrit



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

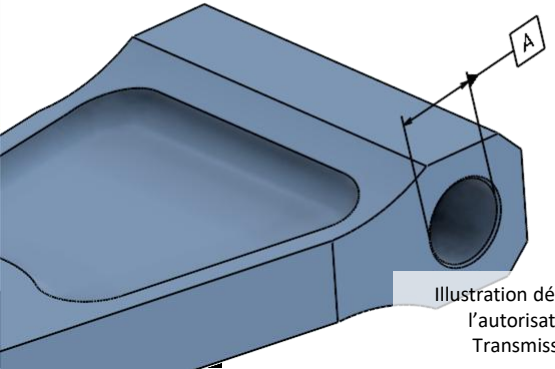
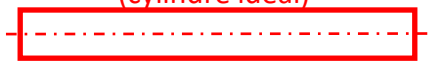


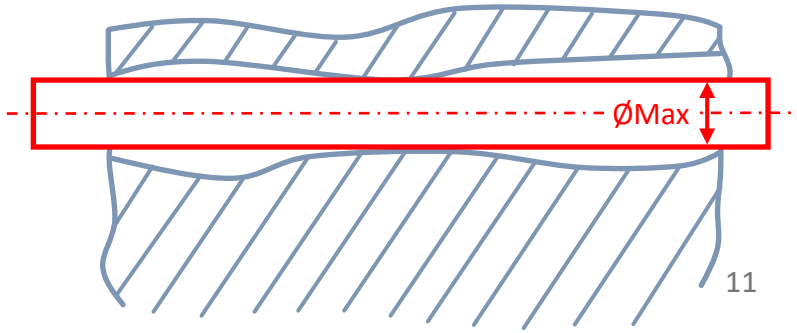
Illustration désensibilisée, avec l'autorisation de Safran Transmission Systems

Elément de Référence
(surface non-idéale nominalement cylindrique)

Elément associé
(cylindre idéal)



Association par le critère [X] : maximum inscrit



laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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

Le critère [X] ou [N]

Cas d'un arbre

(la matière est à l'intérieur)

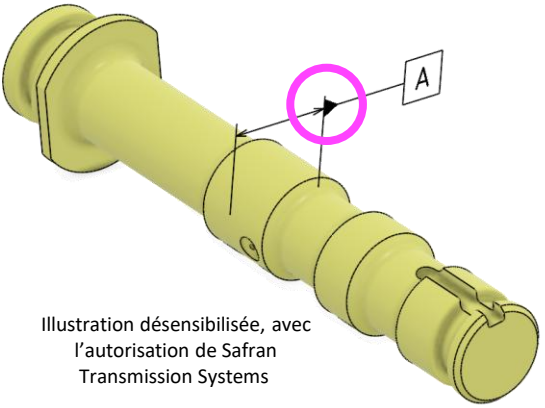
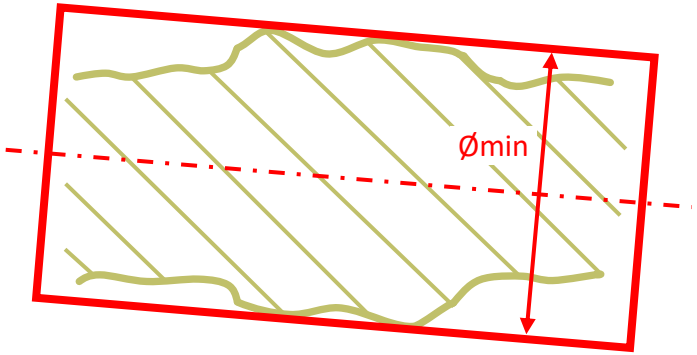


Illustration désensibilisée, avec l'autorisation de Safran Transmission Systems

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)

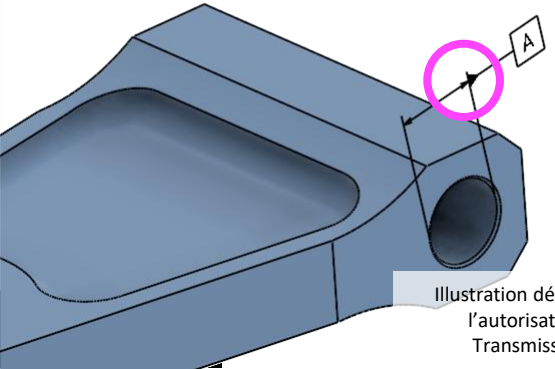
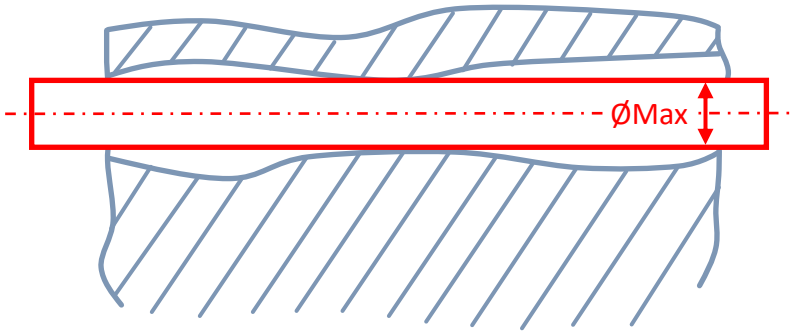


Illustration désensibilisée, avec l'autorisation de Safran Transmission Systems

Association par le critère [X] : maximum inscrit



laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

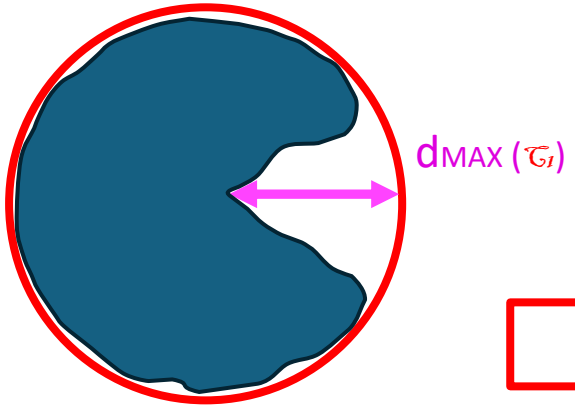
Critère d'association

[X] et [N] ≠ [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)*

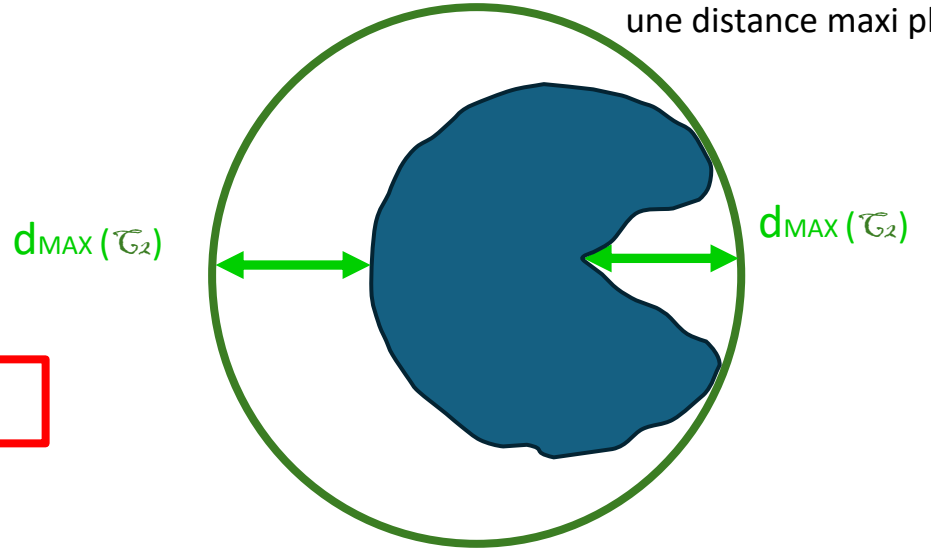
Le cercle $\mathcal{C}_1$ est le plus petit possible en contact avec la matière



[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

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

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 :

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.

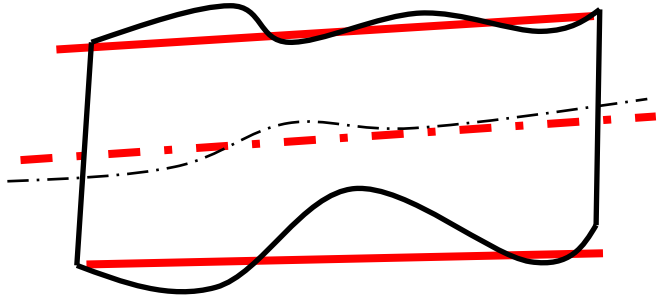
La notation ci-dessous est dite "non-sémantique"

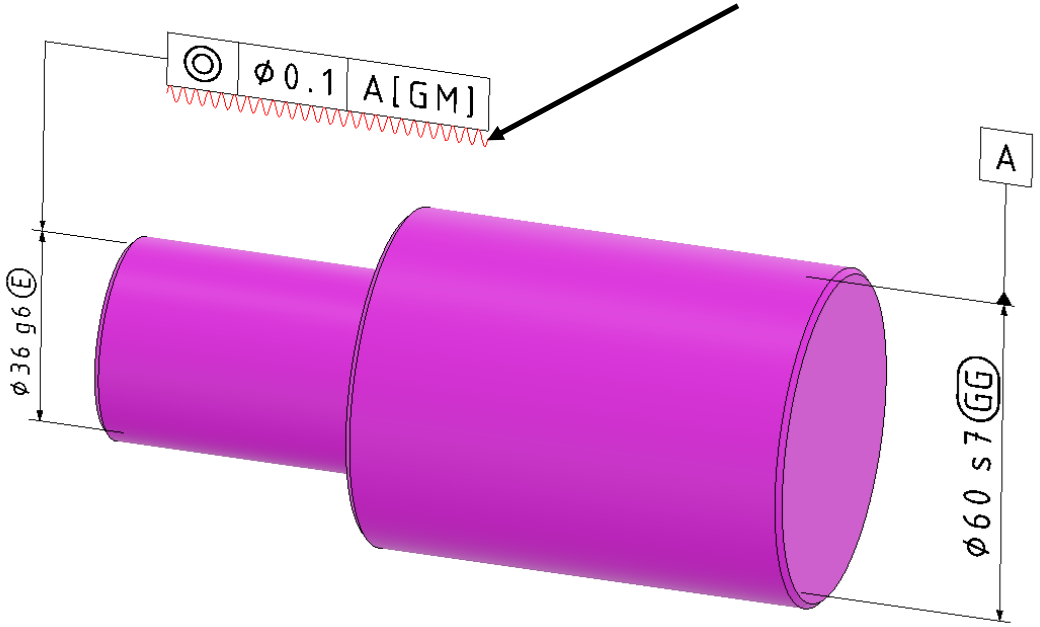
Fonction Objectif : G : Gaussienne ou des moindres carrés

Contrainte Matière : sans

Offset Matière : sans

Représentation en 2D du critère d'association





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].

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

EN APARTE

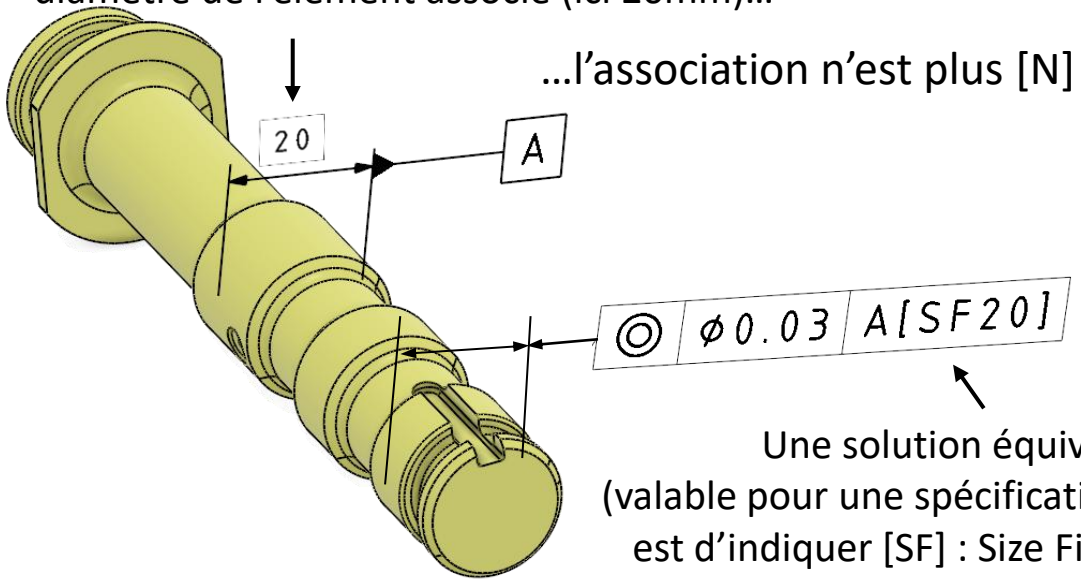
Elément associé de taille fixe / variable

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]



Une solution équivalente, (valable pour une spécification uniquement) est d'indiquer [SF] : Size Fixed derrière le symbole de la référence spécifiée

Entité dimensionnelle	Caractéristique intrinsèque	Elément 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)
[SF*xx*]	Pour imposer à l'élément associé une Taille fixe avec valeur *xx* spécifiée

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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

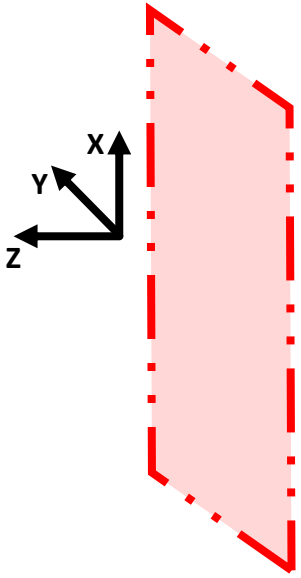
Une Référence Spécifiée (RS) définie un ou plusieurs "***éléments de situation***" de type plan : [PL] ; droite : [SL] ; point : [PT].

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

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

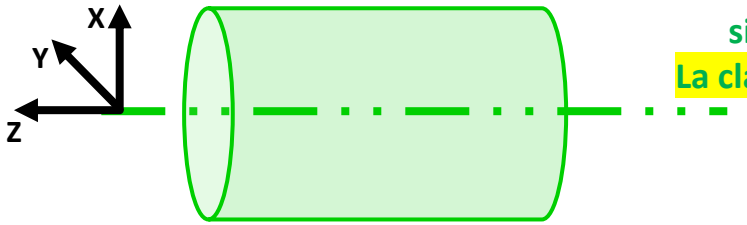
⊥	ϕ0.1	A

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 défini 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 tolérancer 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 défini 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 tolérancer 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

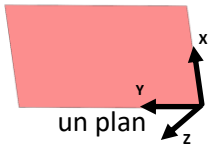
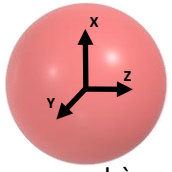
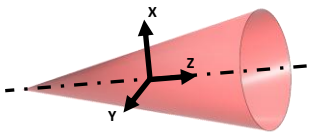
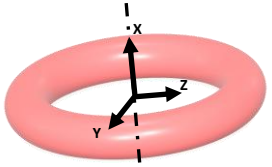
CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

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

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Classe d'invariance et éléments de situations 1/2

Classe d'invariance	Degrés de liberté avec contraintes	Degrés de liberté sans contraintes	Illustration de typologie de surface	Elément de situation
Plane (équivalent appui-plan)	1 translation Tz et deux rotations Rx et Ry	2 translations Tx et Ty et 1 rotation Rz	 un plan	1 plan [PL]
Cylindrique (équivalent pivot-glissant)	1 translation Tz et 2 rotations Rx et Ry	1 translation Tz et 2 rotations Rx et Ry	un cylindre	1 droite [SL]
Sphérique (équivalent rotule ou sphérique)	3 translations Tx, Ty, Tz	3 rotations Rx, Ry, Rz	 une sphère	1 point [PT]
De révolution (équivalent pivot)	3 translations Tx, Ty, Tz et 2 rotations Rx et Ry	1 rotation Rz	 un cône ou  un tore	1 point 1 droite [ToL]

Suivant Tableau de la norme ISO 5459

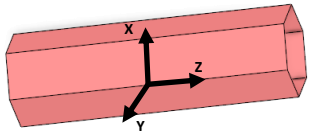
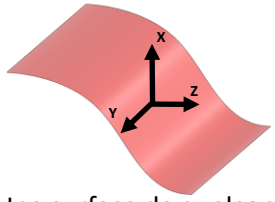
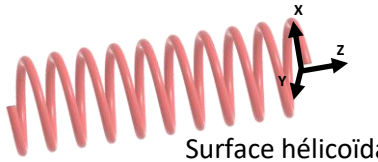
CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

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	Elément de situation
Prismatique (équivalent glissière)	2 translations Tx et Ty et trois rotations Rx et Ry et Rz	1 translation Tz	 un prisme	1 plan [PL] 1 droite [SL]
Complexe (équivalent encastrement)	3 translations Tx, Ty, Tz et trois rotations Rx, Ry, Rz	aucun	 Une surface de quelconque	1 point [PT] 1 droite [SL] 1 plan [PL]
Hélicoïdale (équivalent hélicoïdale)	2 translations Tx et Ty et 2 rotations Rx et Ry	1 translation Tz et une rotation Rz 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

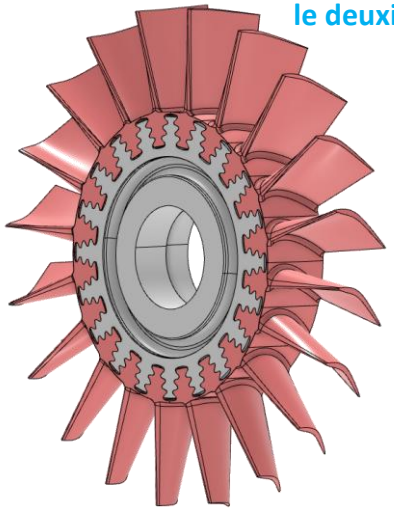
CC BY NC SA

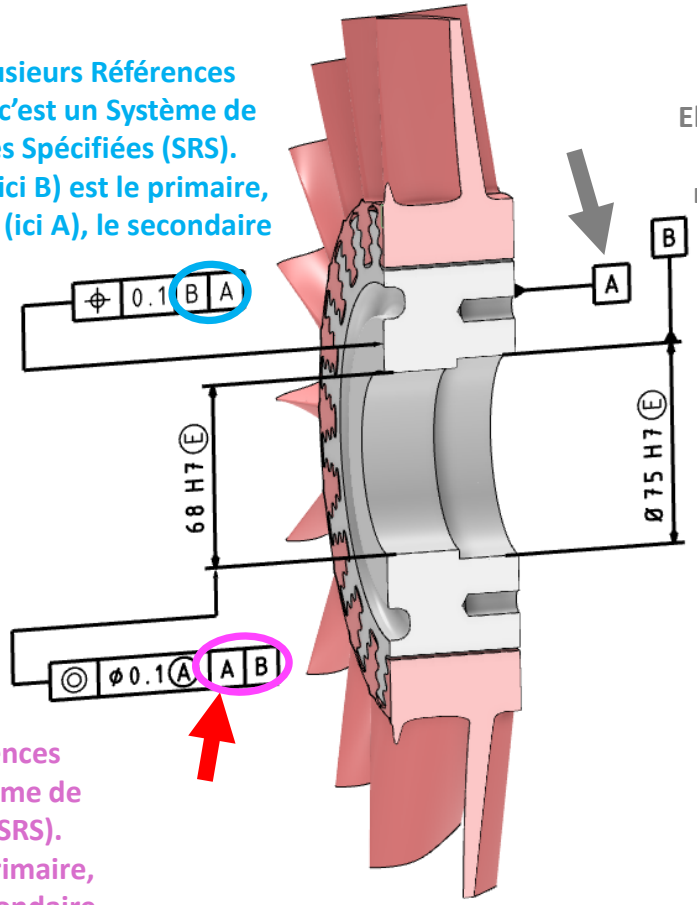
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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

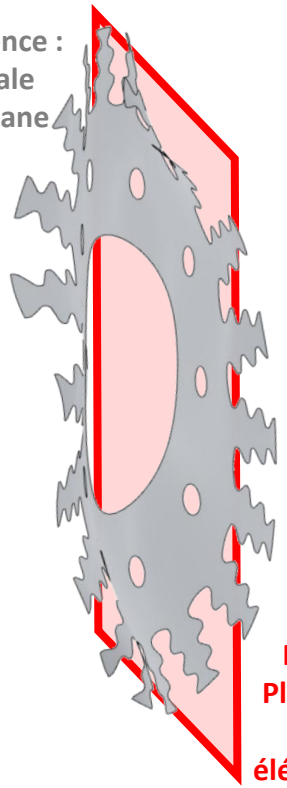
S'il y a plusieurs Références Spécifiées, c'est un Système de Références Spécifiées (SRS).
Le premier (ici B) est le primaire, le deuxième (ici A), le secondaire





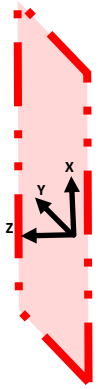
S'il y a plusieurs Références Spécifiées, c'est un Système de Références Spécifiées (SRS).
Le premier (ici A) est le primaire, le deuxième (ici B), le secondaire

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

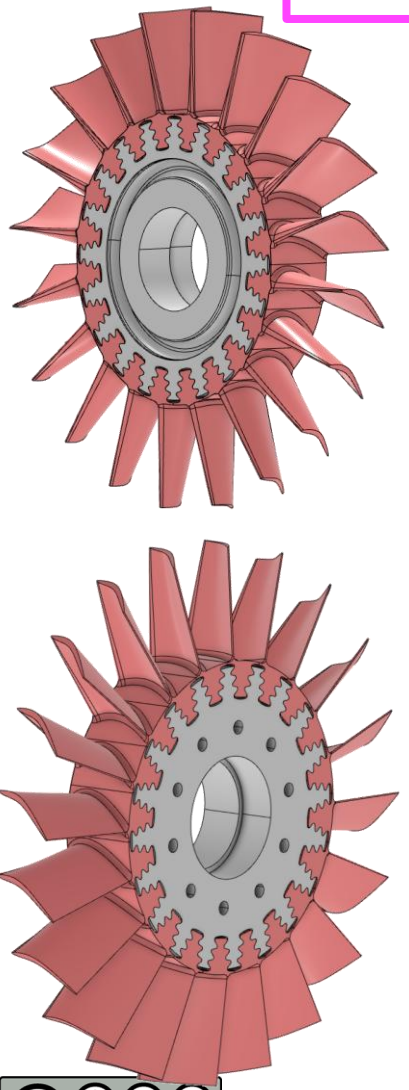
Avec **[PL]**, le concepteur pourra tolérancer la pièce suivant 3 ddl (Tz, Rx, Ry)

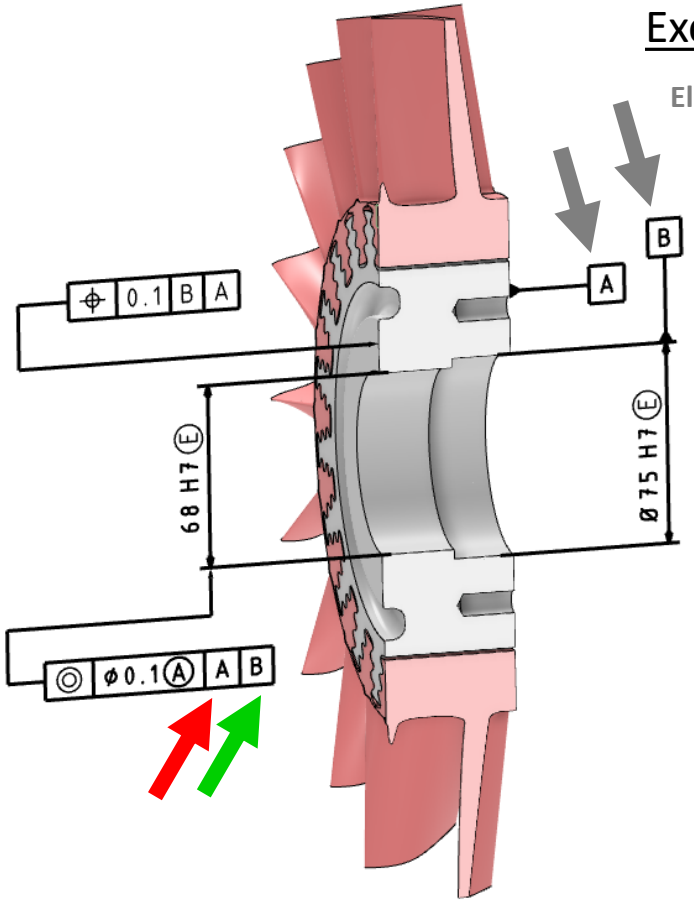
BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

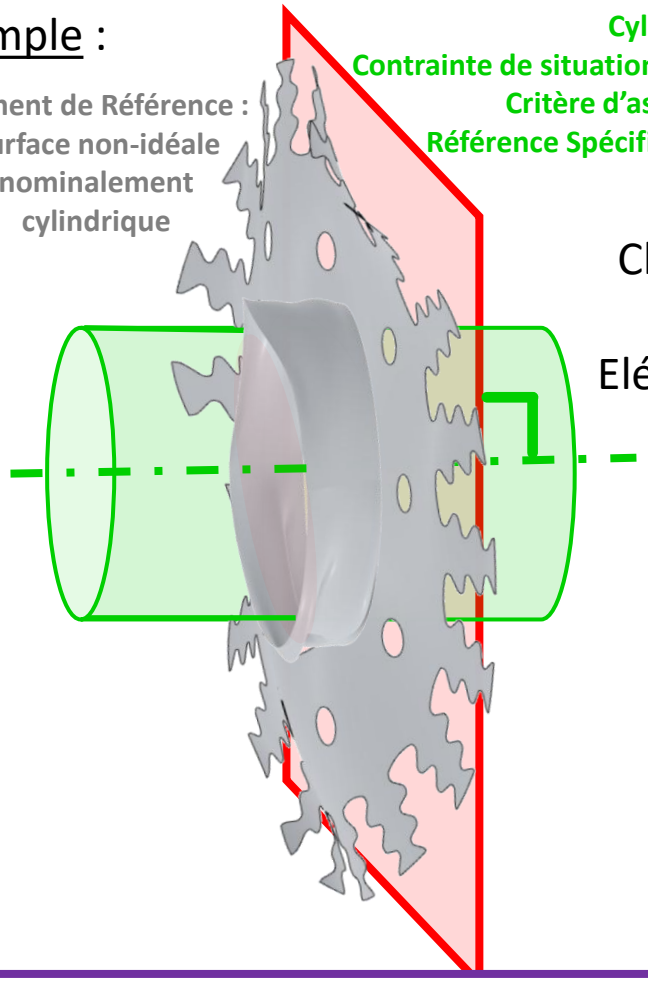
Classe d'invariance et éléments de situations associés aux Système de Références Spécifiés - Exemple -





Exemple :

Elément de Référence : Surface non-idéale nominalement cylindrique



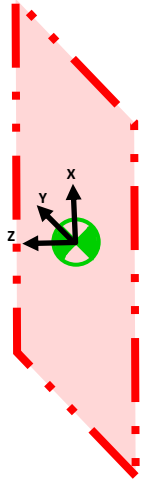
Cylindre idéal associé par :
Contrainte de situation = perpendicularité à RS primaire implicite
Critère d'association : fonction objectif [X]
Référence Spécifié Secondaire = [PT] : [PL]∩ (axe du cylindre associé)

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

Elément de situation : [PT] dans [PL]

ou poinT In Plane

= **[TiP]**



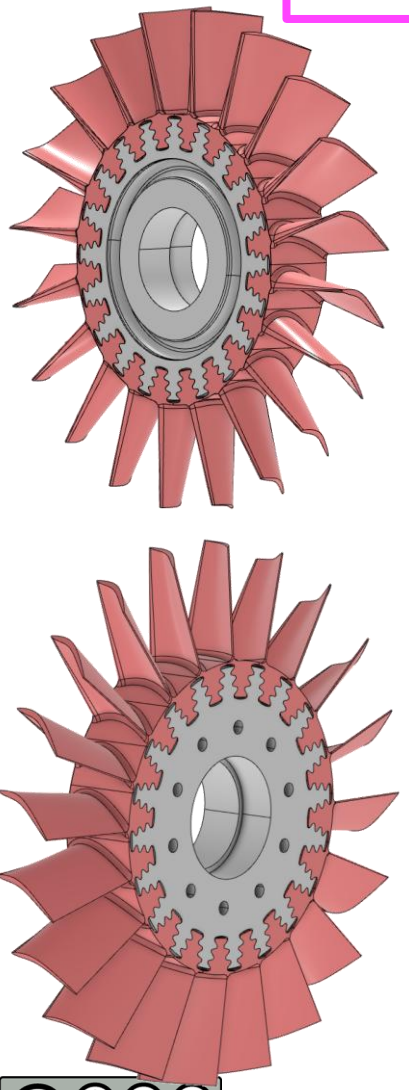
Grace à **[TiP]** le concepteur pourra tolérancer la pièce suivant 5 ddl (Tx, Ty, Tz, Rx, Ry)

CC BY NC SA

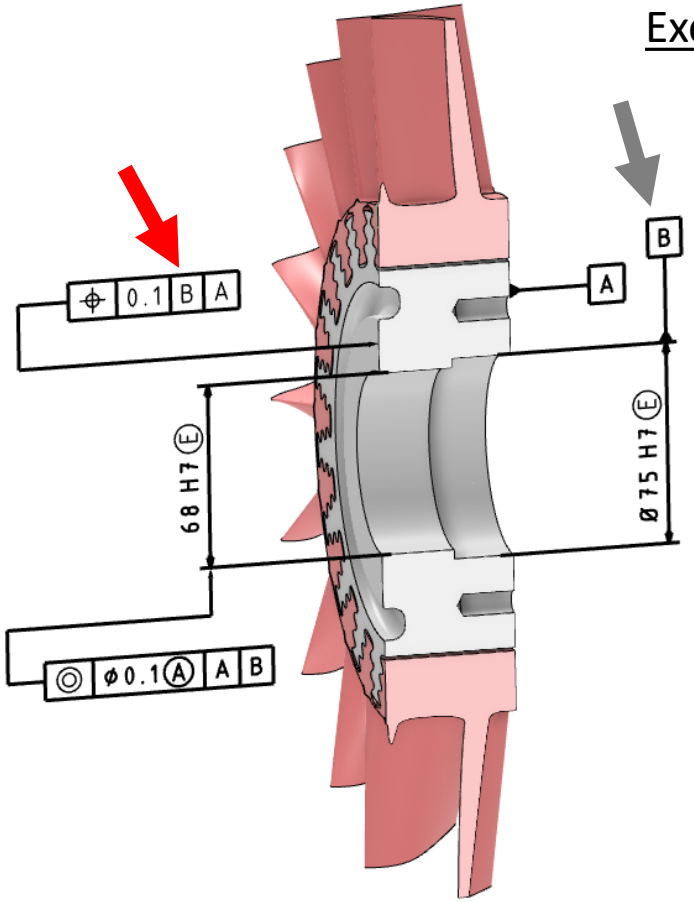
laurent.laboureau@ensam.eu

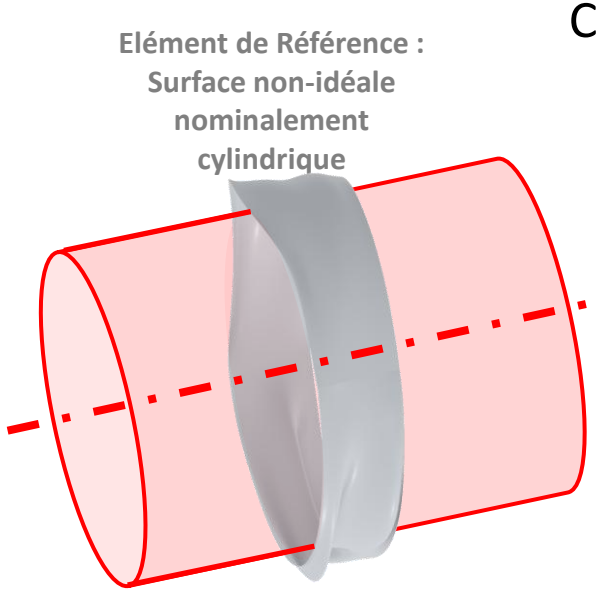
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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



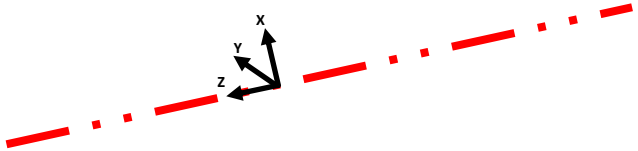
Exemple :





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

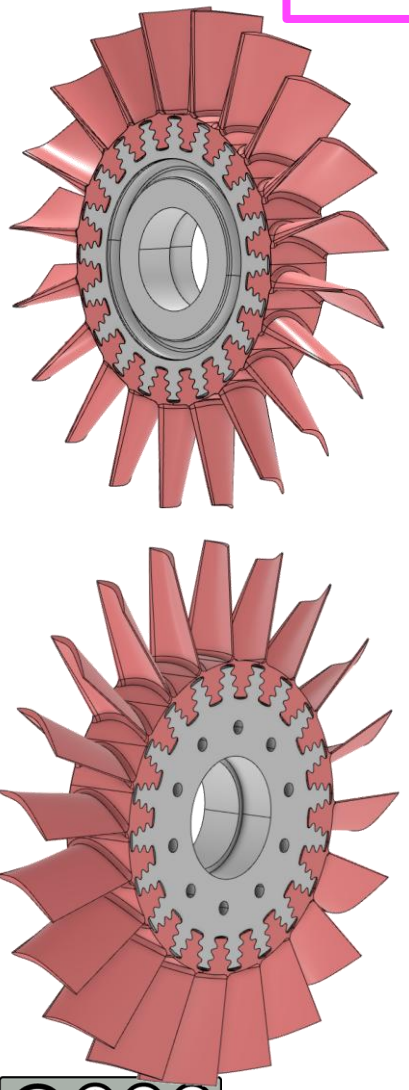
Avec à **[SL]**, le concepteur pourra tolérancer la pièce suivant 4 ddl (Tx, Ty, Rx, Ry)

CC BY NC SA

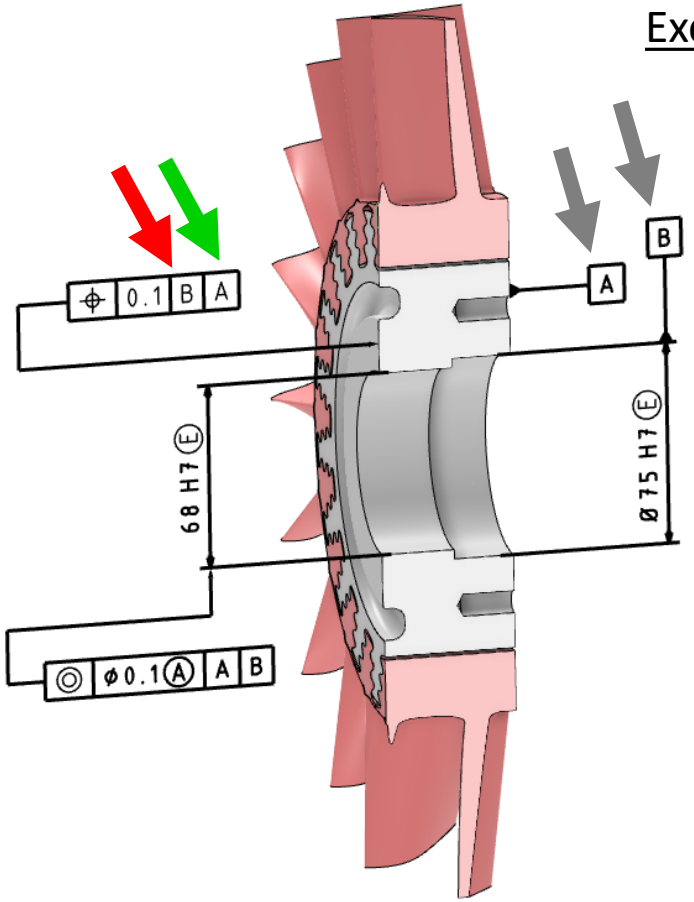
laurent.laboureau@ensam.eu

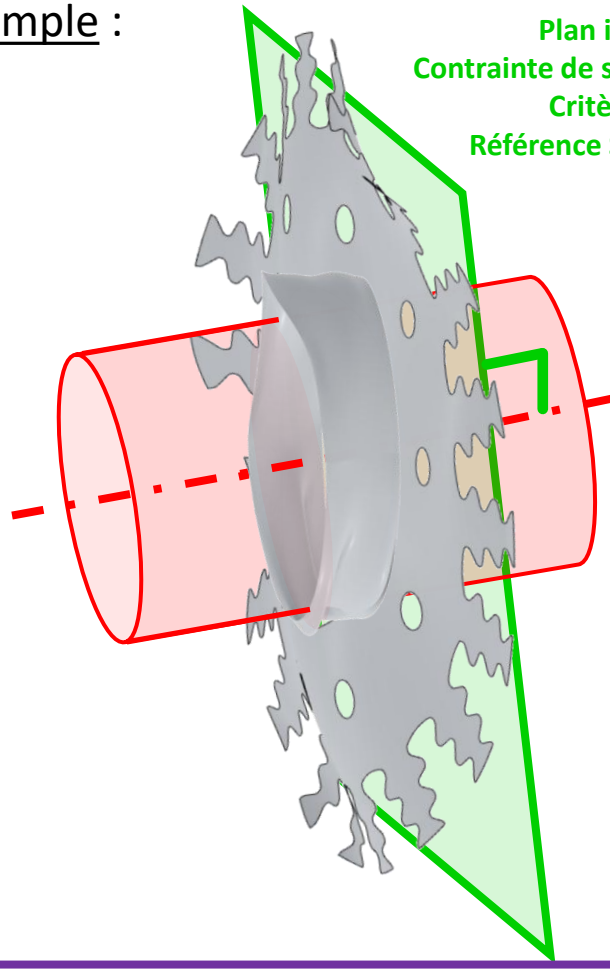
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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



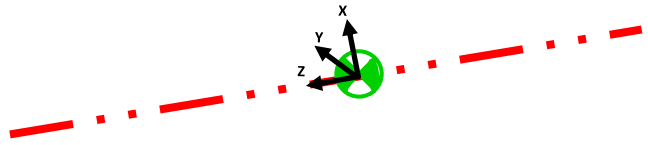
Exemple :





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 **O**n **L**ine
= **[ToL]**



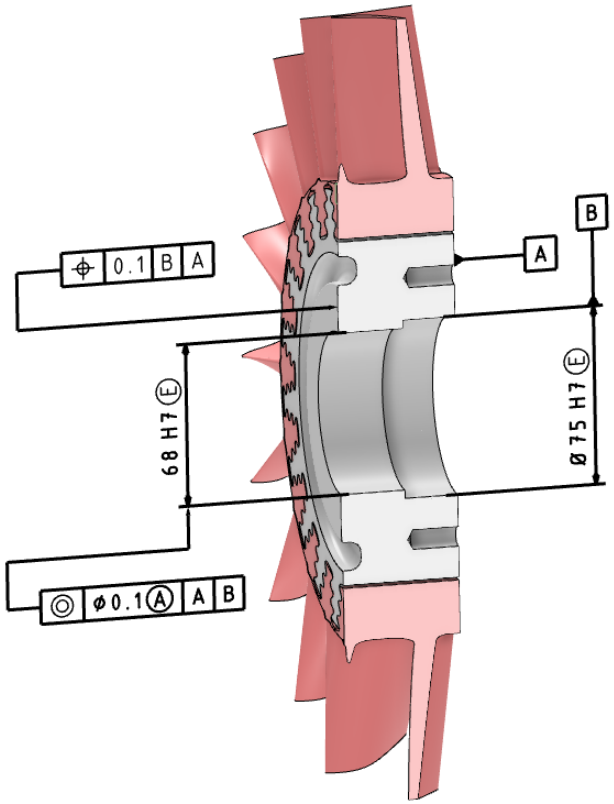
Grace à **[ToL]**, le concepteur pourra tolérancer la pièce suivant 5 ddl (Tx, Ty, Tz, Rx, Ry)

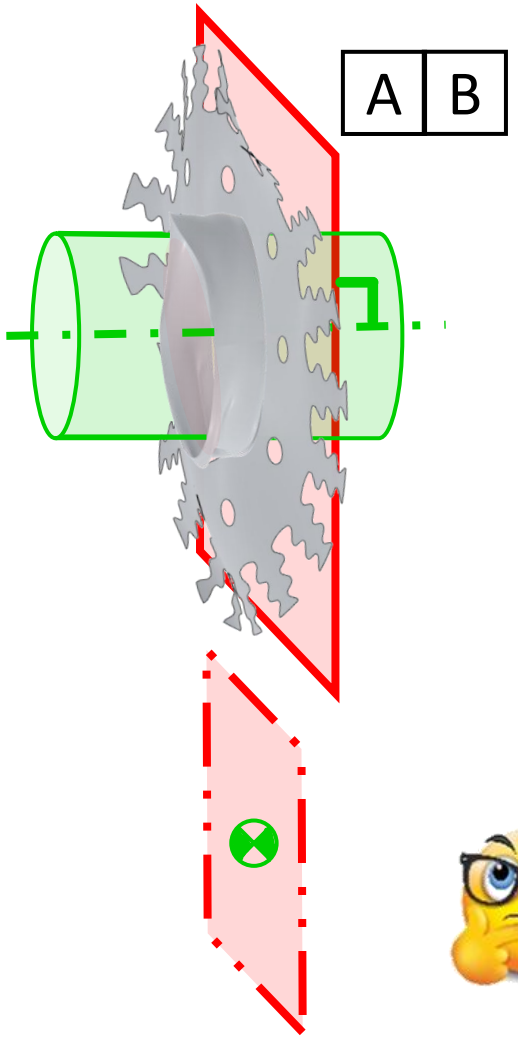
BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

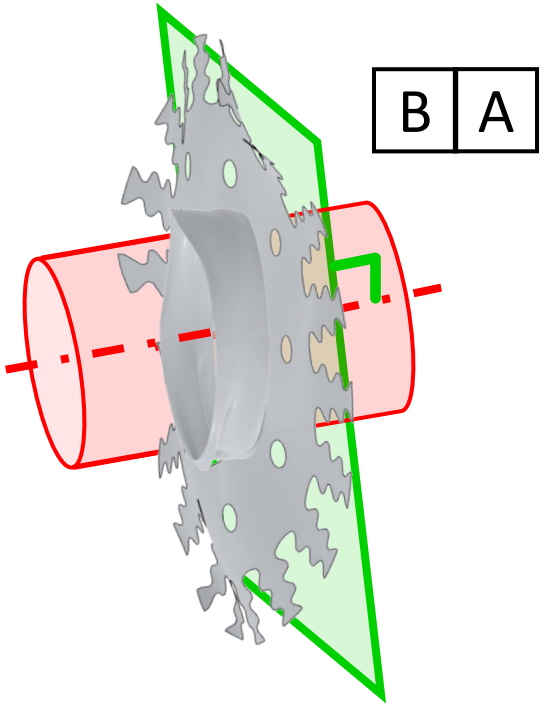
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

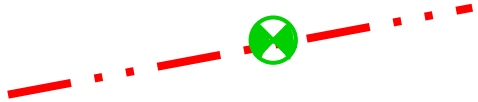
Classe d'invariance et éléments de situations associés aux Système de Références Spécifiés - Exemple -





ou





CC BY NC SA

Arts et Métiers Sciences et Technologies
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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

si unique, les éléments de situation sont de type :

PoinT [PT],
Straight **L**ine **[SL] = droite** ,
PLan **[PL]**
Si multiple :
Point dans plan (poin**T** **i**n **P**lane) : **[TiP]**
Point sur ligne (poin**T** **o**n **L**ine) : **[ToL]**
Ligne dans plan (**L**ine **i**n **P**lane) : **[LiP]**
Point sur ligne dans plan (poin**T** **o**n **L**ine **i**n **P**lane) **: [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

CC BY NC SA

Arts et Métiers Sciences et Technologies
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Fonction objectif / critère d'association DIFFERENCES ?

Un critère d'association est une fonction objectif avec ou sans contraintes d'association et avec ou sans offset matière (ISO 4351)

Exemple pour l'Elément d'évaluation

Rappel : l'élément d'évaluation est idéal et est associé par un critère d'association à l'élément tolérancé.

Si tolérancement de forme :
- critère d'association = fonction objectif ([C] en général)

Si tolérancement d'orientation :
- critère d'association =
  - contrainte(s) d'orientation
  - fonction objectif ([C] en général)

Si tolérancement de position :
- critère d'association =
  - contrainte(s) de position
  - fonction objectif si besoin ([C] en général)

Exemple pour la Référence Spécifiée

Rappel : la Référence Spécifiée est idéale et est construite grâce à un élément associé à l'élément de référence par un critère d'association.

Si primaire : ex d'un plan
- critère d'association [GE] =
  - contrainte extérieur matière
  - fonction objectif Gaussien

Si primaire : ex d'un cylindre de type arbre
- critère d'association [N]=
  - fonction objectif minimal circonscrit

Si secondaire
- critère d'association =
  - contrainte d'orientation
  - contrainte matière éventuelle
  - fonction objectif

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

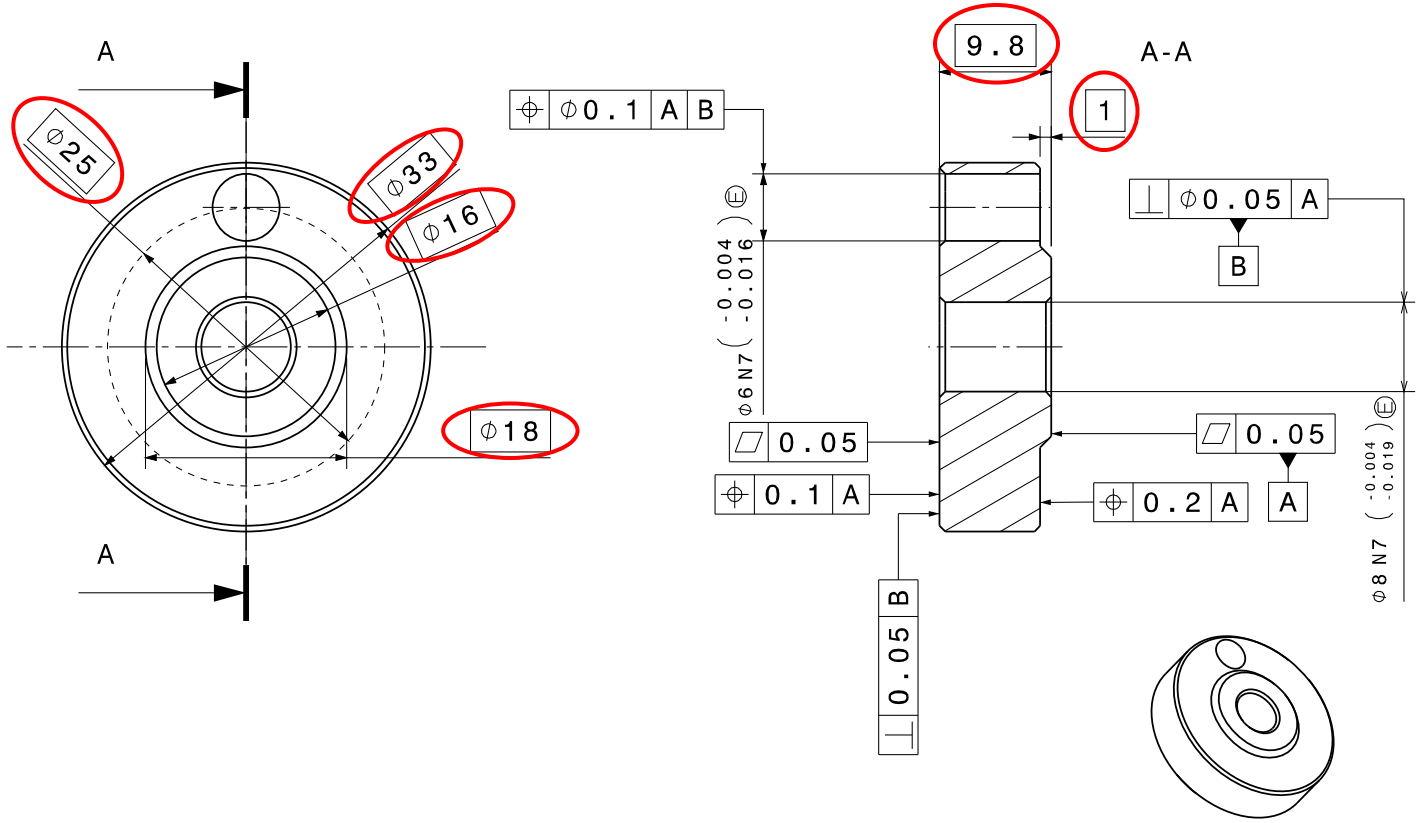
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Rôle des TEDs

Les TEDs : Dimensions Théoriques Exactes apparaissent sur un plan sont sans tolérances et sont encadrées.

Leur rôle est d'**orienter** (spécification d'inclinaison par exemple) ou **positionner** (localisation) l'élément d'évaluation.

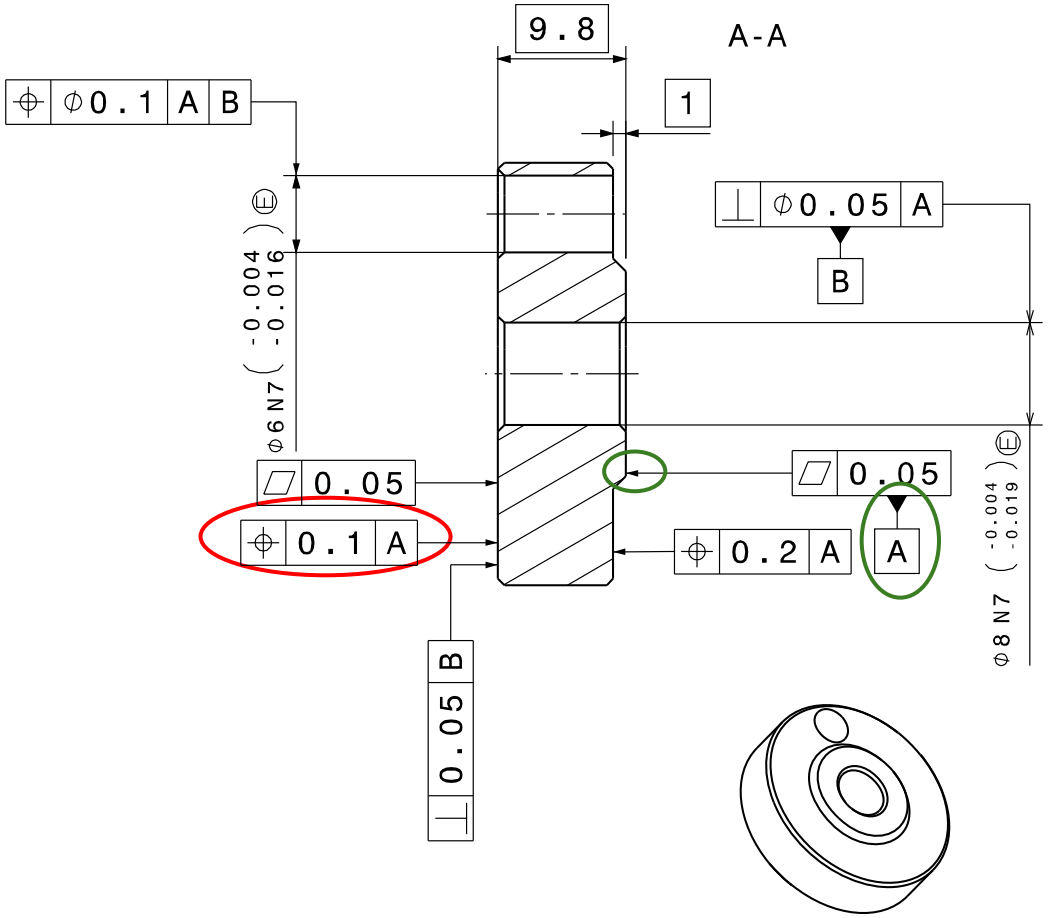
Il **n'est pas nécessaire d'indiquer les TEDs implicites** : 0°, 0mm, 90°...



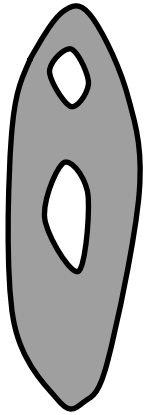
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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



L'élément tolérancé est une surface non-idéale nominalement plane



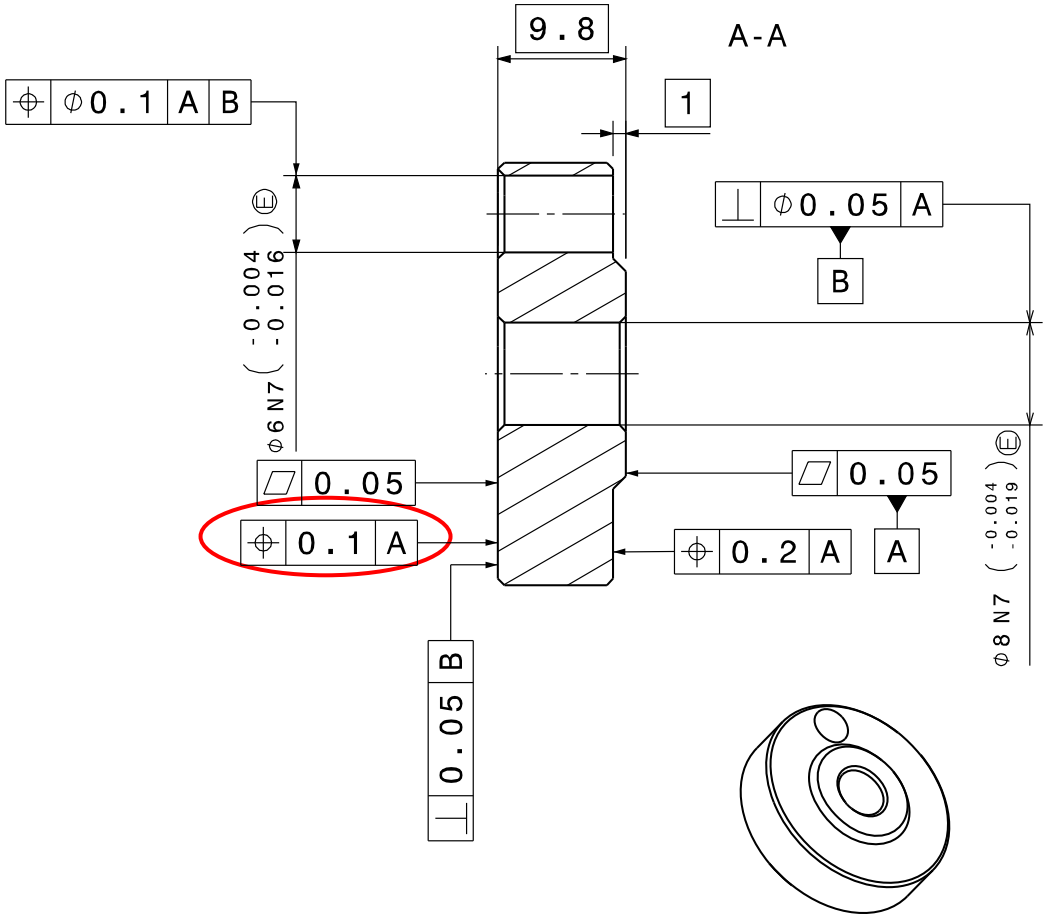
L'élément de Référence est une surface non-idéale nominalement plane

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

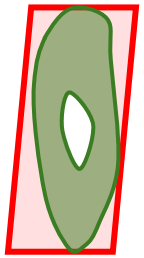
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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



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

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



Nota : avec [PL], il est possible d'orienter et positionner l'élément d'évaluation suivant les 3ddl bloqués par le plan : 2 rotations et 1 translation.

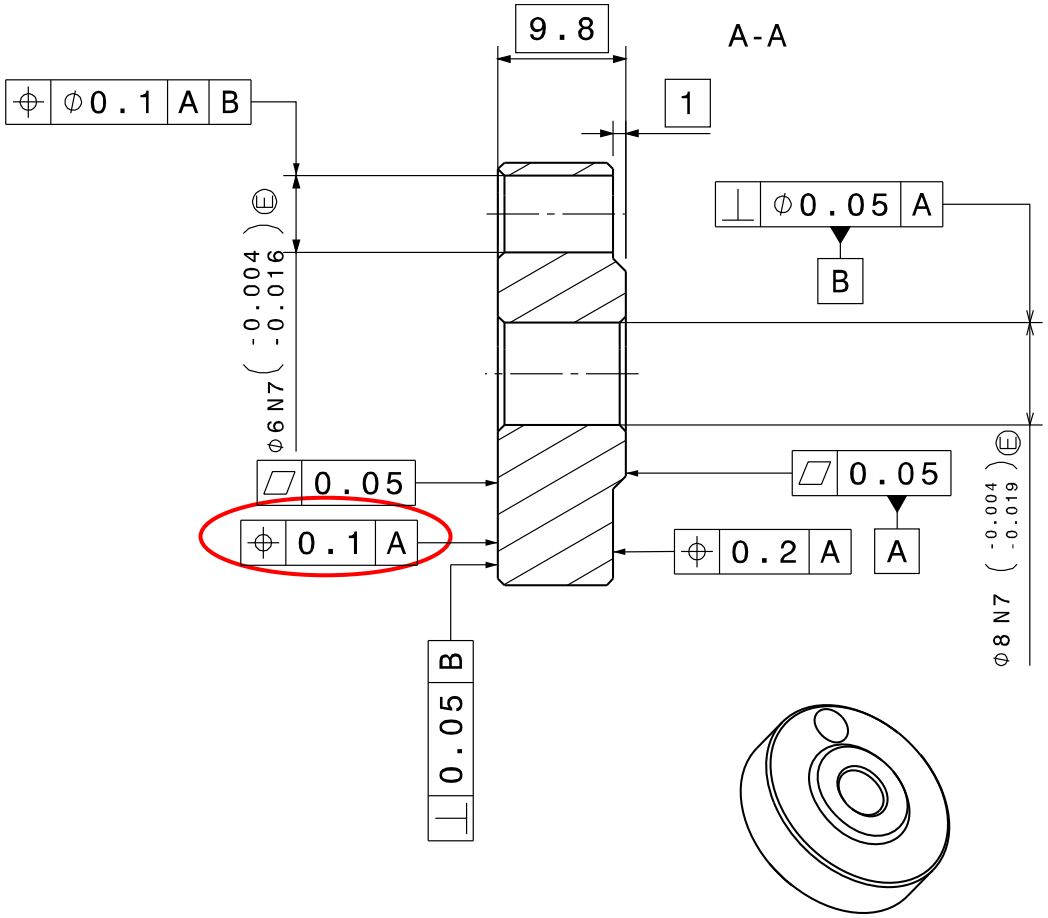
La classe d'invariance est plane.

CC BY NC SA

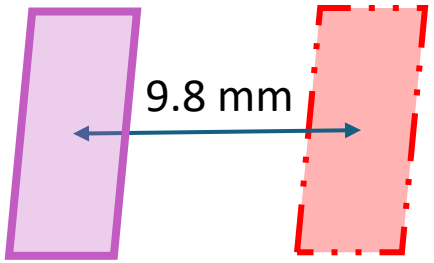
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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

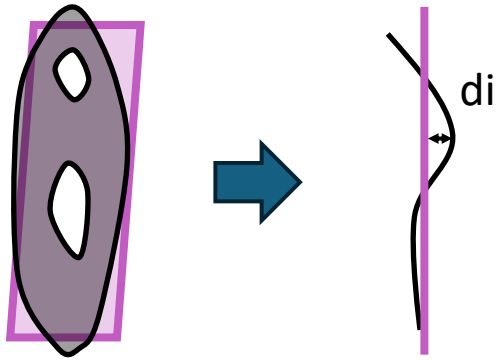


L'élément d'évaluation est un plan idéal qui sera positionné à 9.8 mm de l'élément de situation [PL].



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.

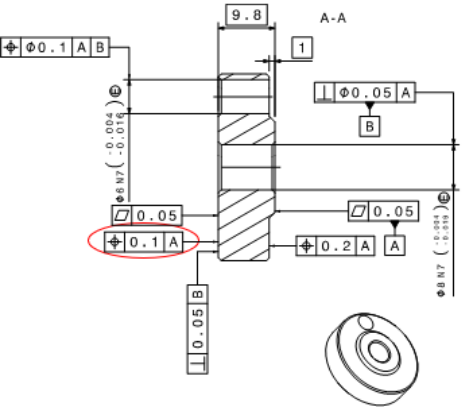


Condition unilimite :
di_MAX ≤0.1/2

CC BY NC SA

Arts et Métiers Sciences et Technologies
laurent.laboureau@ensam.eu

Grille de décodage



Spécification : ⌖ | 0.1 | A

NON IDEAL	
Elément(s) Tolérancé(s) (obligatoire)	**Elément(s) de Référence(s) (si nécessaire)**
Surface non-idéale nominalement plane	Surface non-idéale nominalement plane

IDEAL

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) :

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

Caractéristique (type de grandeur à évaluer)	Condition uni-limite
La caractéristique est la distance "di" entre l'élément d'évaluation et l'élément tolérancé.	Condition unilimite : $di_{MAX} \leq 0.1/2$

IDEAL

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]
Primaire		
Forme et contrainte(s) interne(s) : Plan Idéal Critère d'association : [GE]	[PL]	
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 :

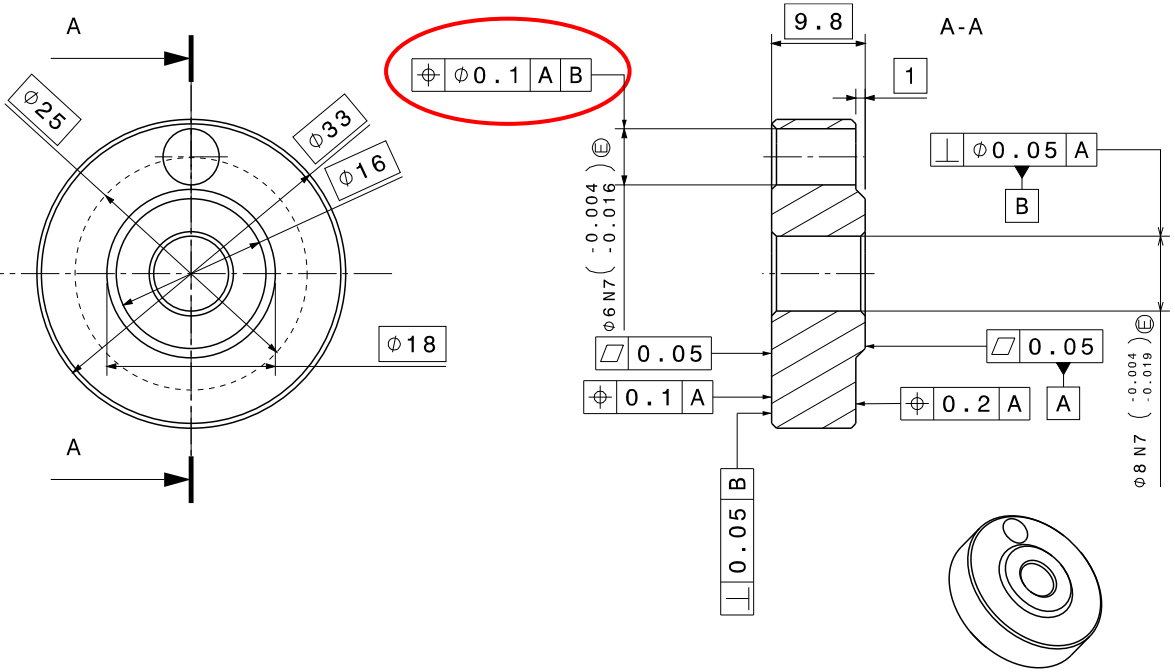
Plane – [PL]

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple pour une localisation avec élément de situation [TiP]



L'élément tolérancé est une ligne non-idéale nominalement rectiligne dérivée d'une surface non-idéale nominalement cylindrique

Les éléments de Références sont est une surface non-idéale nominalement plane

A : une surface non-idéale nominalement plane

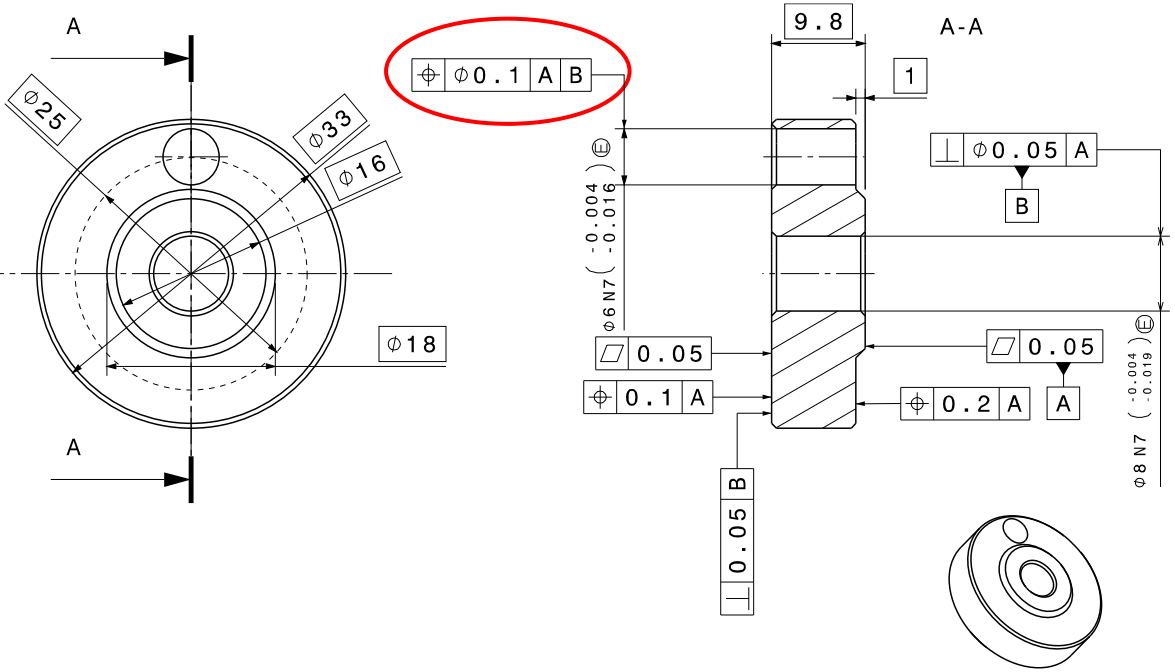
B : une surface non-idéale nominalement cylindrique

CC BY NC SA

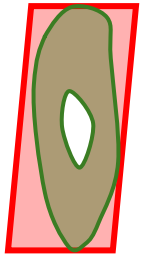
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

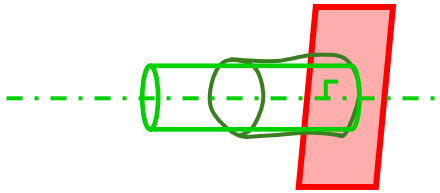
Exemple pour une localisation avec élément de situation [TiP]



Un **plan idéal** sera associé à l'élément de Référence A par le critère [GE] : Gaussien Extérieur Matière.
Ce plan est la Référence Spécifié PRIMAIRE qui défini 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 défini l'élément de situation [SL]

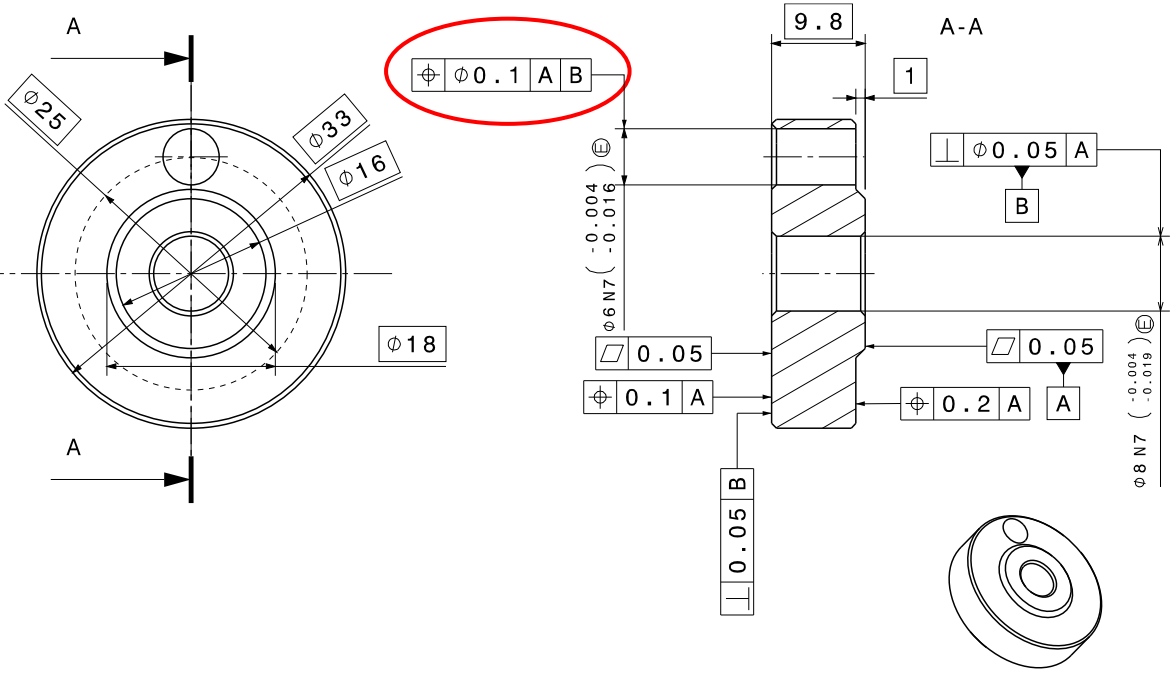


CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

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]

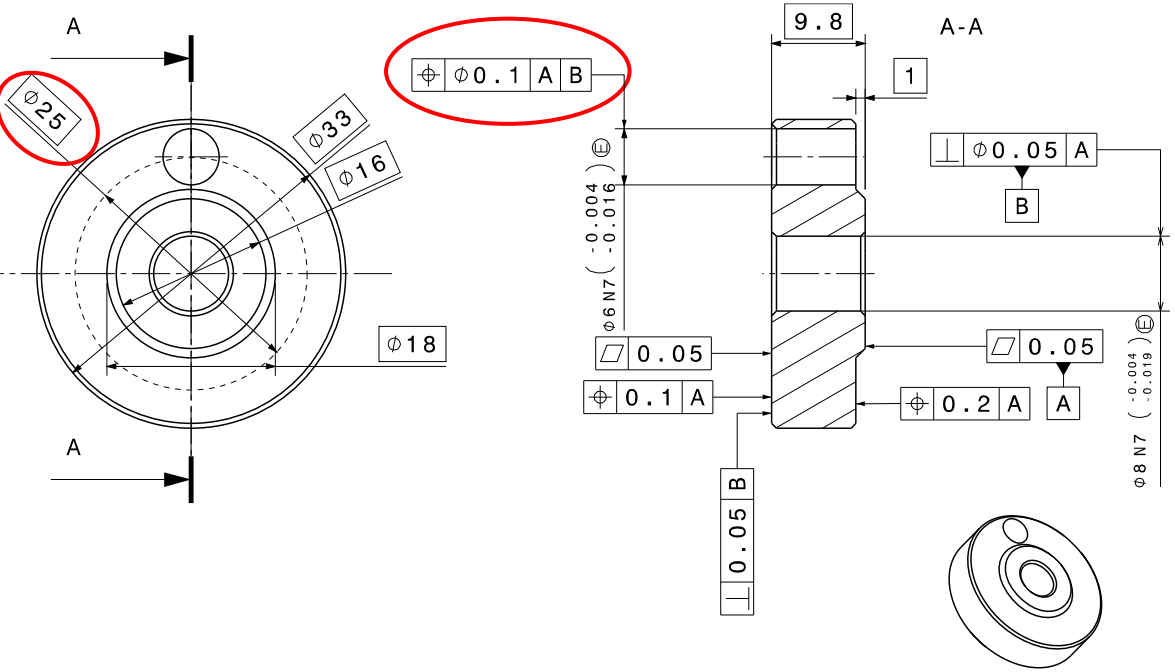
Nota : avec [TiP], il est possible d'orienter et positionner l'élément d'évaluation suivant les 3ddl bloqués par le plan :
2 rotations et 1 translation.
Et de positionner dans le plan suivant les deux dernières translations
La classe d'invariance est de révolution : 1 ddl de rotation reste libre.

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

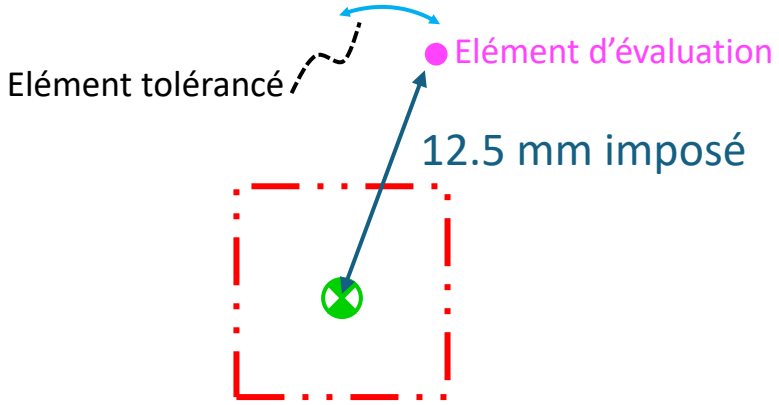
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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 Ø25 mm).

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



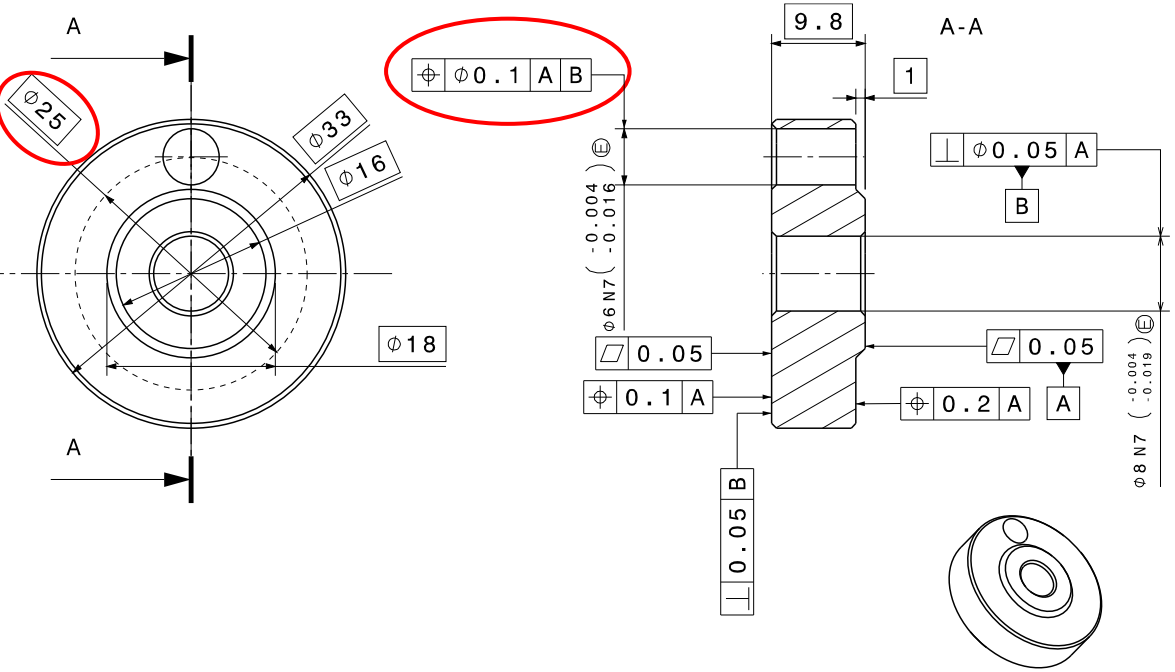
Vue de gauche

CC BY NC SA

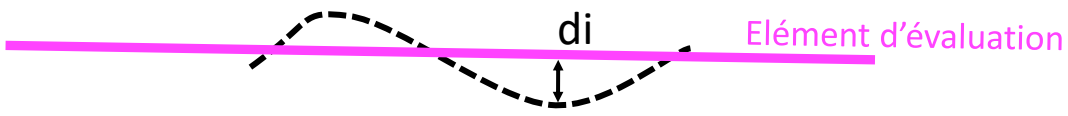
laurent.laboureau@ensam.eu

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.



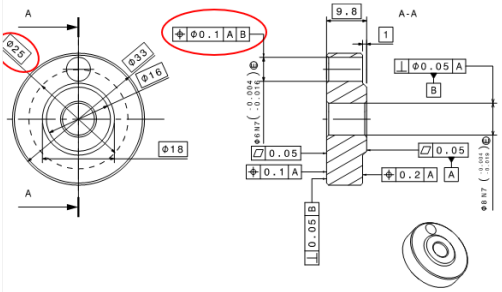
Vue de face

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

CC BY NC SA

Arts et Métiers Sciences et Technologies
laurent.laboureau@ensam.eu

Grille de décodage



Spécification :

⌖	Φ0.1	A	B

NON IDEAL	
Elément(s) Tolérancé(s) (obligatoire)	**Elément(s) de Référence(s) (si nécessaire)**
Ligne non-idéale nominalement rectiligne dérivée d'une surface non-idéale nominalement cylindrique	A: Surface non-idéale nominalement plane B: Surface non-idéale nominalement cylindrique

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) :

Perpendiculaire à [PL] et à 12.5 mm de [PT]

Fonction objectif (nécessaire si tous les ddl ne sont pas bloqués, associe l'élément d'évaluation à l'élément tolérancé) :

[C] ou minimax

Condition de conformité

Caractéristique (type de grandeur à évaluer)	Condition uni-limite
La caractéristique est la distance "di" entre l'élément d'évaluation et l'élément tolérancé.	Condition unilimite : $di_{MAX} \leq 0.1/2$

IDEAL

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]
Primaire		
Forme et contrainte(s) interne(s) : Plan Idéal **Critère d'association :** [GE]	[PL]	
Secondaire		
Forme et contrainte(s) interne(s) : Cylindre Idéal **Contrainte(s) externe(s) :** Perpendiculaire à [PL] **Critère d'association :** [X]	[SL]	[PT] ([SL] ∩ [PL])
Tertiaire		
Forme et contrainte(s) interne(s) : **Contrainte(s) externe(s) :** **Critère d'association :**		

Classe d'invariance et Eléments de situation finaux :

De révolution – [TiP]

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple complet en [ToLiP]

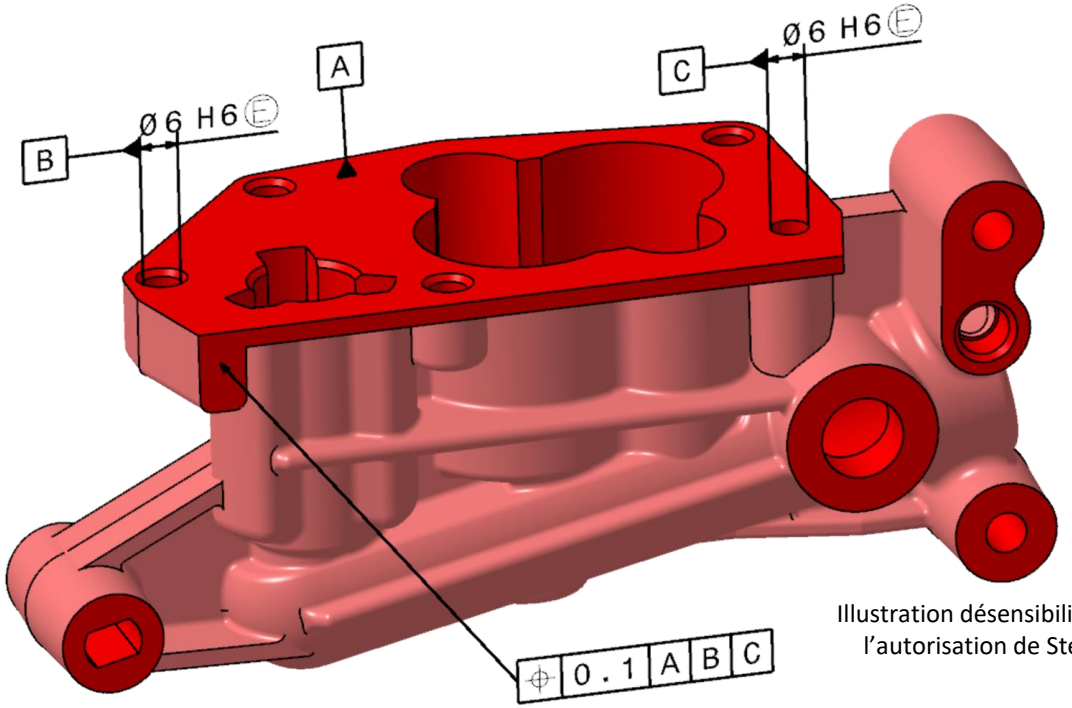


Illustration désensibilisée, avec l'autorisation de Stellantis

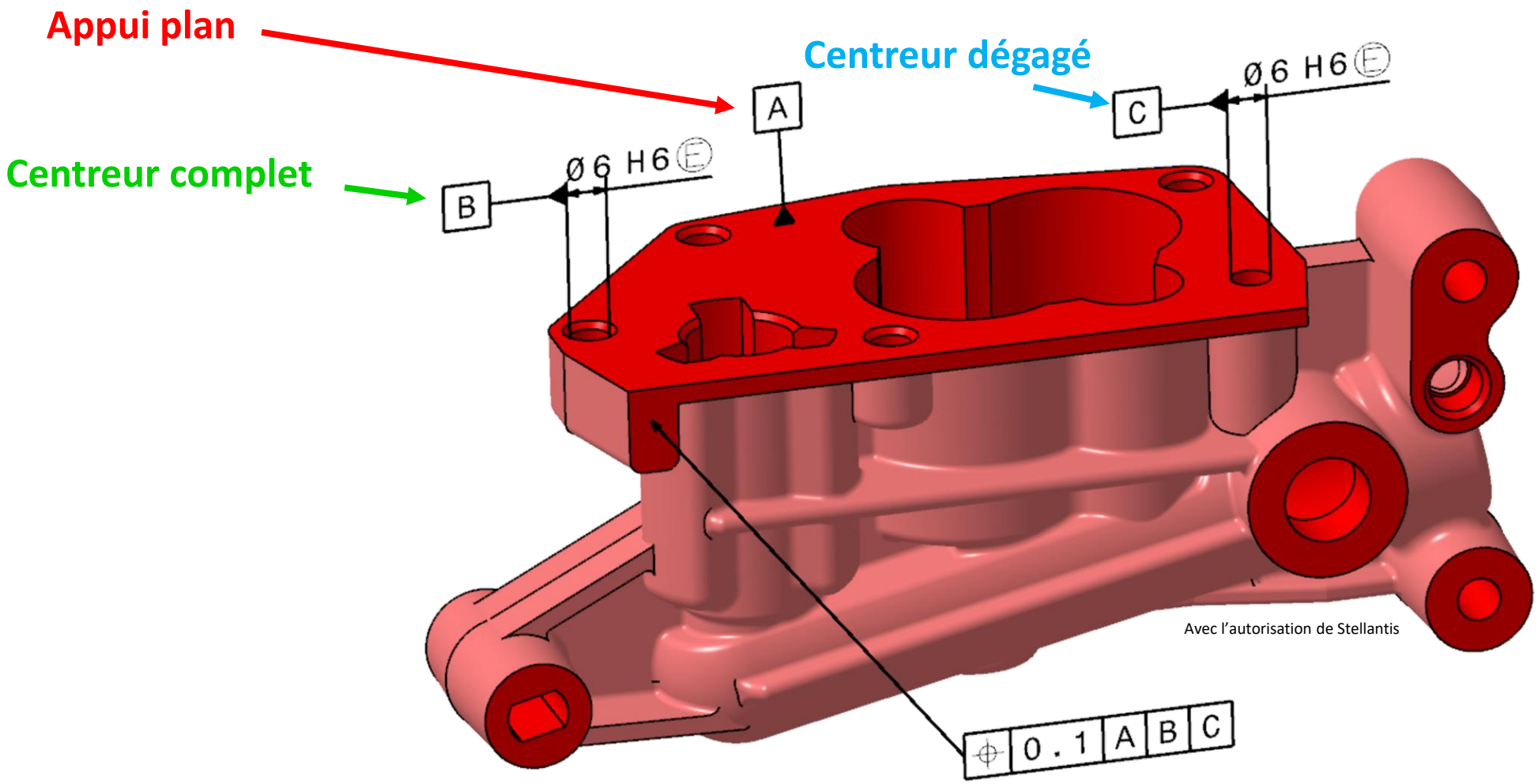
CC BY NC SA

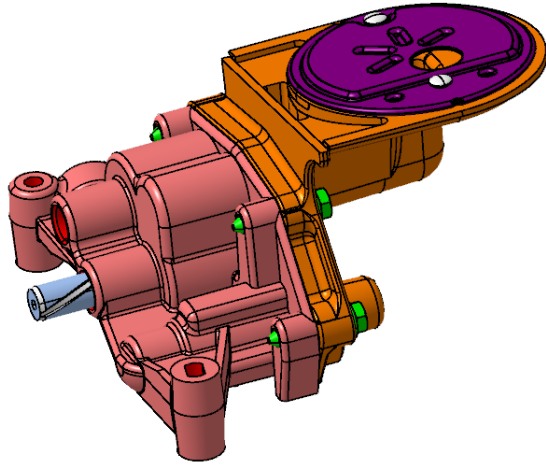
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS





Corps de pompe à huile

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

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,

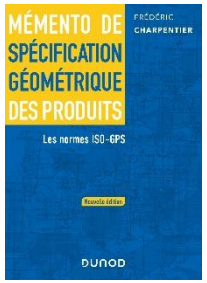
2.1 TYPE : une (des) surfaces idéales sur la (les) surface(s) identifiée(s) précédemment

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)



BY NC SA

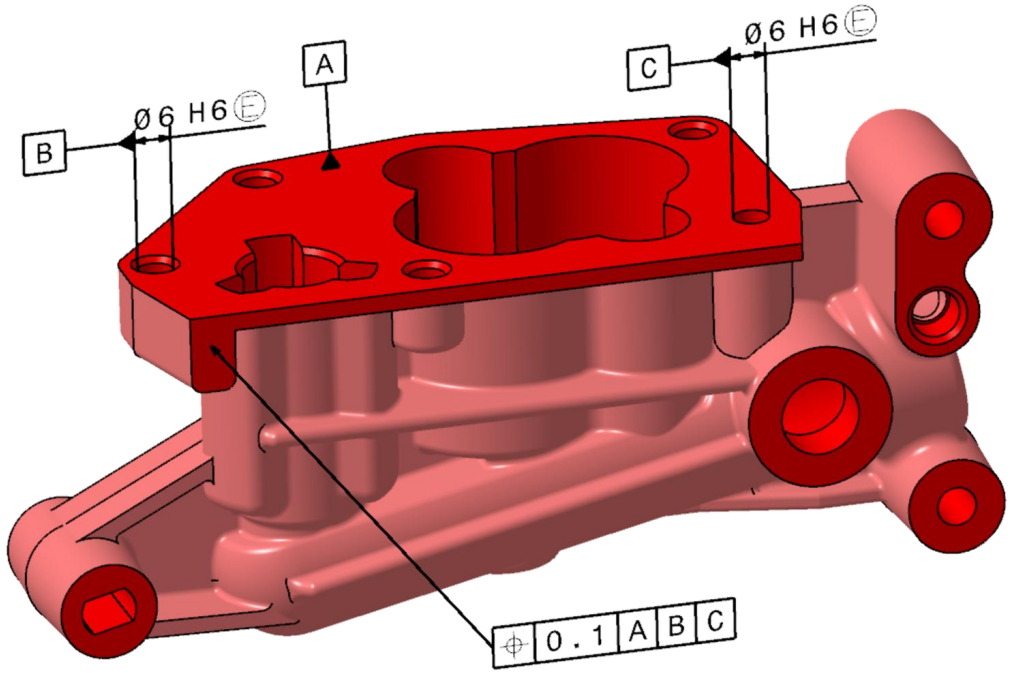
laurent.laboureau@ensam.eu

PERS_ETAPE 1 : identifier

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

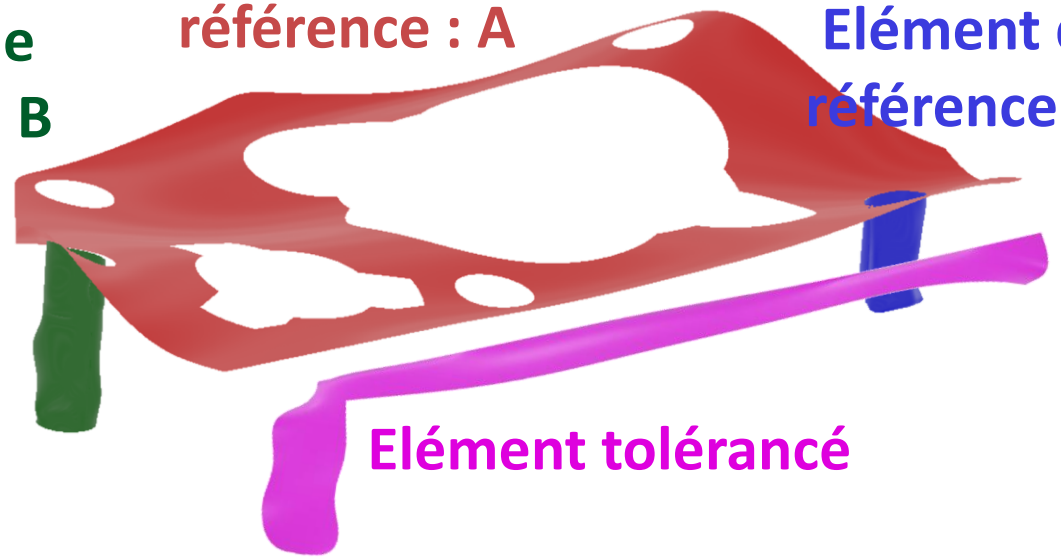
Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS



Elément de référence : B

Elément de référence : A

Elément de référence : C



Elément tolérancé

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

CC BY NC SA

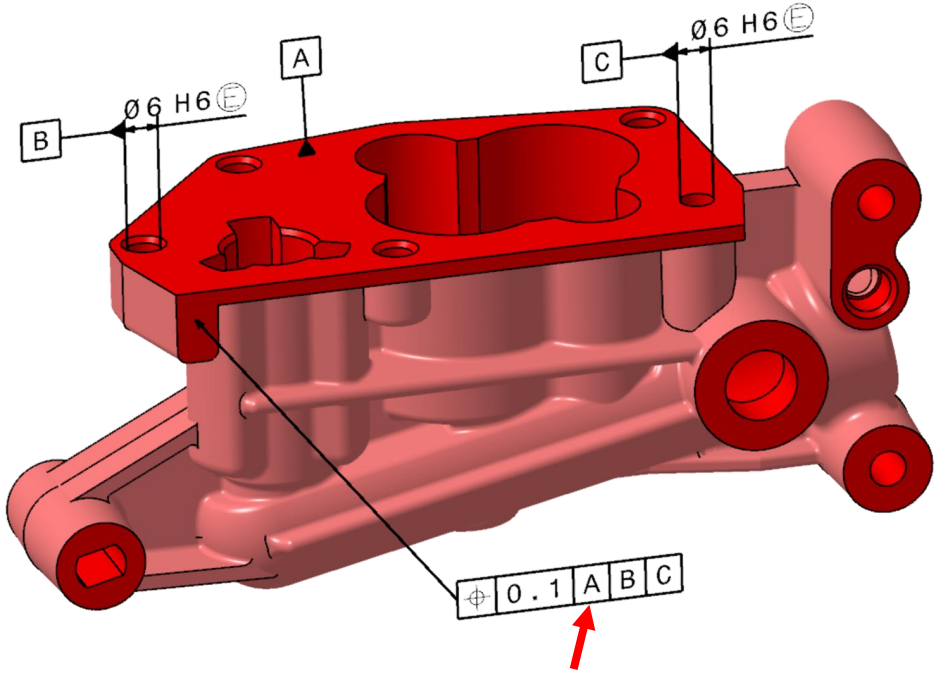
laurent.laboureau@ensam.eu

PERS_ETAPE 2 : associer

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

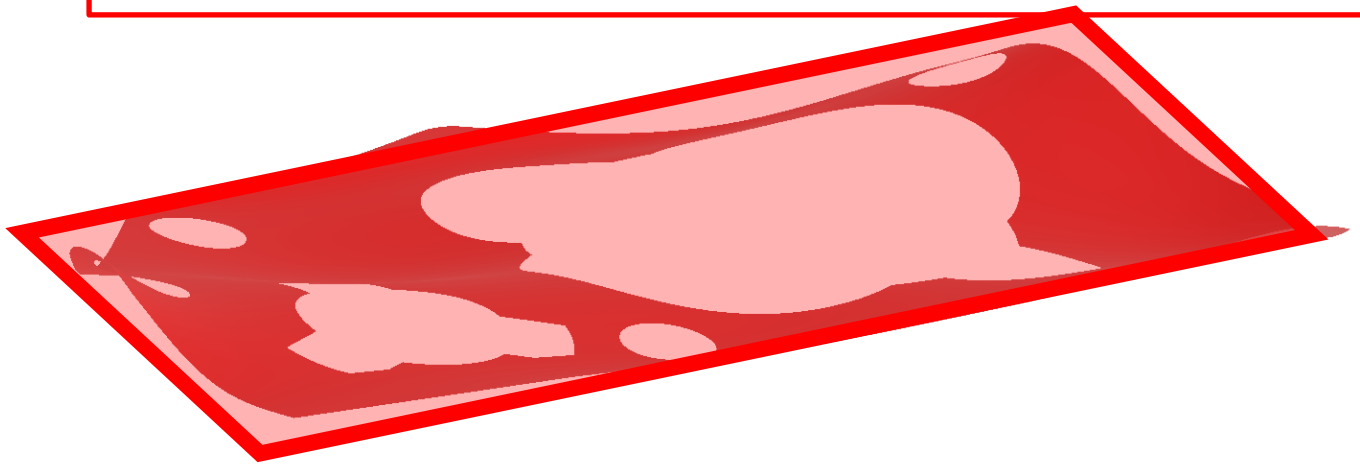
Exemple [ToLiP]

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] :

⌖	0.1	A[CE]	B	C

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

CC BY NC SA

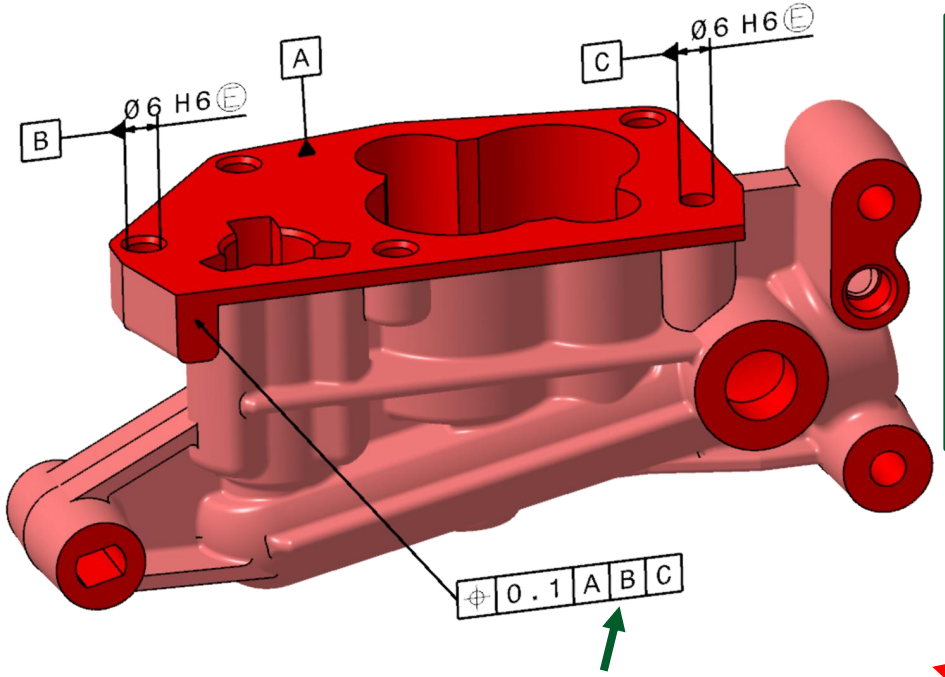
laurent.laboureau@ensam.eu

PERS_ETAPE 2 : associer

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

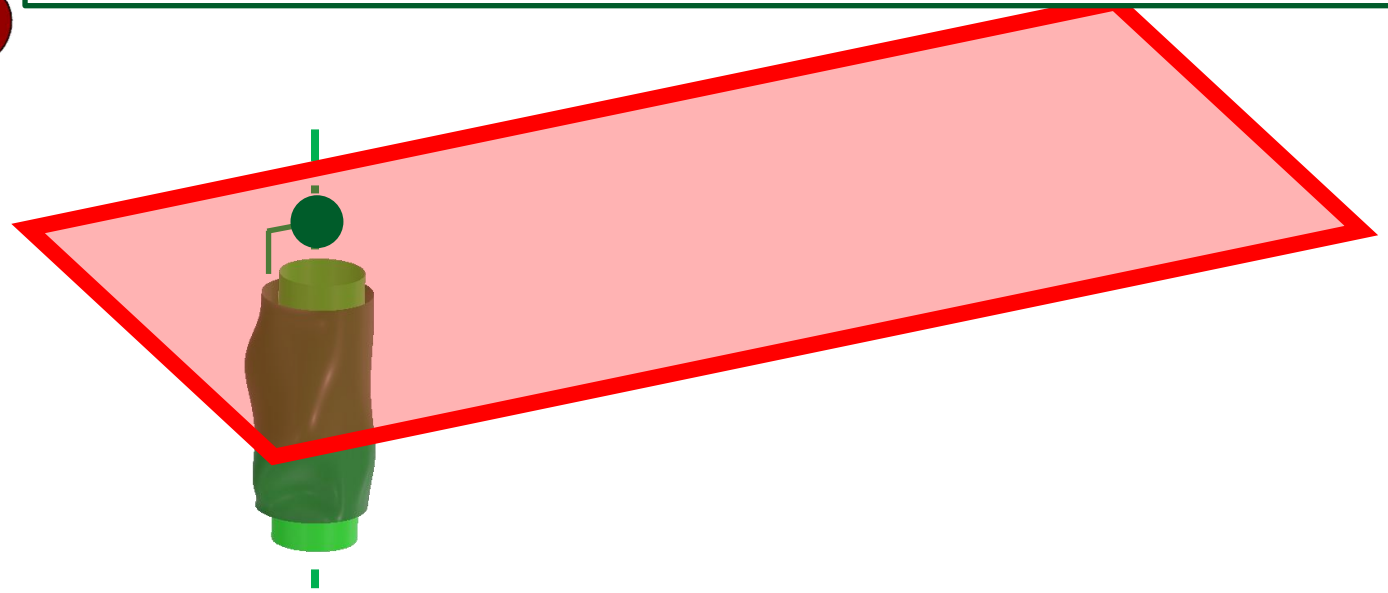
Exemple [ToLiP]

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].

CC BY NC SA

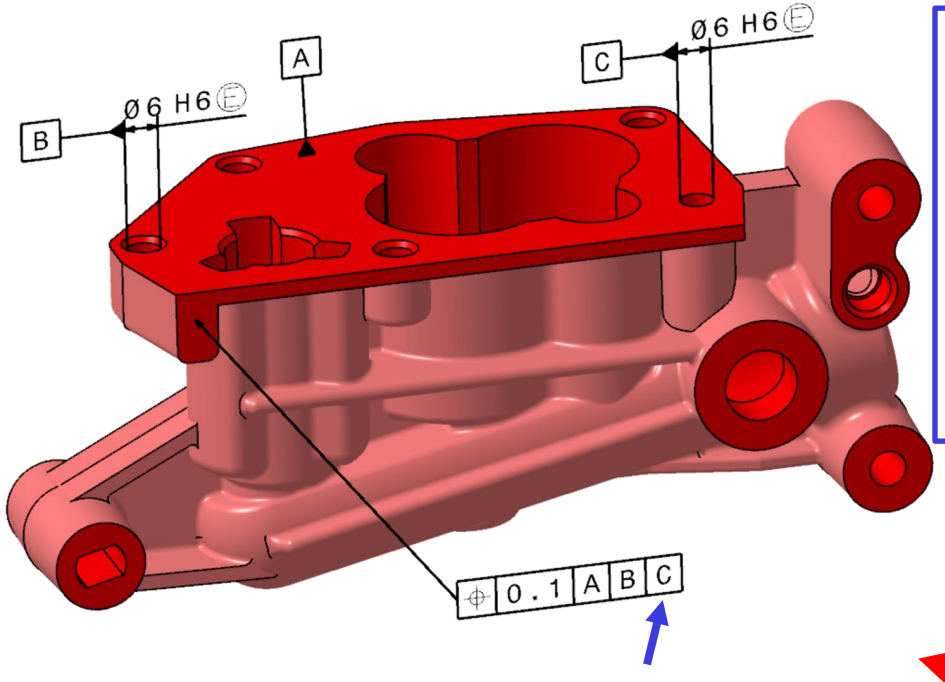
laurent.laboureau@ensam.eu

PERS_ETAPE 2 : associer

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS



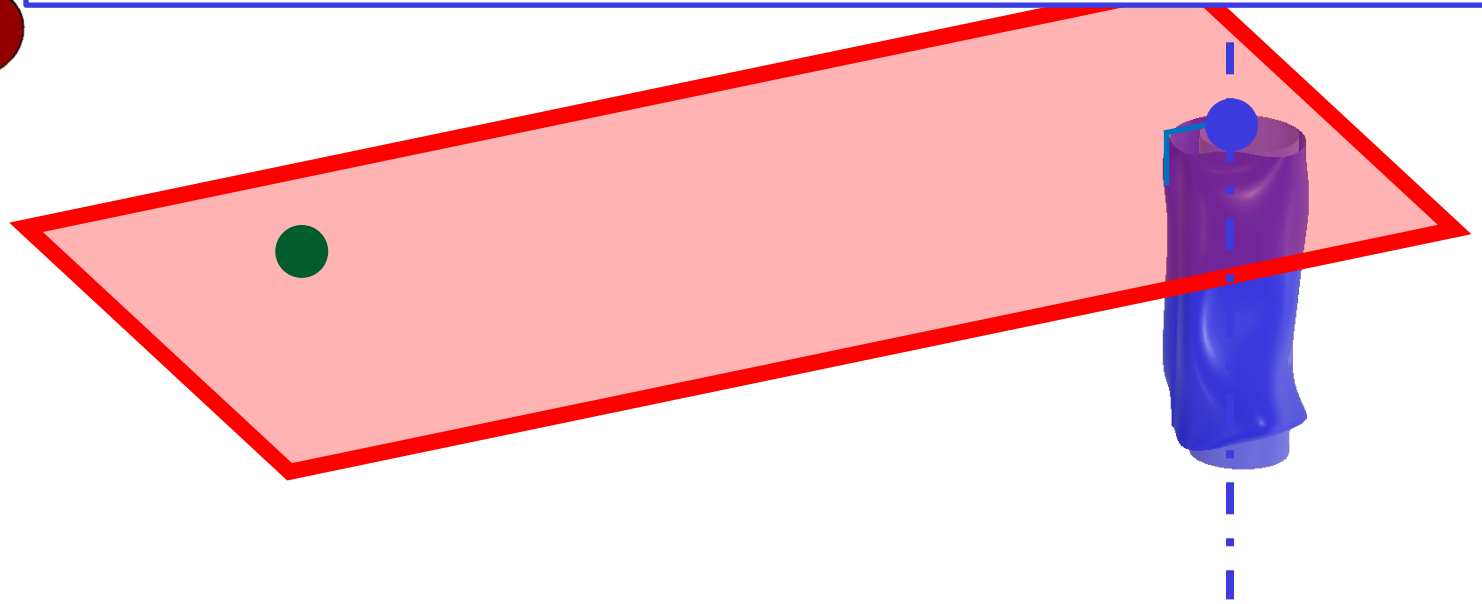
Pour déterminer la Référence Spécifiée Tertiaire : PERS_Etape 2 : Associer

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]

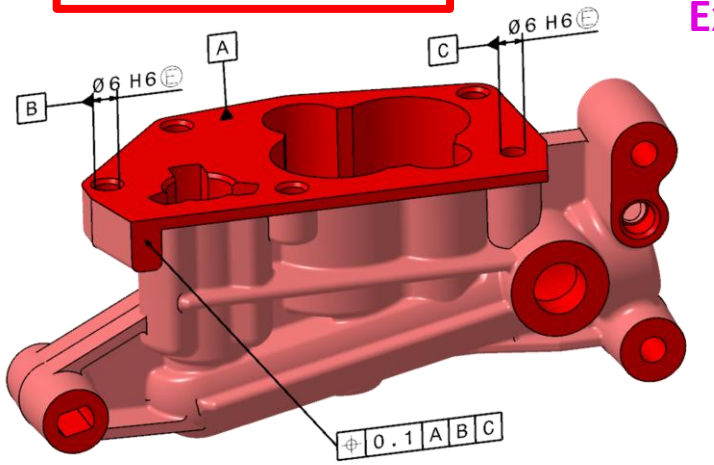
BY NC SA

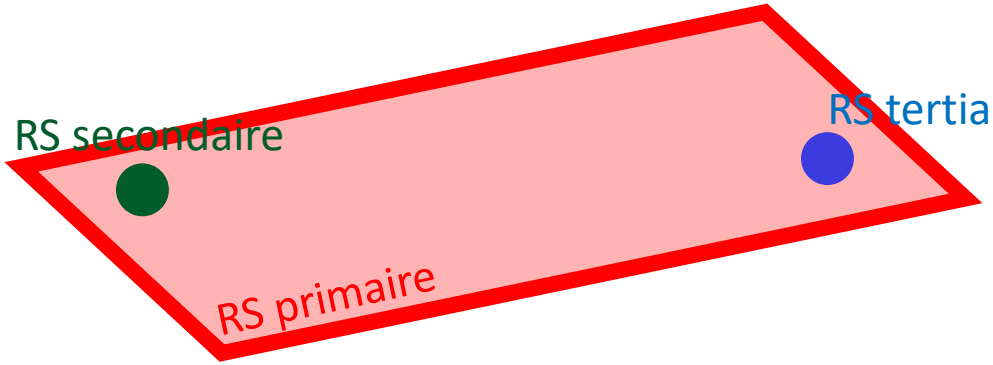
laurent.laboureau@ensam.eu

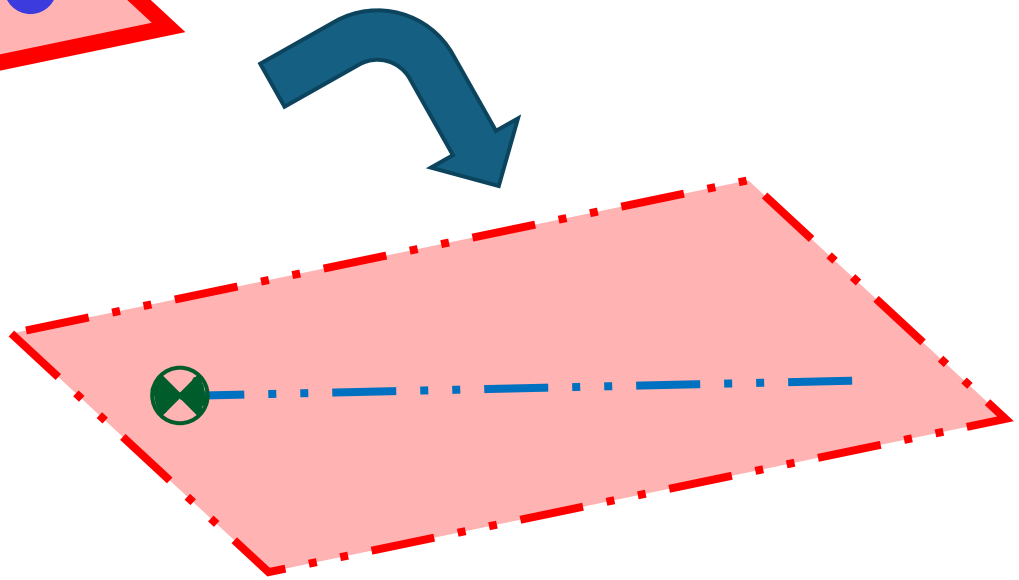
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

PERS_ETAPE 3 : trouver

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_secondaire au [PT] de la RS_tertiaire

Point sur ligne dans plan (poin**T** **o**n **L**ine **i**n **P**lane) : [ToLiP] : les 6ddl sont bloqués

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

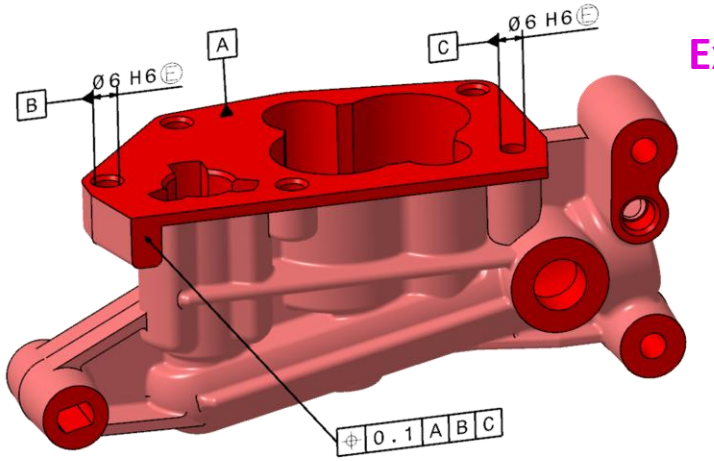
CC BY NC SA

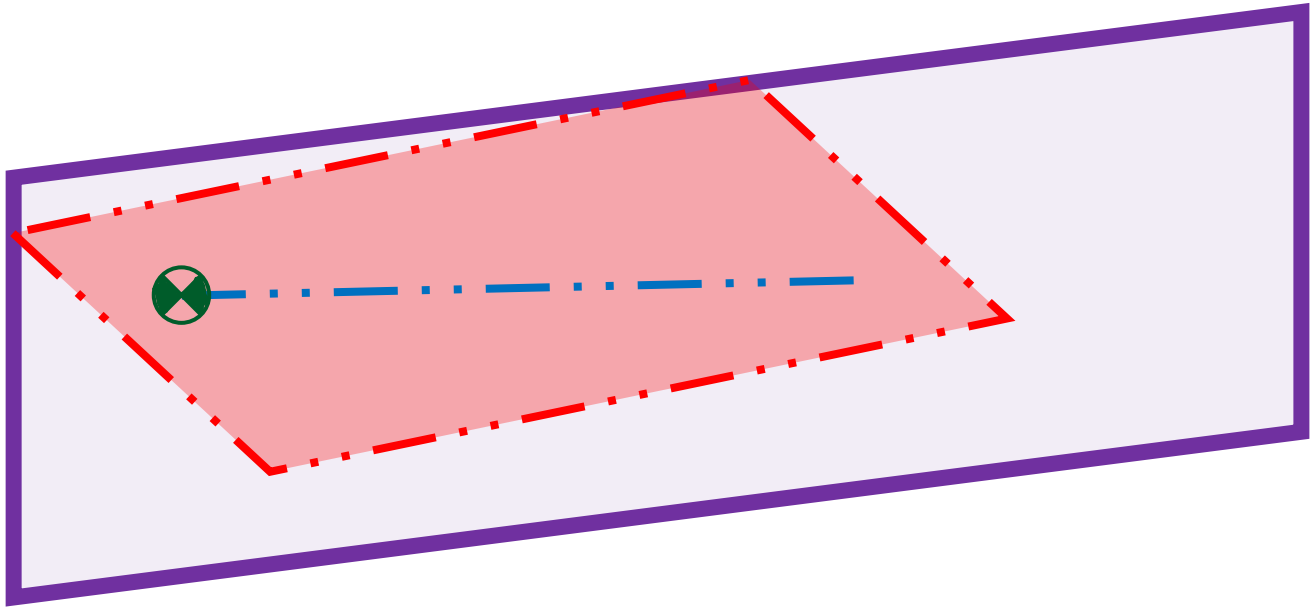
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS





Elément 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)**

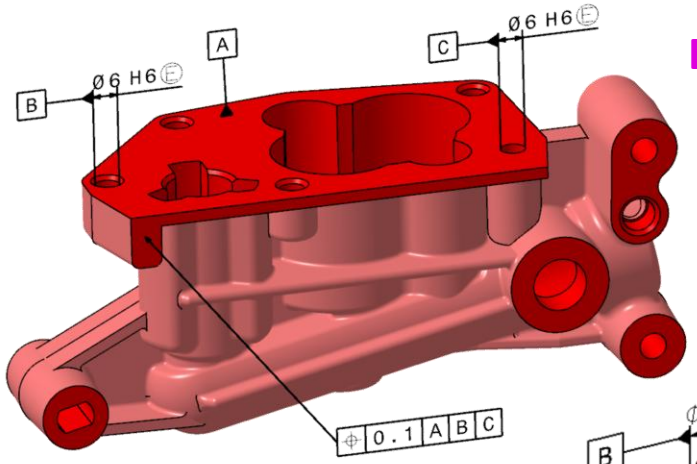
BY NC SA

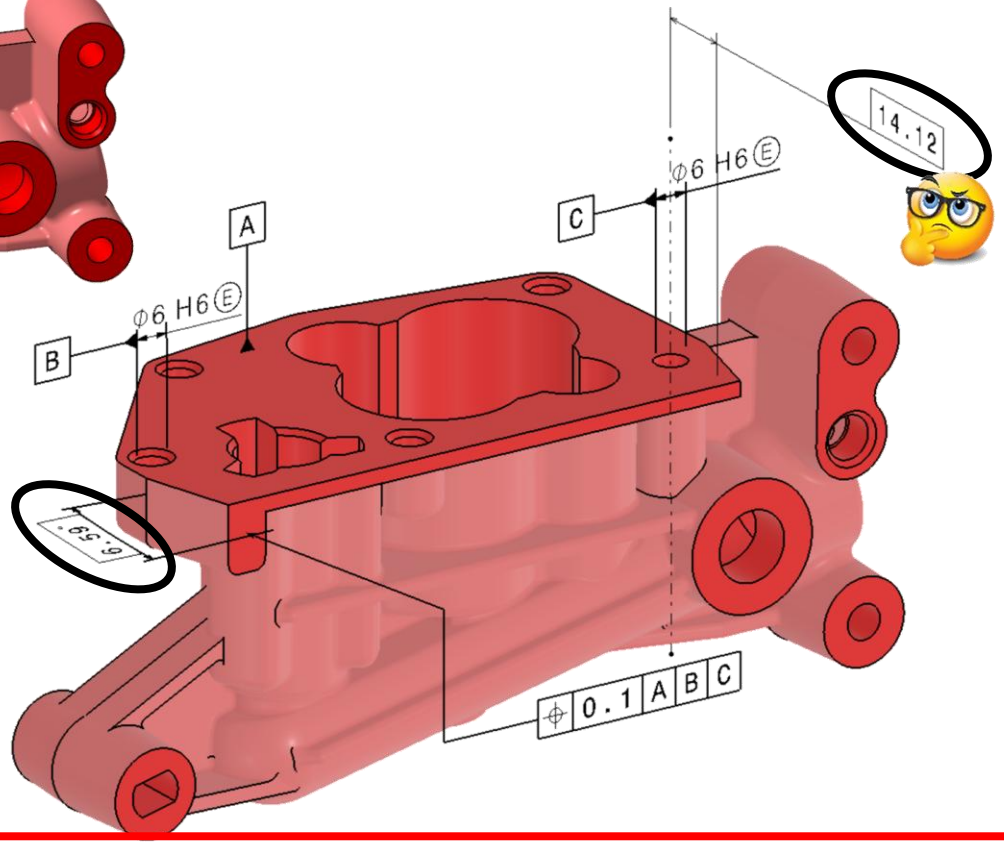
laurent.laboureau@ensam.eu

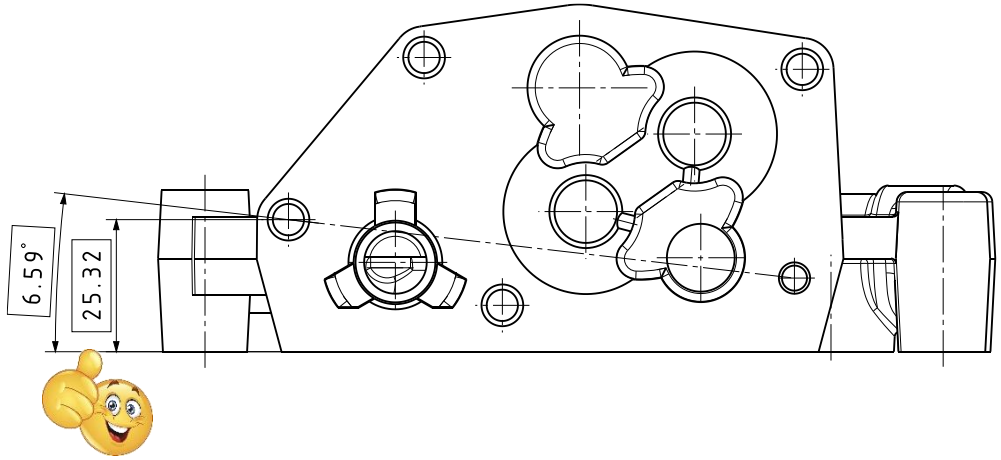
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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)

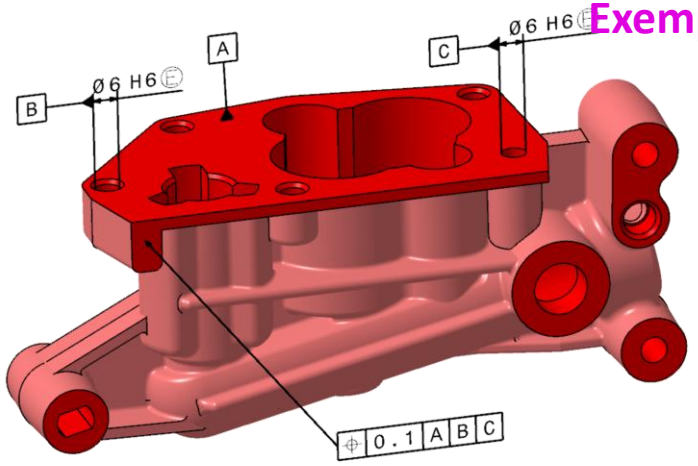
CC BY NC SA

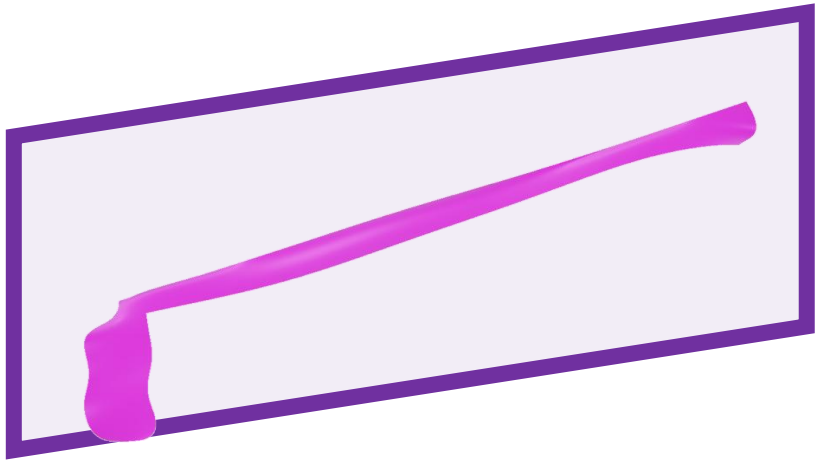
laurent.laboureau@ensam.eu

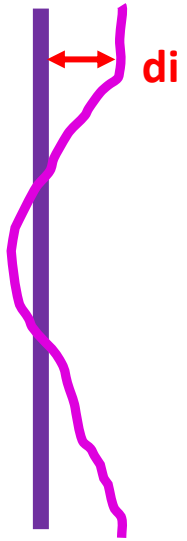
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple [ToLiP]

Exemple de décodage d'une spécification : application du PERS







Caractéristique :

Distance "**di**" entre **l'élément tolérancé** et **l'élément d'évaluation**

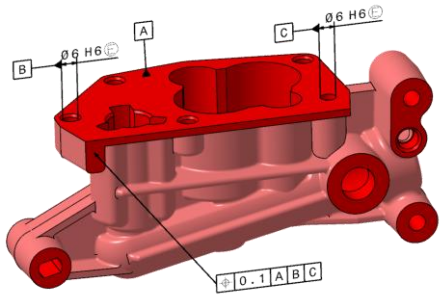
Condition uni-limite :

di_MAX≤IT/2 (ici ≤0.05)

CC BY NC SA

Arts et Métiers Sciences et Technologies
laurent.laboureau@ensam.eu

Grille de décodage



Spécification : ⌖ | 0.1 | A | B | C

NON IDEAL

Elément(s) Tolérancé(s) (obligatoire)	Elément(s) de Référence(s) (si nécessaire)
Surface non-idéale nominalement plane	A: Surface non-idéale nominalement plane B : Surface non-idéale nominalement cylindrique C : Surface non-idéale nominalement cylindrique

IDEAL

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

Condition de conformité

Caractéristique (type de grandeur à évaluer)	Condition uni-limite
Distance "di"entre l'élément tolérancé et l'élément d'évaluation	$di_{MAX} \leq 0.1/2$

IDEAL

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]
Primaire		
Forme et contrainte(s) interne(s) : Plan idéal Critère d'association : Gaussien Extérieur Matière [GE]	Plan [PL]	
Secondaire		
Forme et contrainte(s) interne(s) : Cylindre idéal Contrainte(s) externe(s) : Perpendiculaire à [PL] Critère d'association : [X]	Droite : [SL]	[PT] : [SL] ∩ [PL]
Tertiaire		
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]))

Classe d'invariance et Eléments de situation finaux :

Classe d'invariance complexe. [Tolip]

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

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)

BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

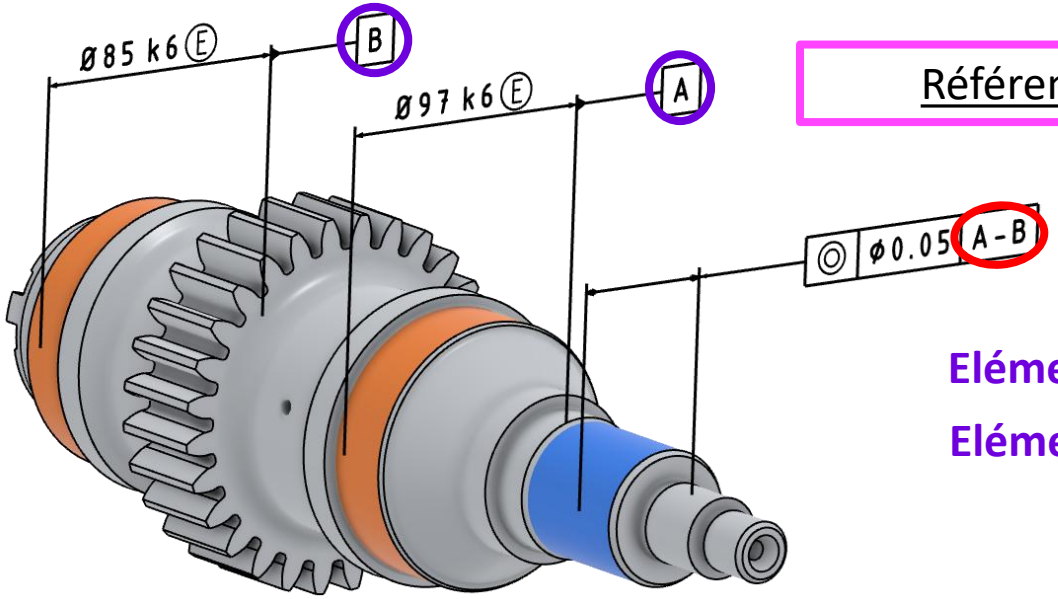


Illustration désensibilisée, avec l'autorisation de Safran Transmission Systems

Références spécifiées communes ISO 5459

Elément de référence A

Elément de référence B

Association →

Une Référence Spécifiée Commune

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)

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Exemple :

Références spécifiées communes ISO 5459

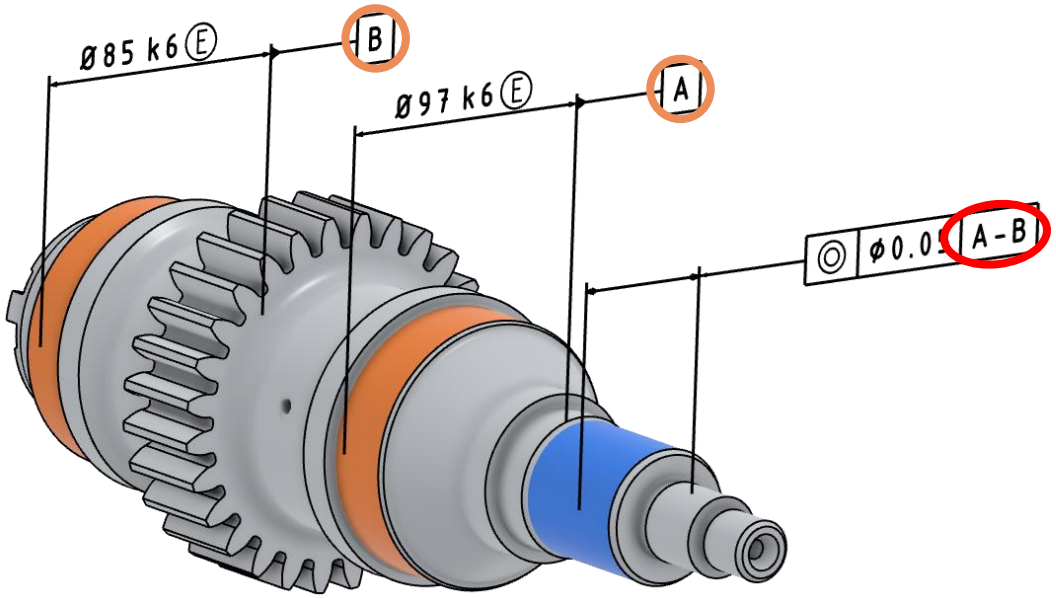
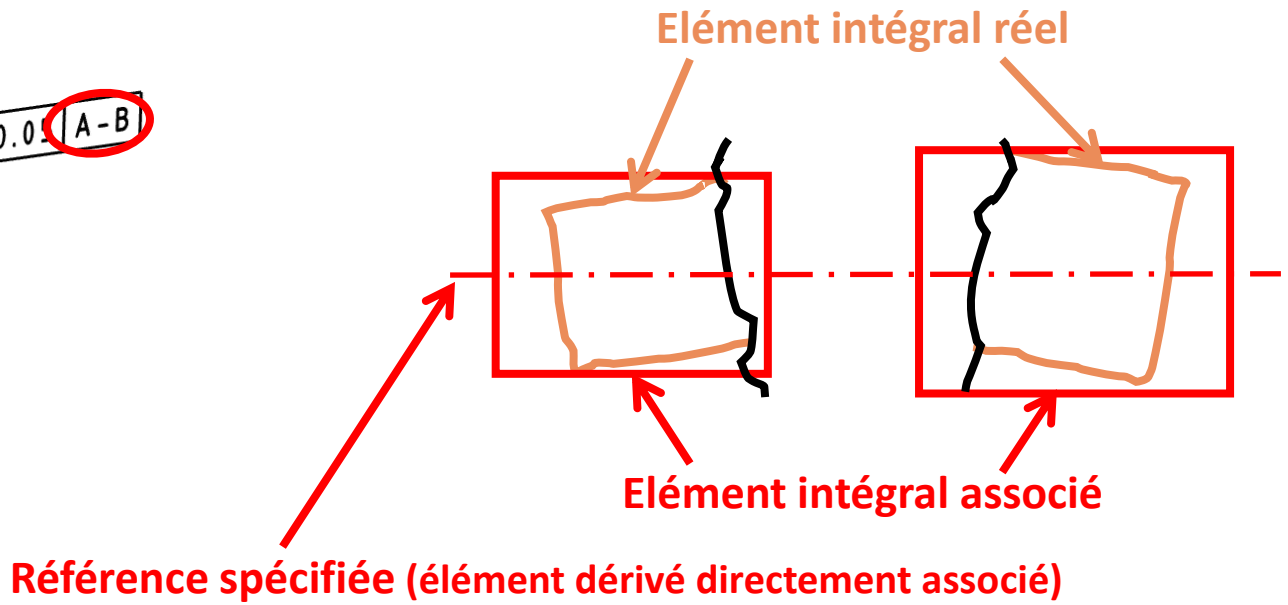


Illustration désensibilisée, avec l'autorisation de Safran Transmission Systems



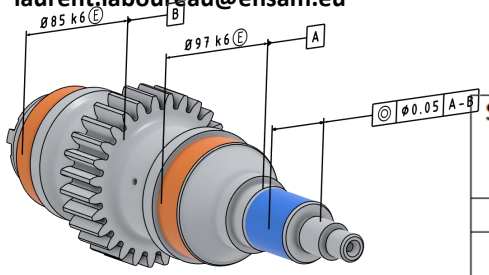
La référence spécifiée est **l'axe commun de deux cylindres coaxiaux** (contrainte de position) associés **aux deux éléments de références** en minimisant **simultanément et globalement** leurs diamètres avec les éléments intégraux réels (fonction objectif [N] : minimal circonscrit).

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

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu



Synthèse

Spécification : ◎ | Ø0.05 | A-B

NON IDEAL	
Elément(s) Tolérancé(s) (obligatoire)	**Elément(s) de Référence(s) (si nécessaire)**
Ligne non-idéale nominalement rectiligne dérivée d'une surface non-idéale nominalement cylindrique	A: Surface non-idéale nominalement cylindrique B : Surface non-idéale nominalement cylindrique

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]

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

Caractéristique (type de grandeur à évaluer)	Condition uni-limite
Distance "di"entre l'élément tolérancé et l'élément d'évaluation	di_MAX ≤0.05/2

IDEAL		
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]**
Primaire		
Forme et contrainte(s) interne(s) : 2 cylindres idéaux coaxiaux de taille variable Critère d'association : Minimal circonscrit [N]	[SL] (axe commun aux deux 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 cylindrique. [SL]

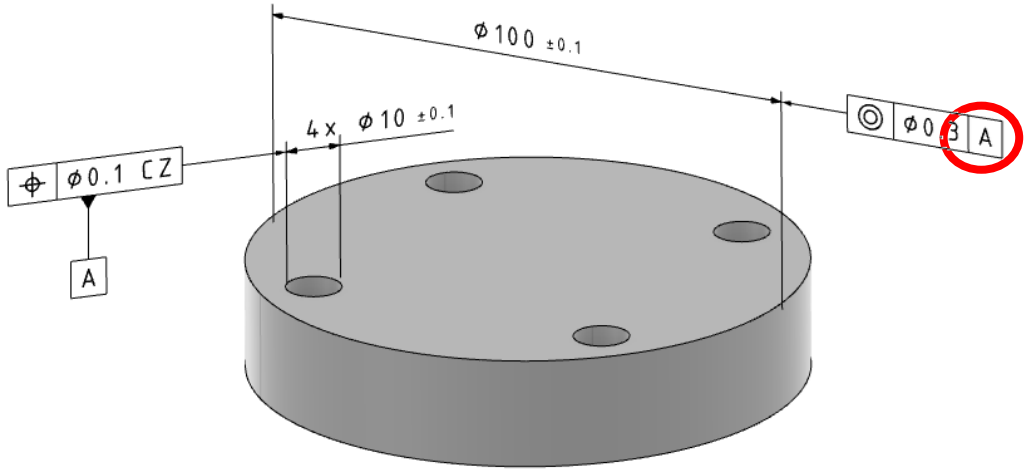
CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

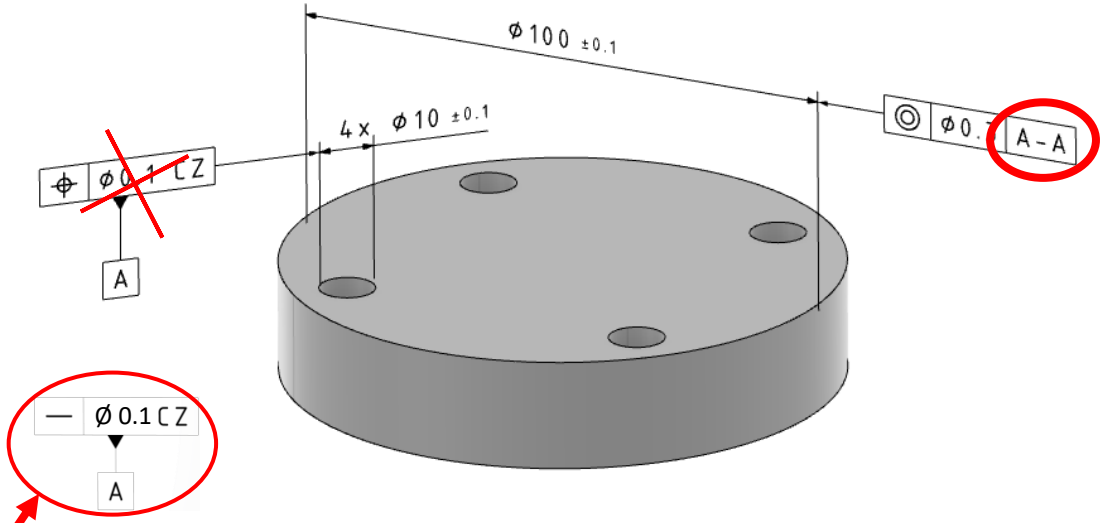
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

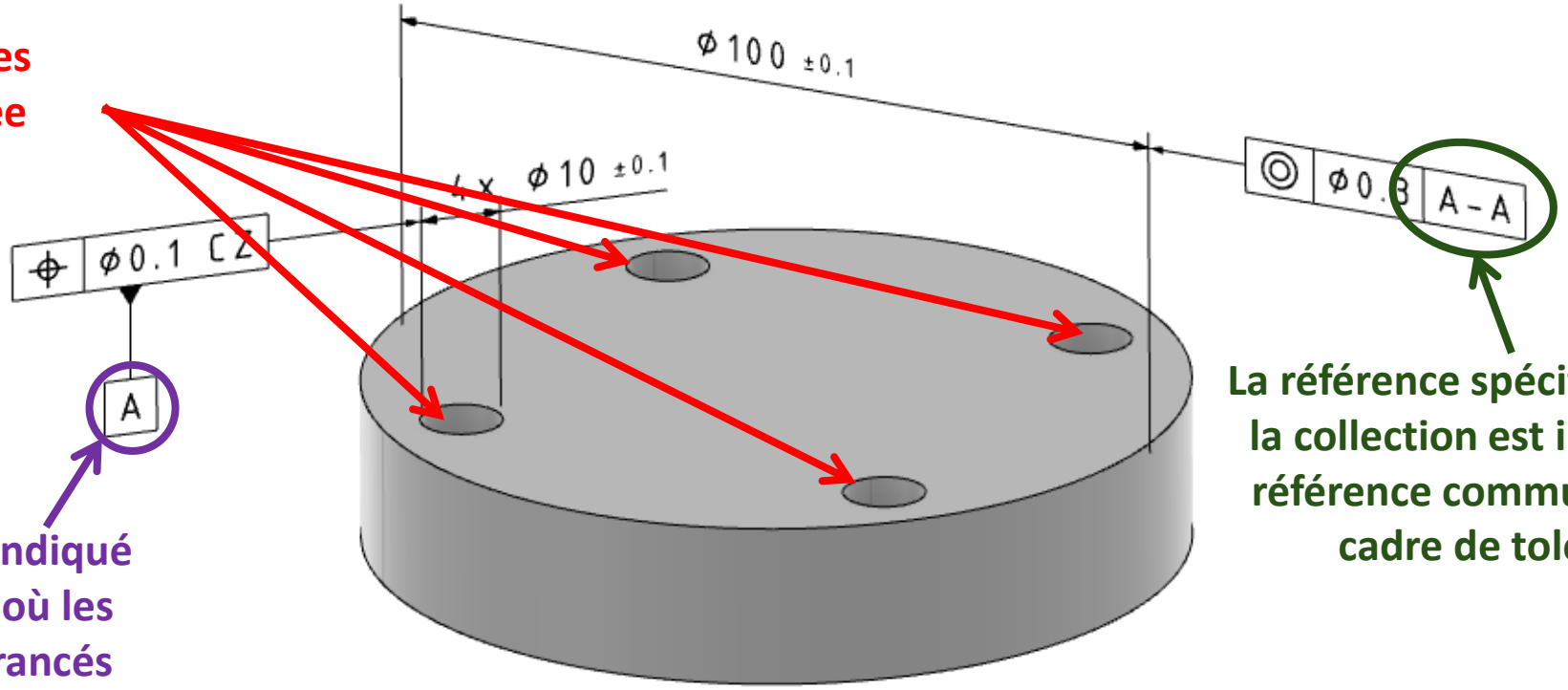
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

Références spécifiées communes ISO 5459

Références spécifiées communes : exemple ou 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

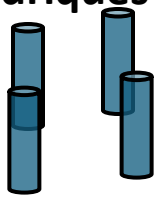
CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

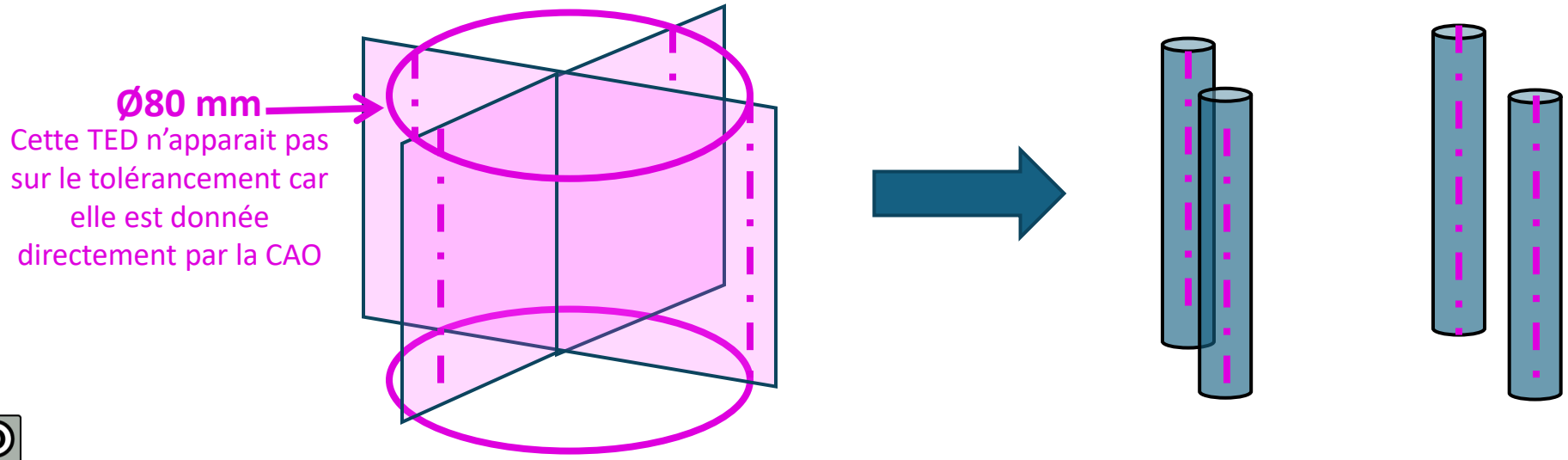
SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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.



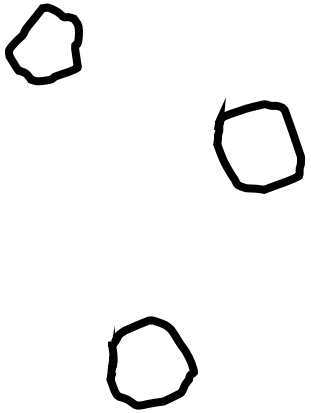
CC BY NC SA

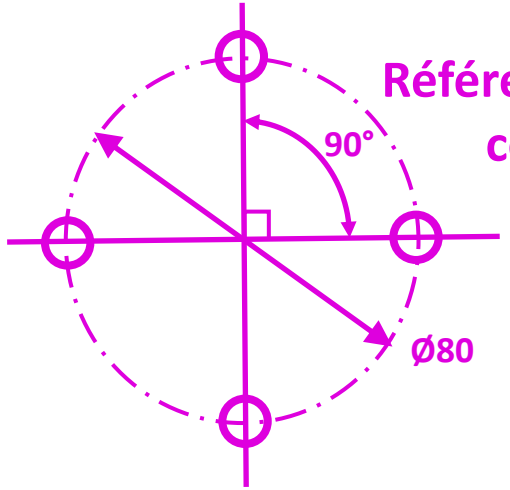
laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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

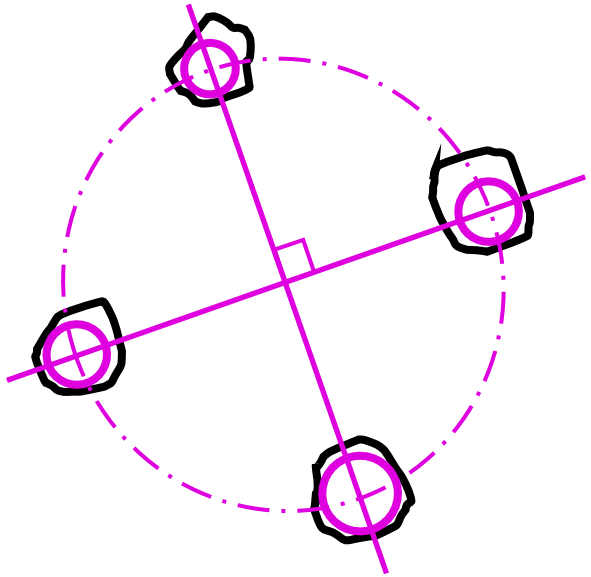
4 éléments de références





Référence spécifiée commune

Opération d'association



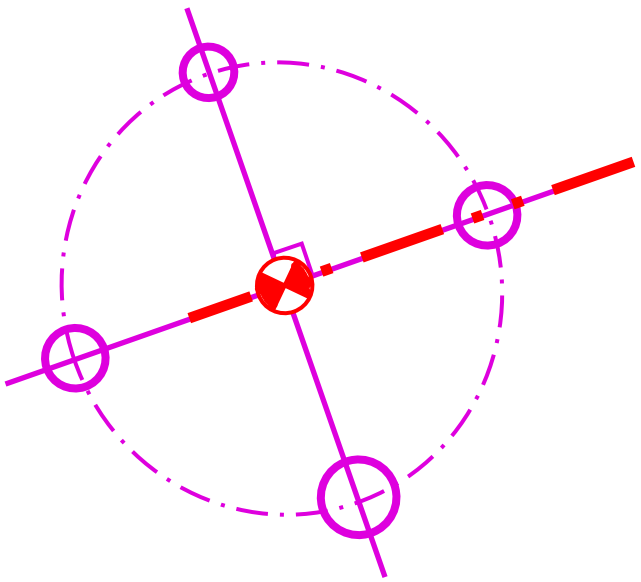
Maximum inscrit : [X], la taille des cylindres est variable.

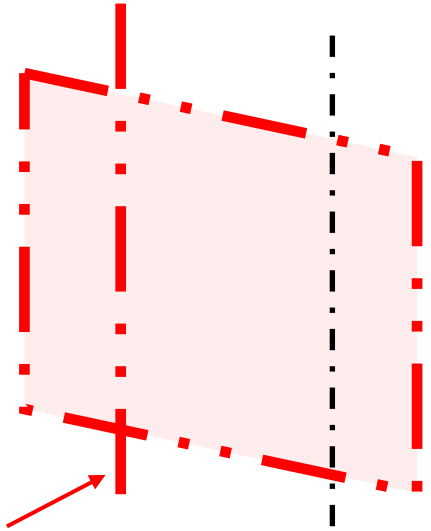
CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

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





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

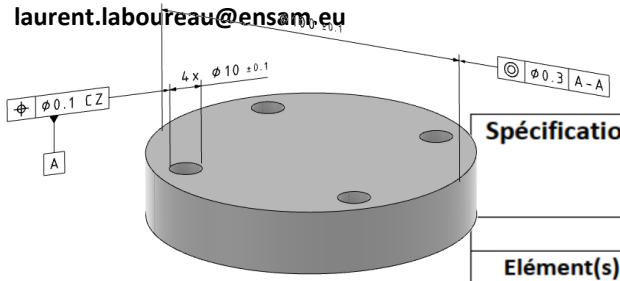
Les éléments de situation sont de type : Ligne dans plan (**L**ine **i**n **P**lane) : [LiP]

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)

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu



Synthèse

Spécification : ⌖ ϕ0.1CZ

NON IDEAL	
Elément(s) Tolérancé(s) (obligatoire)	**Elément(s) de Référence(s) (si nécessaire)**
4 lignes non-idéales nominalement rectilignes dérivées de 4 surfaces non-idéales nominalement cylindriques	

IDEAL

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	$di_{MAX} \leq 0.1/2$

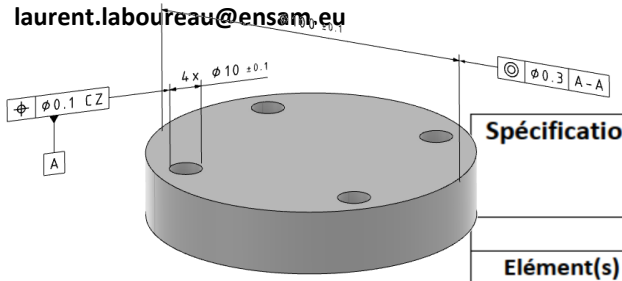
IDEAL

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]
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 :

CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu



Synthèse

Spécification : ◎ | ϕ0.3 | A-A

NON IDEAL	
Elément(s) Tolérancé(s) (obligatoire)	**Elément(s) de Référence(s) (si nécessaire)**
Ligne non-idéale nominalement rectiligne dérivée d'une surface non-idéale nominalement cylindrique	A : Collection de 4 surfaces non-idéales nominalement cylindriques

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) :

~~[redacted]~~

Condition de conformité

Caractéristique (type de grandeur à évaluer)	Condition uni-limite
Distance "di" entre l'élément tolérancé et l'élément d'évaluation	$di_{MAX} \leq 0.3/2$

IDEAL

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]
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. Critère d'association : [X]	[SL] (axe médian des 4 cylindres associés) [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 :	~~[redacted]~~	
Tertiaire		
Forme et contrainte(s) interne(s) : Contrainte(s) externe(s) : Critère d'association :	~~[redacted]~~	

Classe d'invariance et Eléments de situation finaux :

Classe d'invariance prismatique. [LiP]

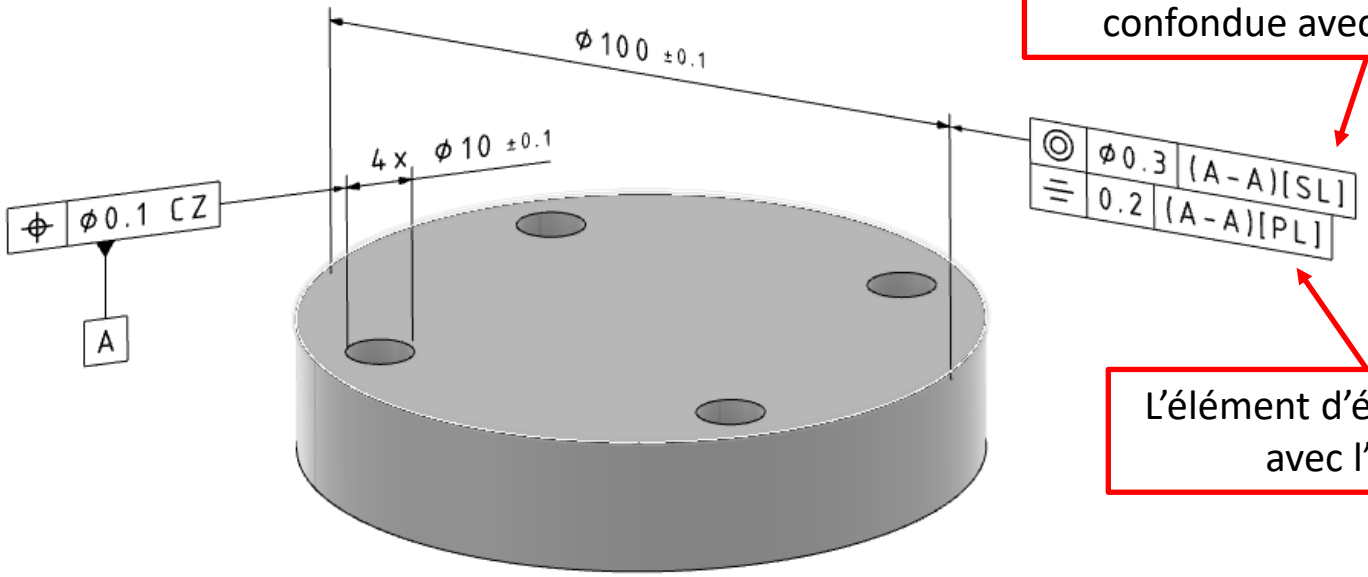
CC BY NC SA

laurent.laboureau@ensam.eu

SPECIFICATION GEOMETRIQUE

EN APARTE

Références spécifiées : utilisation d'un seul élément de situation



L'élément d'évaluation sera une droite confondue avec l'élément de situation [SL]

L'élément d'évaluation sera un plan confondu avec l'élément de situation [PL]

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

CC BY NC SA