

Livret

Tolérancement ISO/GPS



CETIM Centre-Val de Loire

3 à 7 rue Charles de Bange

CS 30018

18021 BOURGES CEDEX

Tel : 02 48 48 01 11

Dernière version numérique disponible gratuitement :

www.cetimcentrevalde Loire.fr

Publications → Données Techniques

Ne pas diffuser la version numérique de ce livret hors site Internet ci-dessus.

**Pour toute suggestion, demande d'information
ou commande d'édition papier avec onglets :**

CotationISO@cetimcentrevalde Loire.fr

*Pour **consulter** la version numérique, sous Adobe Reader, appliquer les paramètres suivants :*

- Afficher deux pages avec défilement
- Afficher la page de couverture en mode deux pages

*Pour **imprimer** ce document, appliquer les paramètres suivants :*

- Mode livret
- Recto/Verso

Version 1.00 du 14/12/2020

Rédaction et réalisation des illustrations : Jean-Yves JACOTIN et Simon PEROT

Cotations ISO

Ce livret est complémentaire à la formation **COF02** :
« Application de la cotation fonctionnelle et du langage ISO/GPS ».

Cette formation permet d'établir une démarche de tolérancement et de critique de plans industriels.

Ce livret est un outil pratique et synthétique à l'usage de l'industrie mécanique. Il permet d'aider les concepteurs et les lecteurs à la pratique du langage ISO-GPS sur les plans de définition fonctionnels.

Il n'est pas exhaustif.

Il n'a pas pour vocation de remplacer les normes de dessins techniques et devra être complété par la lecture des normes ISO-GPS.

Ne sont pas intégrés les « Plans d'intersection, Plans d'orientation, Éléments de direction, Plans de collection ».

Les plans de vue définis sur le plan de définition seront obtenus par rapport au système de références principal.

Lexique

Lexique français-anglais et normes applicatives utilisées

Français	Anglais
Norme	Standard
Cotation fonctionnelle	Functional dimensioning
Chaîne de cotes	Tolerance stack-up
Dimension	Dimension
Taille	Size
Enveloppe	Envelope
Dimension théorique exacte	Theoretically exact dimension (TED)
Tolérance géométrique	Geometrical tolerance
Forme	Form
Rectitude	Straightness
Circularité	Roundness
Profil d'une ligne	Line profile
Planéité	Flatness
Cylindricité	Cylindricity
Profil d'une surface	Surface profile
Orientation	Orientation
Perpendicularité	Perpendicularity
Parallélisme	Parallelism
Inclinaison	Angularity
Position	Location
Localisation	Position
Concentricité	Concentricity
Coaxialité	Coaxiality
Symétrie	Symmetry
Battement circulaire	Circular run-out
Battement total	Total run-out
Élément de référence	Datum feature
Référence spécifiée	Datum
Référence commune	Common datum
Système de références	Datum system
Référence partielle	Datum target
Zone commune	Common zone
Zone combinée	Combined zone
Zone de tolérance	Tolerance zone
Tolérance commune	Common tolerance
Élément unifié	United Feature
Maximum de matière	Maximum material
Minimum de matière	Least material
Pièces non rigides	Non-rigid parts
Etat libre	Free state



Le **principe d'invocation** implique que, par défaut, toutes les normes ISO-GPS sont appelées sur un plan de définition.

Attention : la date des normes n'est pas précisée.

Il est recommandé de réaliser un CDC interne indicé mentionnant la date des normes utilisées dans l'entreprise.

La référence du CDC et son indice seront à indiquer sur le plan.

NF EN ISO 8015 d'août 2011

Principes fondamentaux — Concepts, principes et règles

NF EN ISO 1101 d'avril 2017

Tolérancement géométrique — Tolérancement de forme, orientation, position et battement (*les plans de vue et les filtres ne sont pas traités dans ce livret*).

NF EN ISO 5459 de novembre 2011

Tolérancement géométrique — Références spécifiées et systèmes de références spécifiées

NF EN ISO 14405-1 de décembre 2016

Tolérancement dimensionnel — Partie 1 : Tailles linéaires

NF EN ISO 14405-2 de janvier 2019

Tolérancement dimensionnel — Partie 2 : Dimensions autres que tailles linéaires ou angulaires

NF EN ISO 5458 de juin 2018

Tolérancement géométrique — Spécification géométrique de groupes d'éléments et spécification géométrique combinée

NF EN ISO 10579 de novembre 2013

Cotation et tolérancement — Pièces non rigides

NF EN ISO 3040 de juillet 2016

Cotation et tolérancement — Cônes

NF EN ISO 1660 d'avril 2017

Tolérancement géométrique — Tolérancement des profils

NF EN ISO 2692 de mars 2015

Tolérancement géométrique — Exigence du maximum de matière (MMR), exigence du minimum de matière (LMR) et exigence de réciprocité (RPR)

Glossaire

ISO 1101

• **Dimension Théorique Exacte (TED)** : Dimension linéaire ou angulaire qui définit la géométrie, les étendues, les positions et les orientations théoriquement exactes des éléments. Elle peut être définie par le modèle 3D (formes complexes).

• **Elément tolérancé (ET)** : Élément réel sur lequel une spécification est définie.

• **Spécification géométrique** : S'applique à un élément simple complet, sauf indication explicitement contraire, par exemple en utilisant un modificateur.

• **Zone de tolérance (ZT)** : C'est une portion d'espace de géométrie parfaite devant contenir l'élément tolérancé et dont les frontières dépendent de la spécification.

• **Elément de référence** : Élément réel que l'on utilise pour déterminer la position d'une référence spécifiée.

• **Elément associé** : Élément idéal qui est ajusté à l'élément de référence avec un critère d'association qui simule le contact entre la surface réelle de la pièce et d'autres composants.

• **Référence spécifiée (RS)** : Point, droite, plan (un ou plusieurs éléments de situation) d'un ou de plusieurs éléments associés, utilisés pour définir la position ou l'orientation d'une zone de tolérance.

• **Référence spécifiée simple**

		A
--	--	---

 :

Elle est établie à partir d'un élément de référence d'une surface considérée seule ou d'une entité dimensionnelle.

• **Référence spécifiée commune**

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

 :

Elle est établie à partir d'au moins deux éléments de référence considérés simultanément.

• **Référence partielle**

A1	A2	A3
----	----	----

 :

Partie d'un élément de référence qui peut être nominalement un point, une portion de ligne ou une zone surfacique.

• **Système de références spécifiées**

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

 :

Un système de références spécifiées est constitué d'une liste ordonnée de deux ou trois références spécifiées simples ou communes.

• **Référence spécifiée primaire**

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

 :

Elle n'est pas contrainte par les autres références spécifiées.

• **Référence spécifiée secondaire**

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

 :

Elle est contrainte en orientation par rapport à la référence spécifiée primaire.

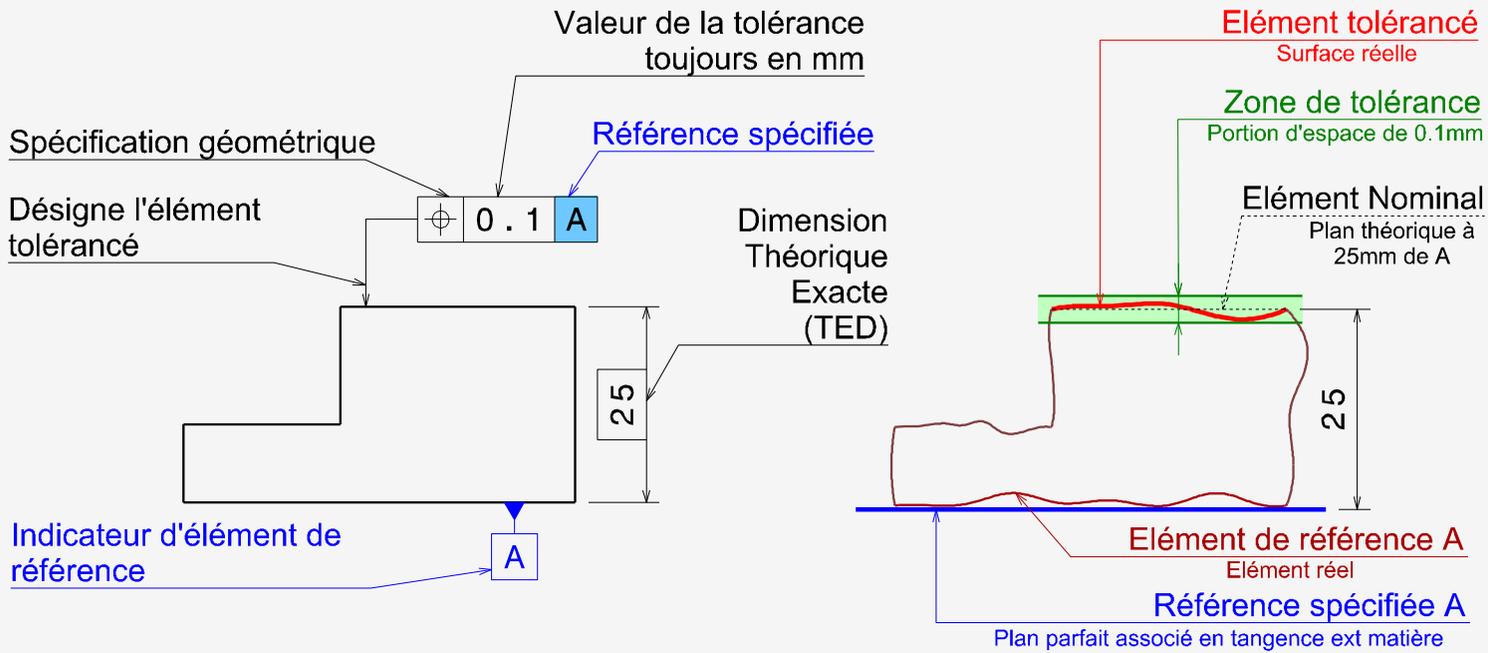
• **Référence spécifiée tertiaire**

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

 :

Elle est contrainte en orientation par rapport aux références spécifiées primaire et secondaire.

ISO 5459



• **Etat au maximum de matière** (M) : Etat de l'élément extrait considéré pour lequel, en tout endroit, l'entité dimensionnelle est à la taille limite telle que l'élément ait le maximum de matière (dimension pour laquelle la pièce est la plus lourde).

• **Etat virtuel au maximum de matière** : Etat de l'élément de forme parfaite associé de dimension virtuelle au maximum de matière, due aux effets combinés d'une entité dimensionnelle et d'une tolérance géométrique (forme, orientation ou position). L'état virtuel est parfaitement positionné ou orienté par rapport au système de références spécifiées.

• **Etat au minimum de matière** (L) : Etat de l'élément extrait considéré pour lequel, en tout endroit, l'entité dimensionnelle est à la taille limite telle que l'élément ait le minimum de matière (dimension pour laquelle la pièce est la plus légère).

• **Pièce non rigide** : Pièce qui se déforme d'une valeur telle que, à l'état libre, elle puisse être en dehors des tolérances dimensionnelles et/ou géométriques du dessin.

• **Etat libre** (F) : Etat d'une pièce soumise uniquement à la force de gravitation.

Principes fondamentaux

Principe d'indépendance :

Par défaut, **chaque spécification doit être satisfaite de manière indépendante des autres spécifications...**

sauf lorsqu'une norme ou une indication particulière définissent un lien entre les exigences dans le cadre de la spécification considérée : \textcircled{E} , CZ, CT, UF, ...



La dimension locale et la spécification géométrique sont indépendantes.

Principe de l'élément :

Sauf indication contraire, l'élément tolérancé ne concerne que l'élément simple complet désigné.

Principe de la pièce rigide :

Par défaut, **une pièce est tolérancée à l'état libre, sans déformation par des contraintes extérieures.**

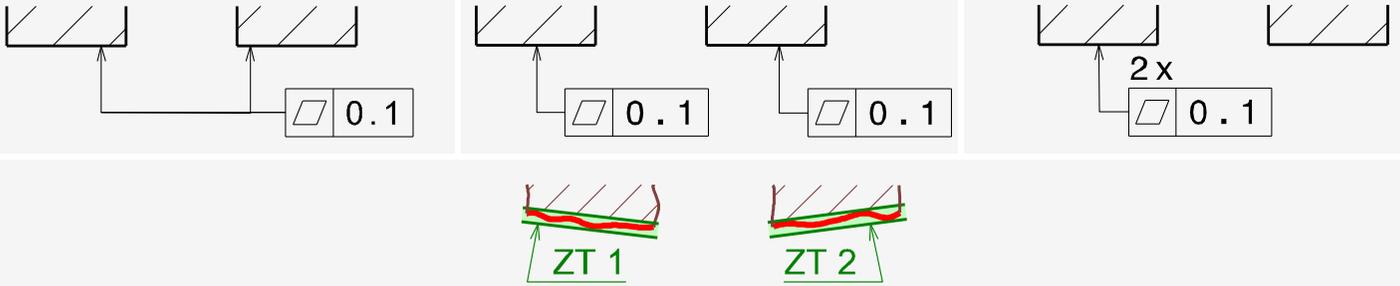
Principe de la maîtrise fonctionnelle :

La spécification d'une pièce est complète lorsque toutes **les fonctions** prévues de la pièce sont décrites et maîtrisées avec des spécifications GPS.

Principe de la condition de référence :

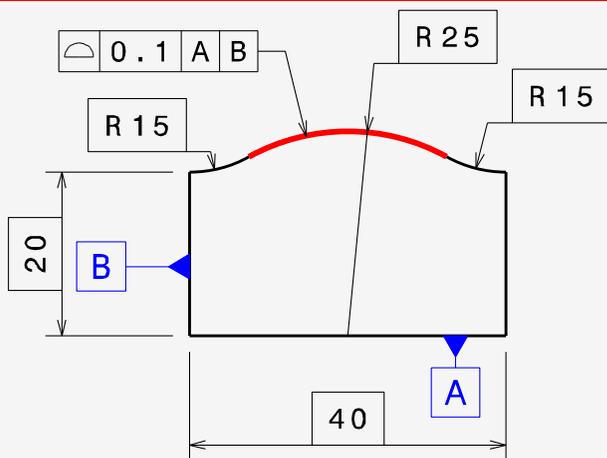
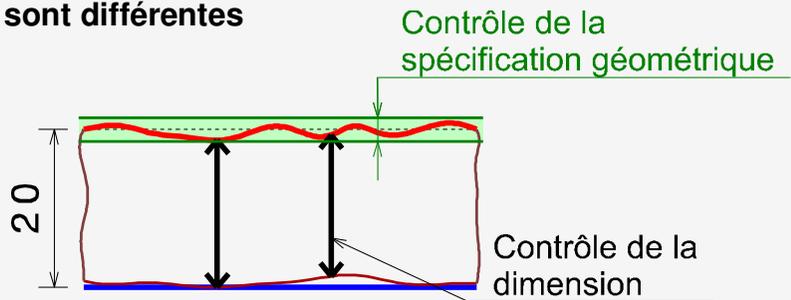
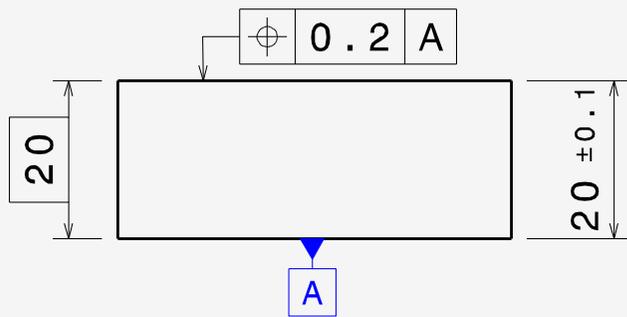
Par défaut, la température normale de référence est de **20 °C** lors de la mesure d'une pièce (norme ISO 1).

Ces trois écritures sont équivalentes :



Le contrôle s'effectue selon le principe d'indépendance

Les mesures sont différentes



Élément tolérancé



Les rayons de 15 ne sont pas tolérancés

Afin d'être représentatif des conditions d'utilisation de la pièce, il est possible de la tolérancer à l'état bridé. Pour cela, il est nécessaire d'indiquer sur le plan la norme ISO 10579-NR et les conditions de bridage.

Il existe des fonctions génériques et récurrentes en conception mécanique :

- Assemblage (ou montabilité)
- Esthétisme, (ex. la constance d'un jeu)
- Etanchéité
- Fonctionnement (manœuvre, ...)
- Résistance (à l'effort, à l'ambiance, ...)
- Confort / Ergonomie
- Réglementation / Sécurité
- ...

Idée originale de Gérald ECAROT (méthode MATAF)

Nota : Modifier cette température de référence peut représenter un risque car les appareils de métrologie sont étalonnés à 20°C.

Tolérances Dimensionnelles

LP

Taille Linéaire



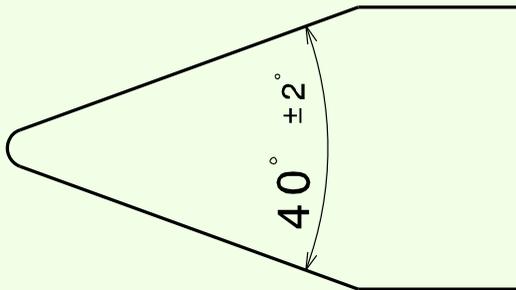
Taille Linéaire : limite uniquement les dimensions locales réelles d'un élément mais pas ses écarts de forme (mesure entre deux points).

La tolérance dimensionnelle ne peut s'appliquer qu'à des éléments dont la géométrie nominale est :

- Un cylindre, une sphère, l'épaisseur d'un tube, ...
- Deux plans parallèles en vis-à-vis et opposés

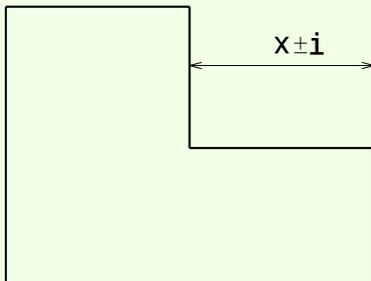
LC

Taille Angulaire



Taille Angulaire : limite uniquement l'orientation générale des lignes ou des éléments linéaires des surfaces mais pas leurs écarts de forme (mesure entre deux droites).

Dimensions Ambiguës

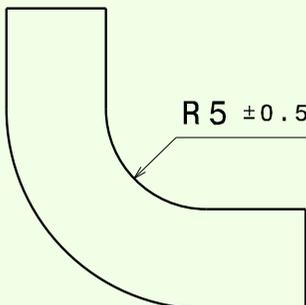


Ecritures à proscrire



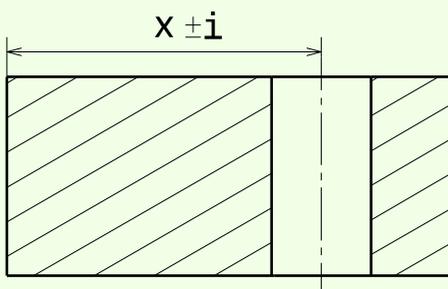
Ambigu :

Pas de points en vis à vis



Ambigu :

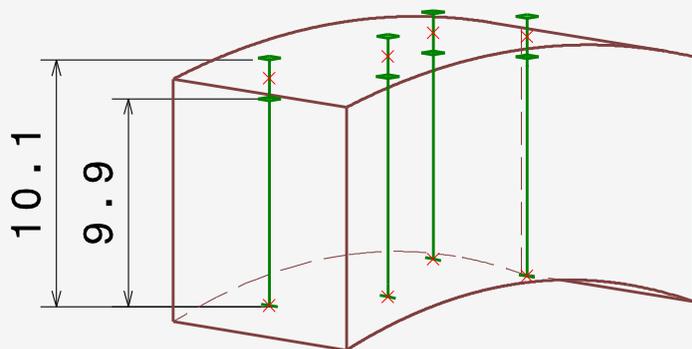
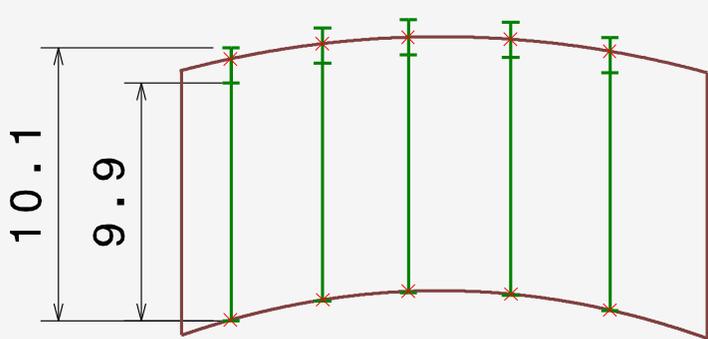
Pas de points en vis à vis



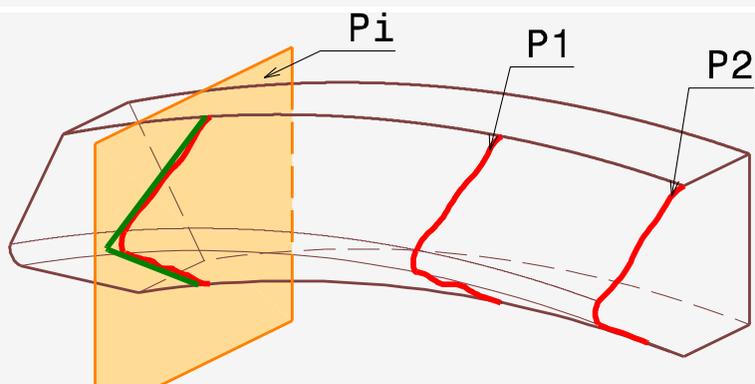
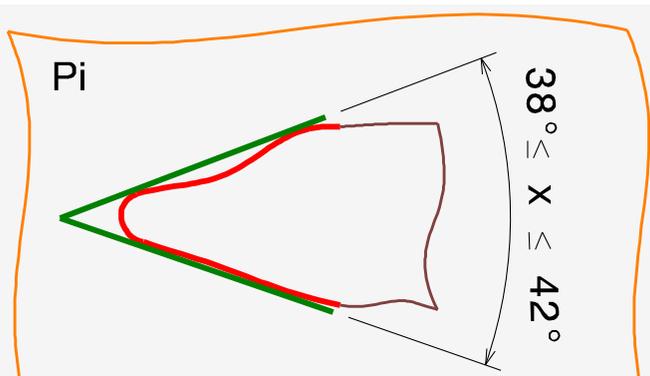
Ambigu :

Pas de points en vis à vis

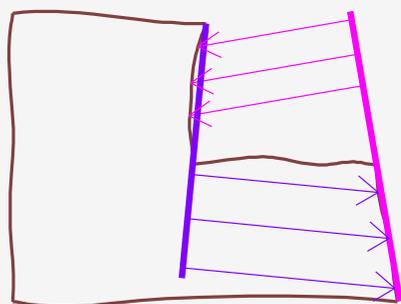
En général, le tolérancement dimensionnel local seul n'est



La direction de mesure est issue d'une association par le critère des moindres carrés

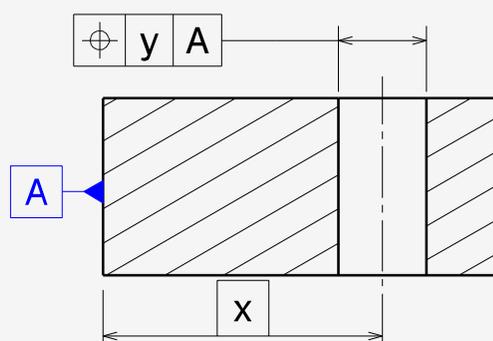
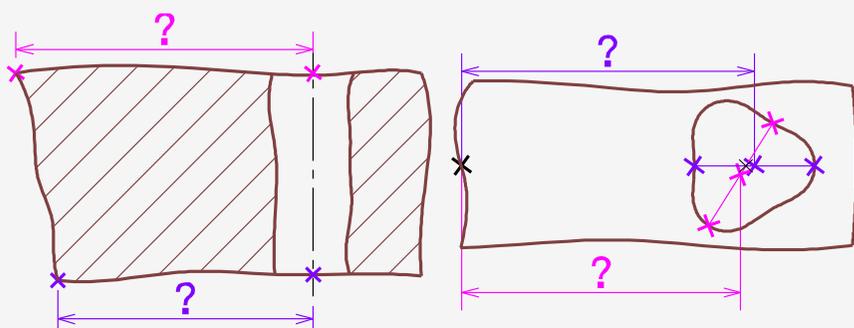
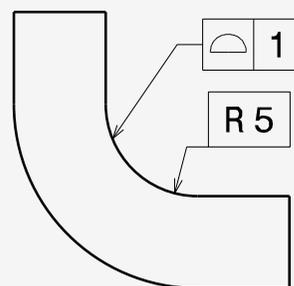
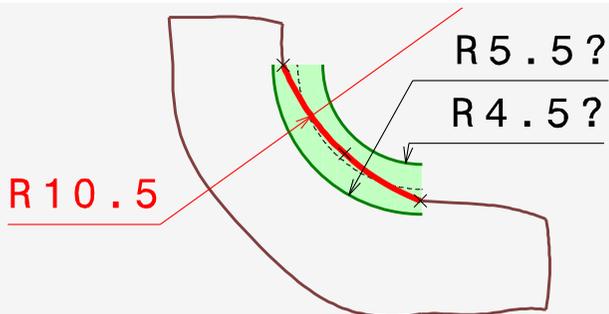
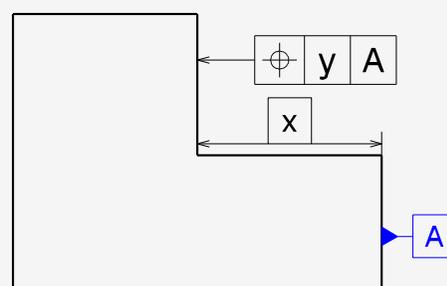


Raison de l'ambiguïté :



Mesure rose
≠
Mesure violette

Proposition pour lever l'ambiguïté :



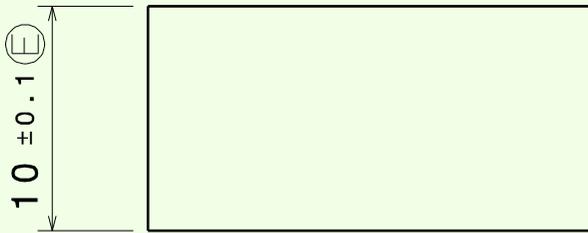
pas suffisant pour exprimer des exigences fonctionnelles.

Tolérances Dimensionnelles

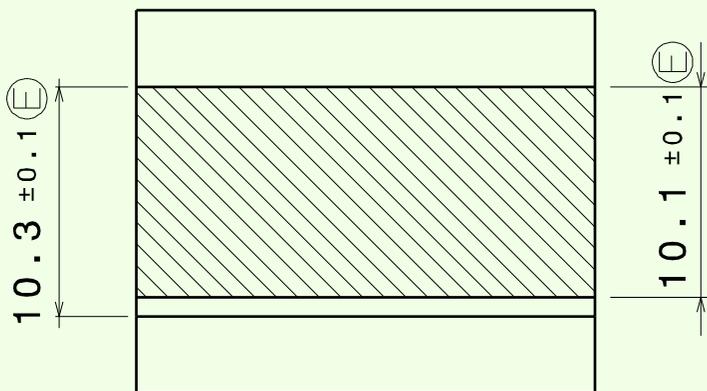
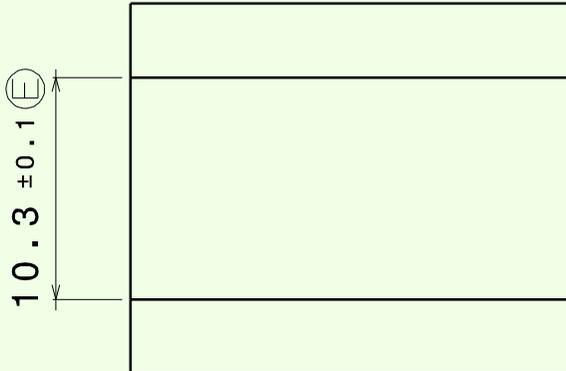
Exigence d'enveloppe

(E)

Exemple d'une cale



Exemple d'une rainure



Afin d'assurer la fonction de montabilité, il est possible d'ajouter à une taille linéaire **l'exigence d'enveloppe** (E).

Celle-ci implique que l'enveloppe de forme parfaite à la dimension au maximum de matière de l'élément ne soit pas dépassée.

Nota : Dimension au max matière

- Maxi pour une forme pleine
- Mini pour une forme creuse
- Dimension pour laquelle la pièce est la plus lourde

L'exigence d'enveloppe ne peut s'appliquer qu'à :

- Un cylindre, une sphère
- Deux plans parallèle en vis à vis et opposés



A utiliser fonctionnellement lorsqu'une pièce rentre dans une autre

(CT)

Tolérance commune

$2 \times \phi 70 \pm 0.1 \text{ (E)}$

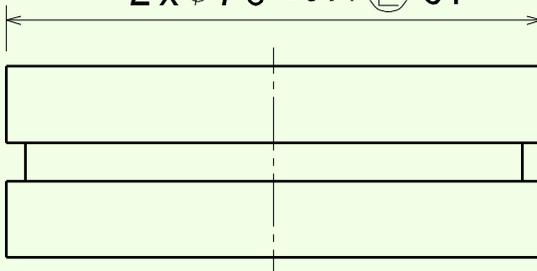


Erreur courante



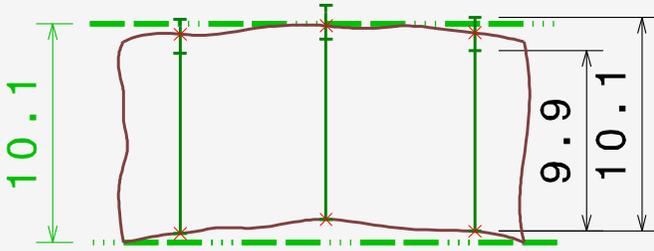
Sans le modificateur CT le principe d'indépendance s'applique.

$2 \times \phi 70 \pm 0.1 \text{ (E) CT}$

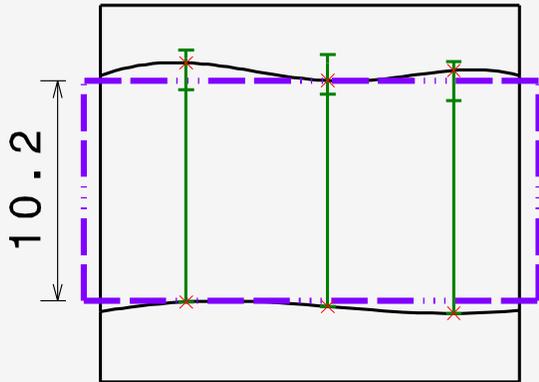


Entité dimensionnelle

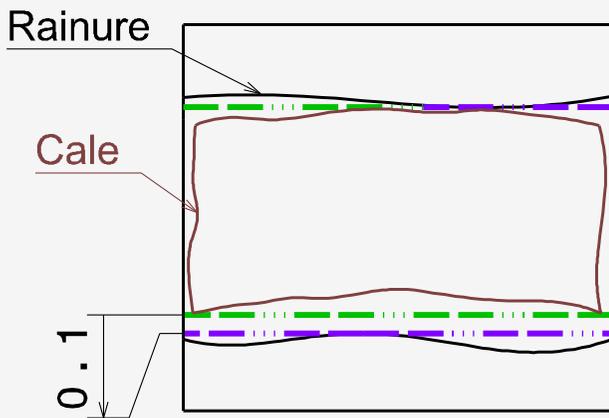
Tolérance Commune CT : plusieurs entités dimensionnelles séparées considérées comme une entité dimensionnelle à laquelle une tolérance commune est appliquée.



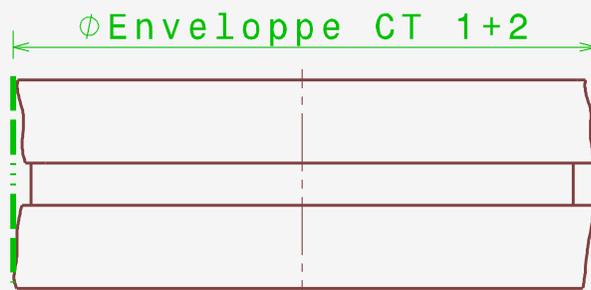
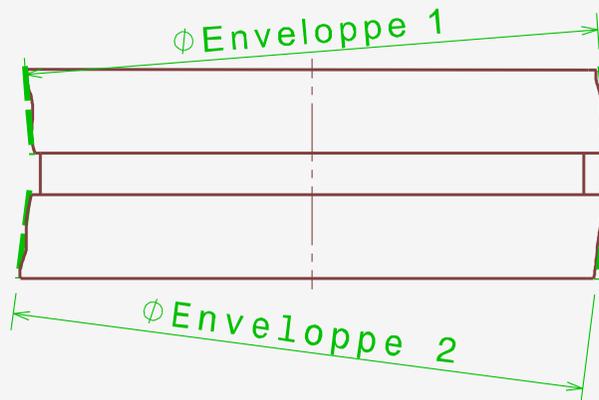
La dimension de l'enveloppe de la cale est de 10.1.



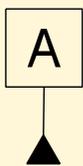
La dimension de l'enveloppe de la rainure est de 10.2.



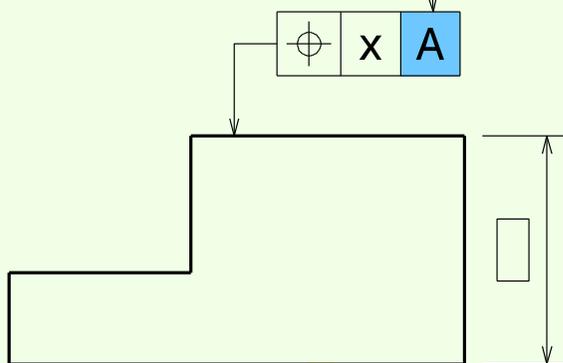
Résultat : la fonction assemblage de la cale dans la rainure est assurée avec un jeu mini de 0.1.



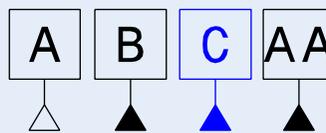
Les références



Référence spécifiée



Indicateur d'élément de référence



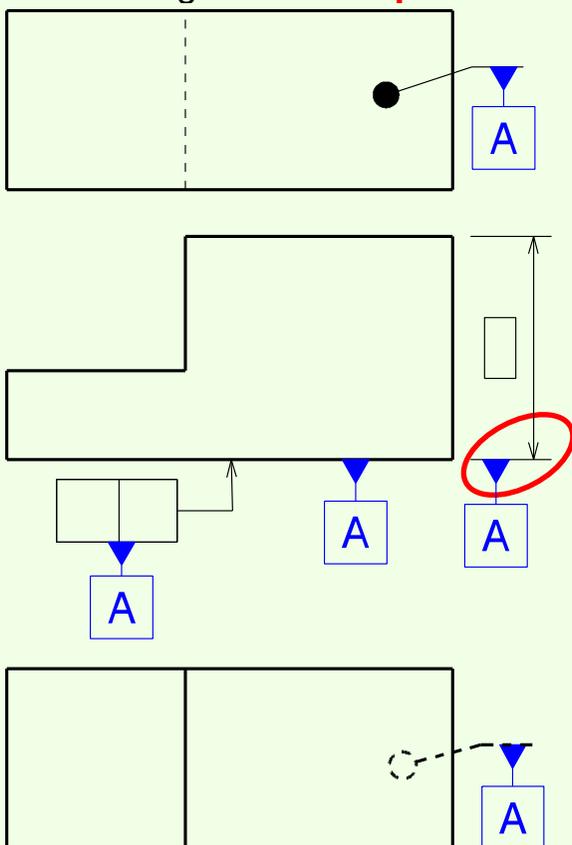
Élément de référence :

Élément réel que l'on utilise pour déterminer la position d'une référence spécifiée

Référence spécifiée :

Point, droite, plan (un ou plusieurs éléments de situation) d'un ou de plusieurs éléments associés, utilisés pour définir la position ou l'orientation d'une zone de tolérance

Désignation d'un plan



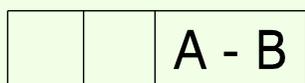
Le triangle identificateur est **séparé** de la ligne de cote

Références spécifiées

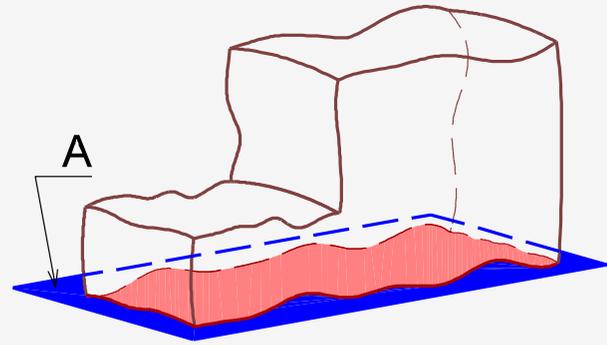
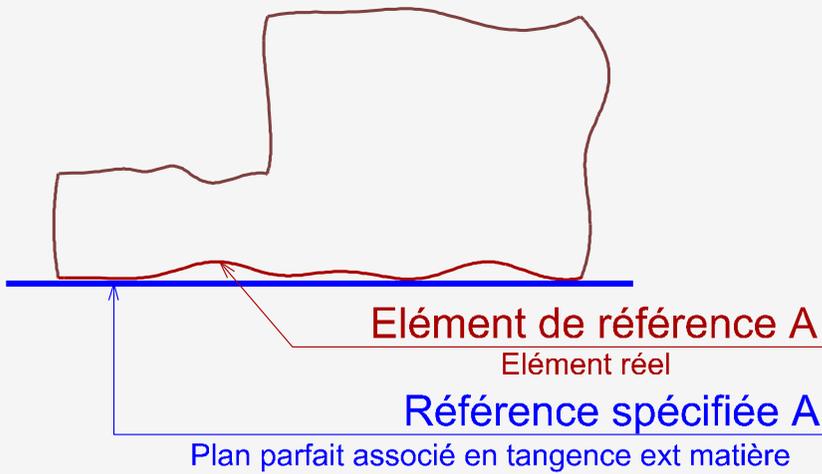
On distingue plusieurs



Référence spécifiée Simple

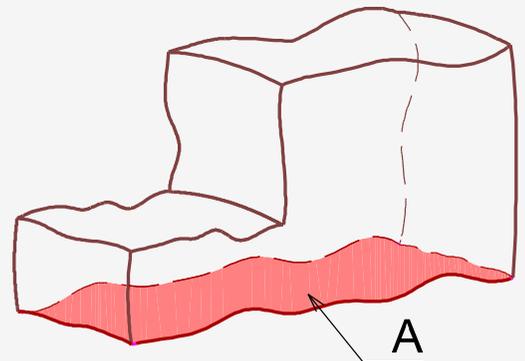
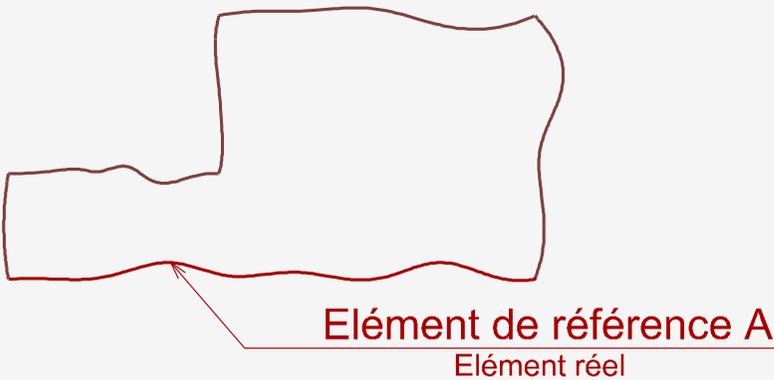


Référence spécifiée Commune

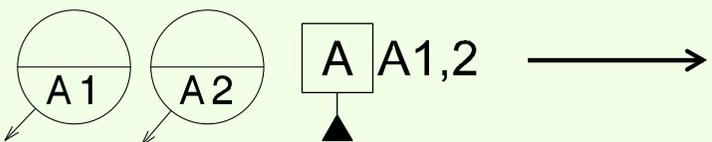


Le critère d'association utilisé par défaut pour les références spécifiées, est fondé sur le principe qui consiste à simuler le contact entre la surface ayant une forme parfaite et la surface réelle.

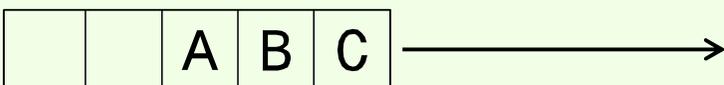
L'élément associé est tangent extérieur à la matière. Lorsque le résultat de ce processus n'est pas unique, l'élément associé à prendre en compte est celui qui réduit au minimum la distance maximale entre l'élément associé et l'élément réel :



types de références :



Références Partielles



Système de références spécifiées

Les références

A

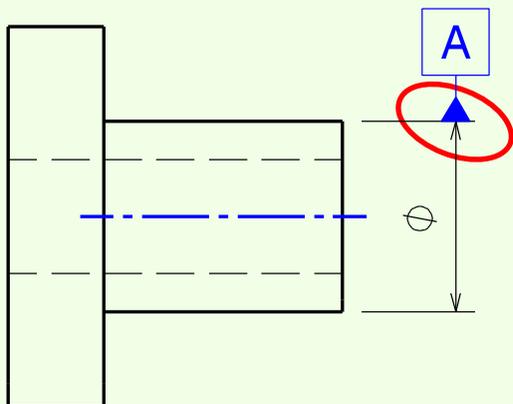
Référence spécifiée simple

Erreurs fréquentes

Référence spécifiée simple :

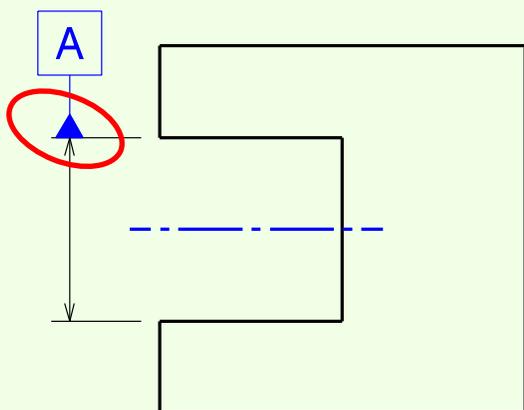
Référence spécifiée établie à partir d'un élément de référence d'une surface considérée seule ou d'une entité dimensionnelle.

Désignation de l'axe d'un cylindre

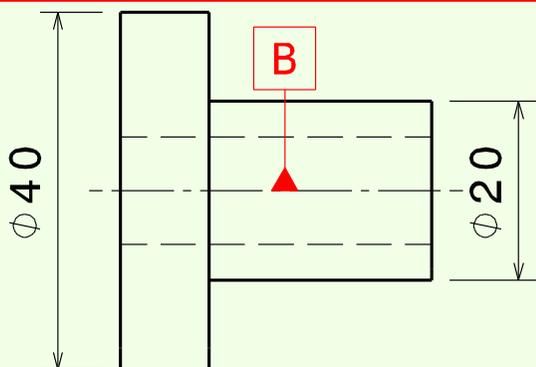


Le triangle identificateur est **dans le prolongement** de la ligne de cote

Désignation d'un plan médian



Le triangle identificateur est **dans le prolongement** de la ligne de cote

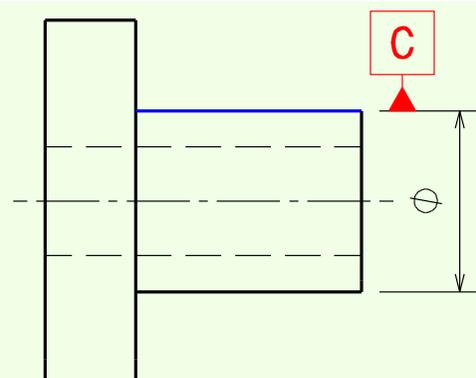


Écriture interdite :

Axe du $\phi 20$?

Axe du $\phi 40$?

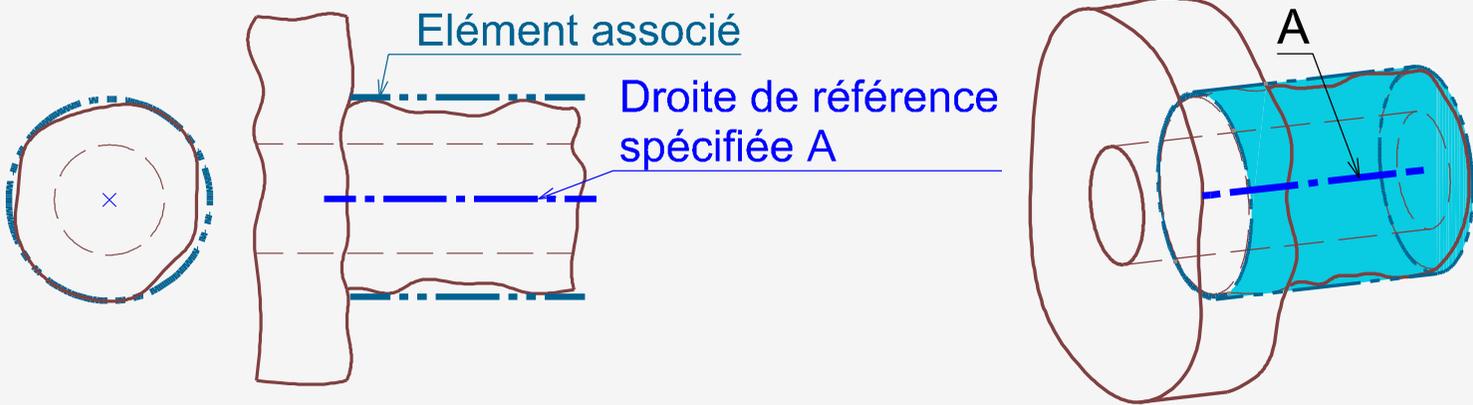
Axe commun des deux ?
Axe du cylindre intérieur ?



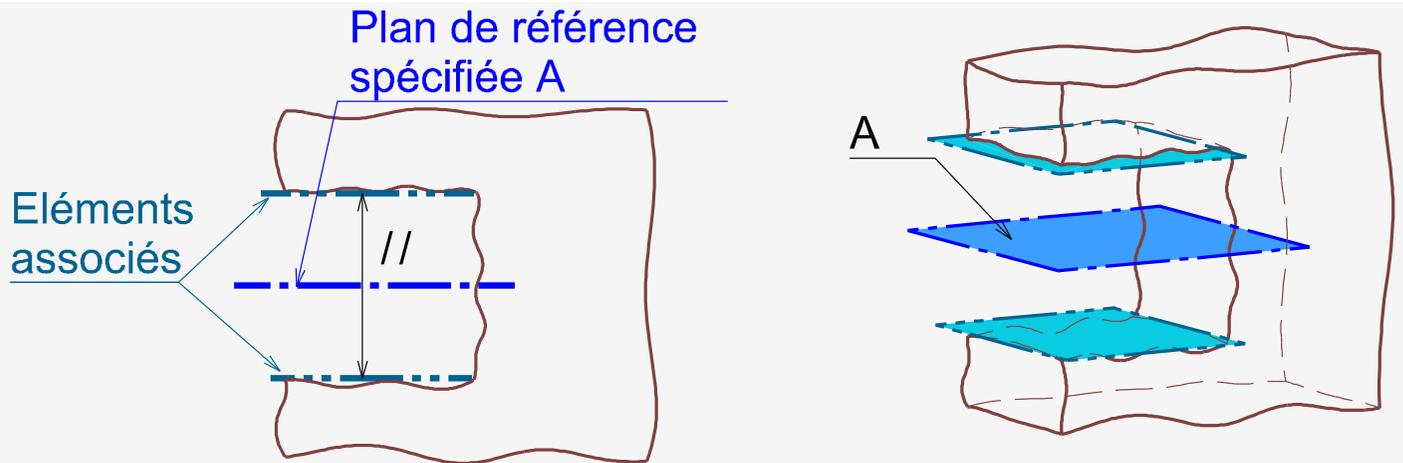
Erreur courante :

Ici la référence C, n'indique pas l'axe du cylindre mais pourrait désigner la **ligne génératrice** du cylindre

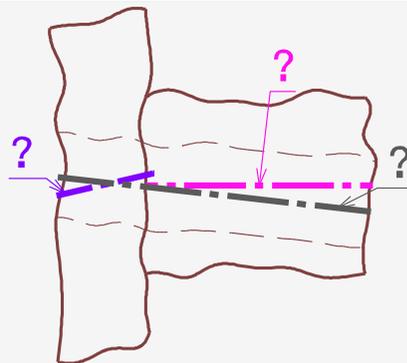
Une seule case et lettre dans la section des références spécifiées



Elément associé = plus petit cylindre circonscrit



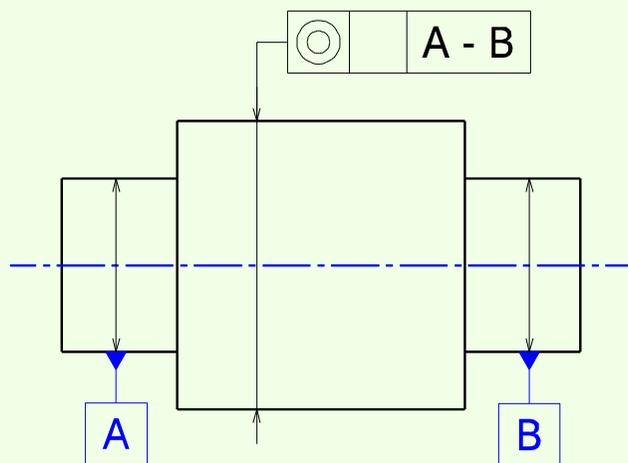
Éléments associés = 2 plans parallèles maximum inscrits



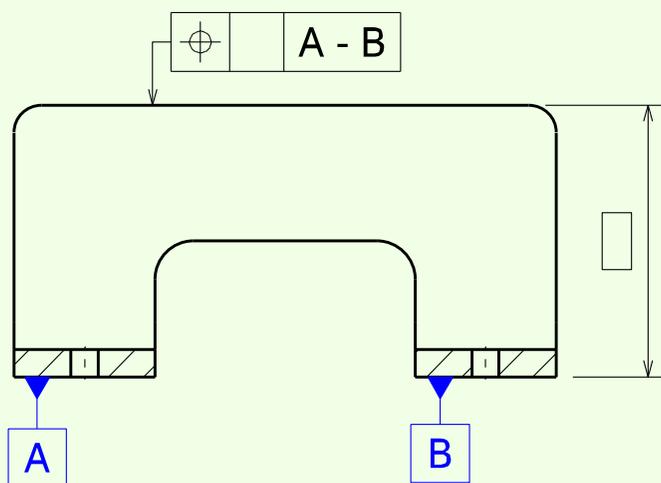
Les références

Référence spécifiée commune :

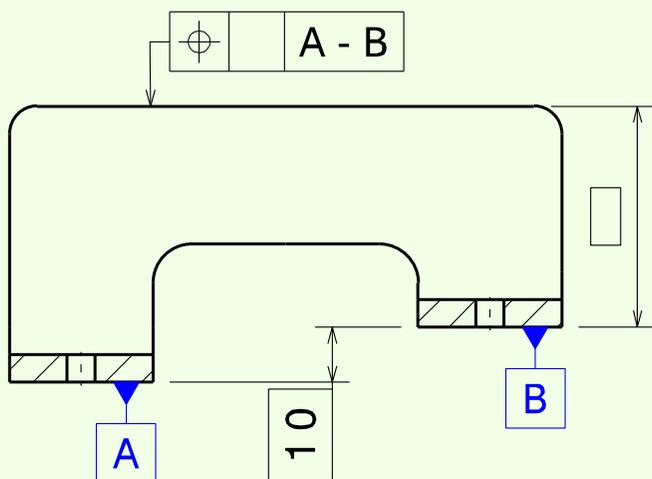
Référence spécifiée établie à partir d'au moins deux éléments de référence considérés simultanément



Référence spécifiée commune à partir de **deux axes de cylindres** théoriquement coaxiaux.



Référence spécifiée commune à partir de **deux plans**.

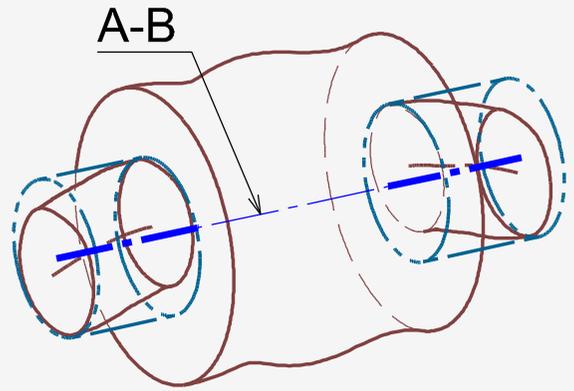
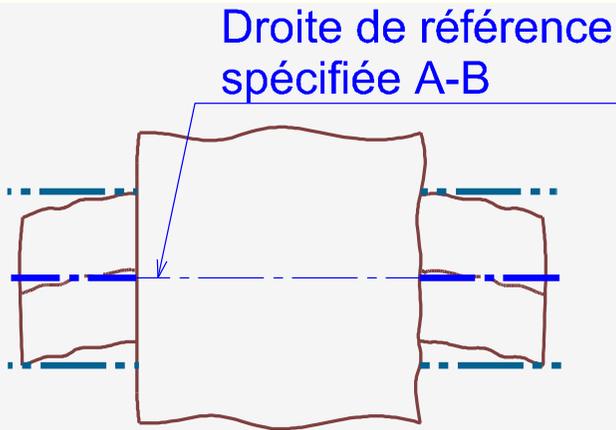


Référence spécifiée commune à partir de **deux plans décalés**.

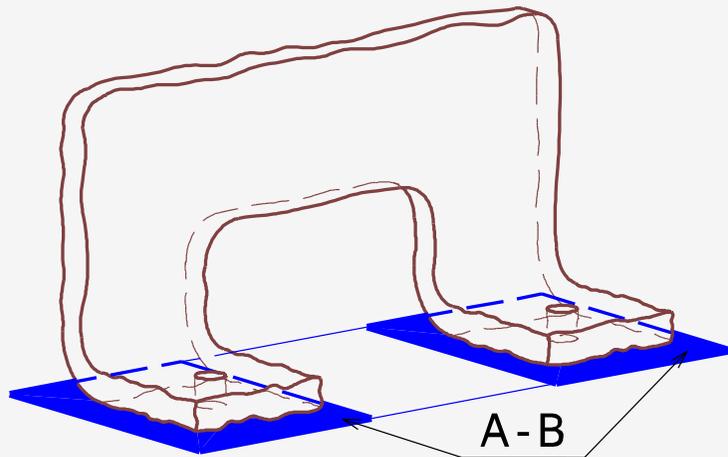
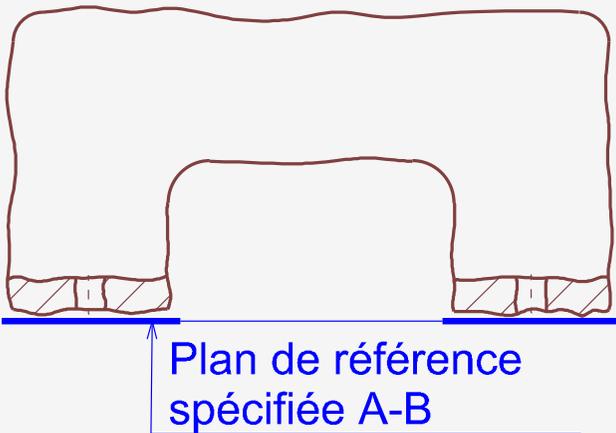
Référence spécifiée commune

A - B

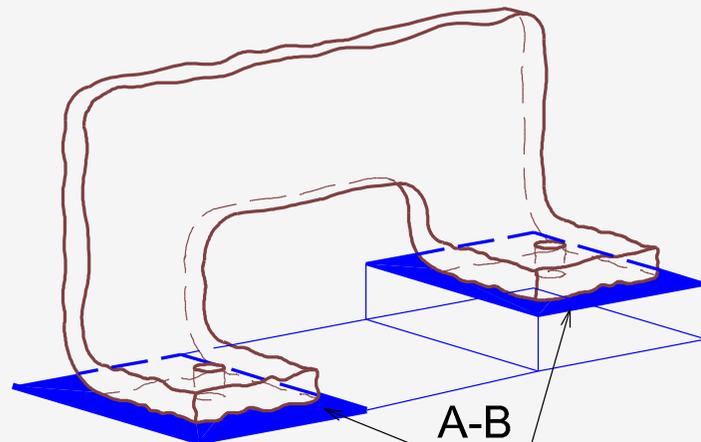
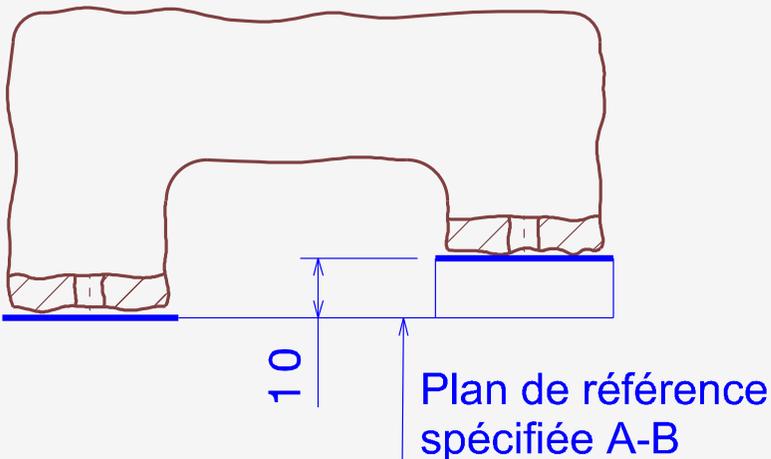
Au moins deux lettres espacées par un tiret dans la section des références spécifiées.
-Il peut y avoir plus de deux lettres et leur ordre ne change pas la signification,
-L'association est établie simultanément,
-Elles sont en position et en orientation théorique exacte (reliées par des TED sauf implicites).



2 cylindres parfaitement coaxiaux circonscrits aux surfaces cylindriques réelles.
Les éléments sont associés simultanément



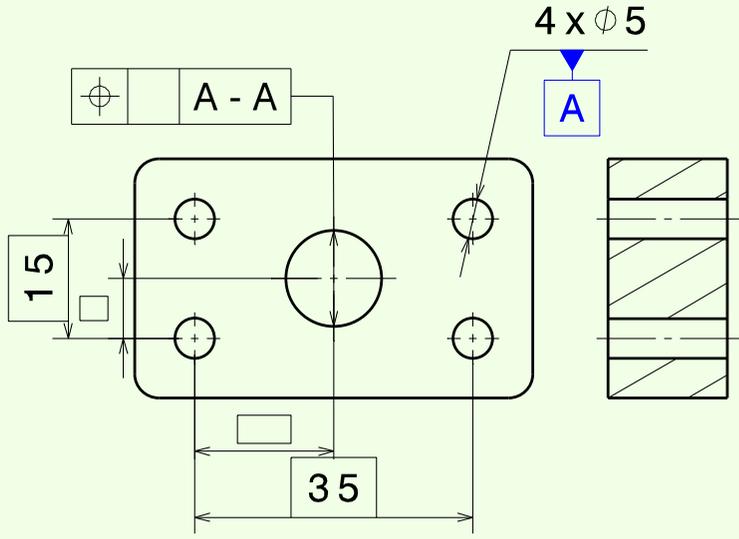
2 plans tangents extérieur matière parfaitement alignés.
Les éléments sont associés simultanément



2 plans tangents extérieur matière parfaitement décalés de 10mm.
Les éléments sont associés simultanément

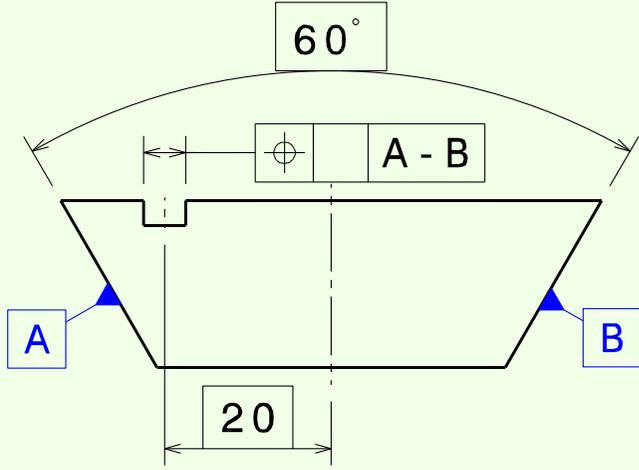
Les références

Référence spécifiée commune

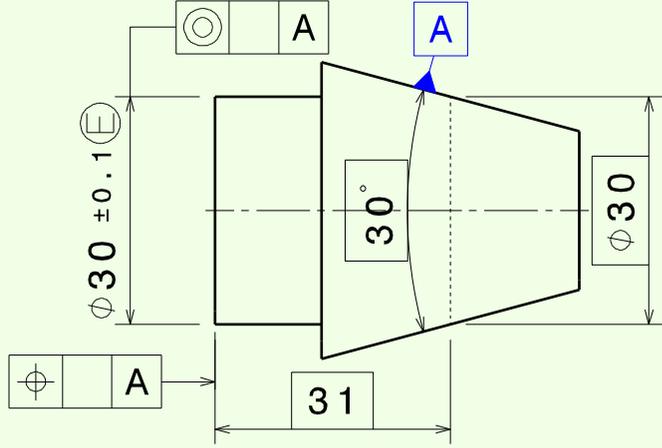


Référence spécifiée commune à partir d'axes de cylindres non coaxiaux.

Référence spé. Cône

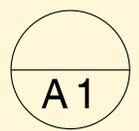


Référence spécifiée commune à partir de deux plans orientés à 60°.

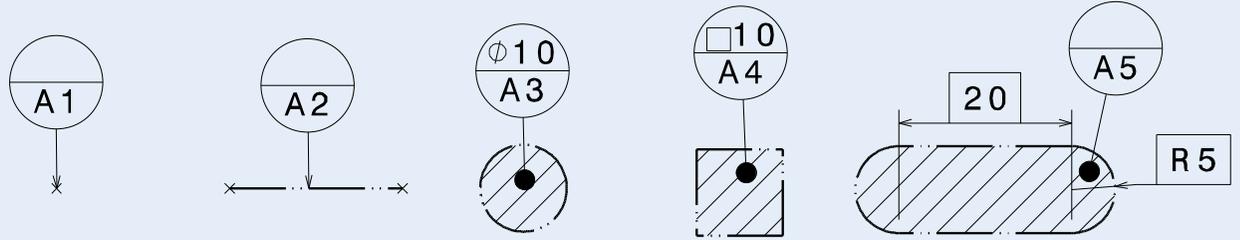


Référence spécifiée à partir d'un cône

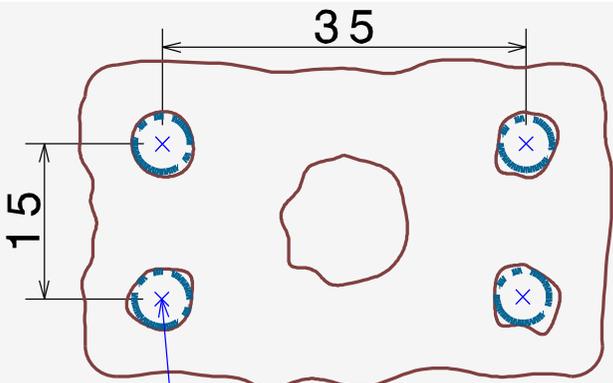
Référence partielle



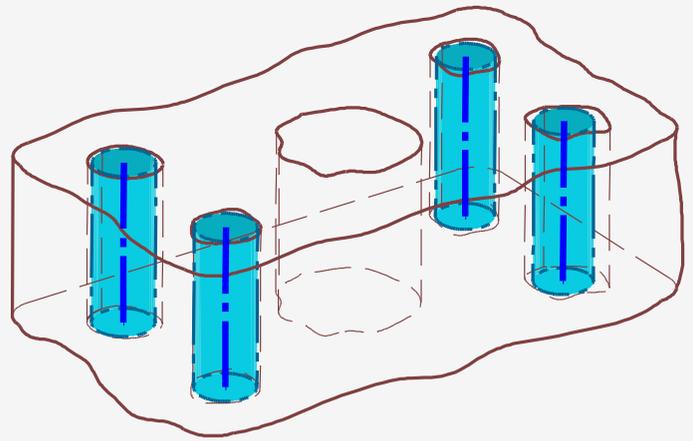
Référence partielle :



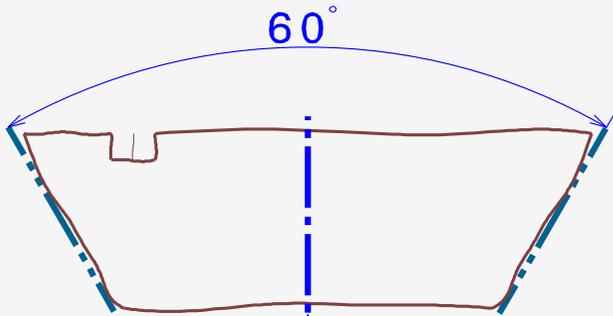
Partie d'un élément de référence qui peut être nominale un point, une portion de ligne ou une zone surfacique.



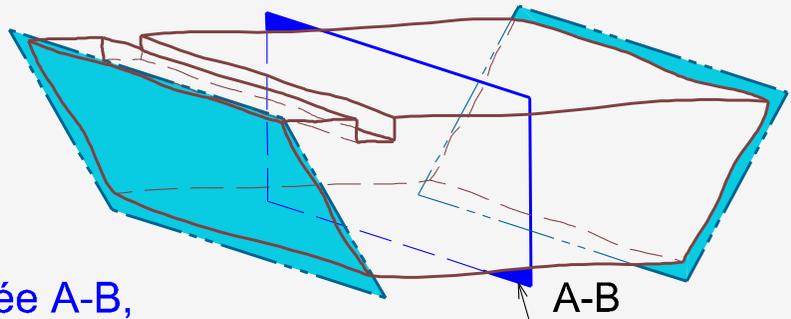
Référence spécifiée A-A
issue des 4 axes



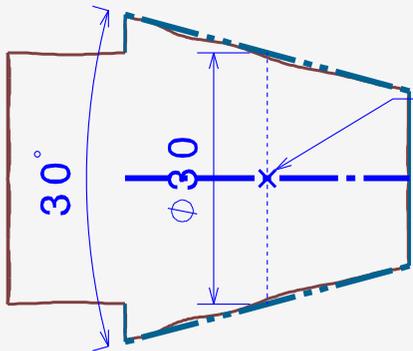
Axes des quatre cylindres les plus gros possibles en position théorique exacte.
Les éléments sont associés simultanément.



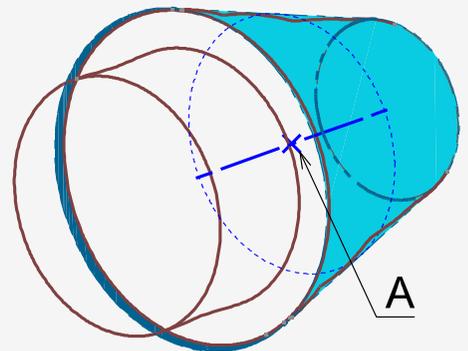
Référence spécifiée A-B,
issue des 2 plans + droite d'intersection (non représentée)



2 plans tangent extérieur matière parfaitement inclinés de 60°
Les éléments sont associés simultanément



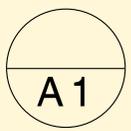
Référence spécifiée A
issue du cône de 30°
(Axe + Point)



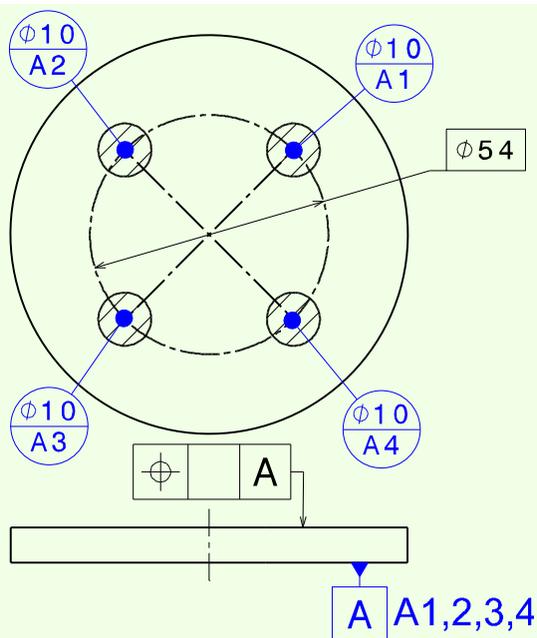
Elément associé = cône d'angle de 30° qui minimise l'écart maxi.
La référence spécifiée est l'axe et le point du plan de jauge (sommet du cône si non défini)

**Lorsque l'on utilise une (des) portion(s) d'une même surface de référence et non pas toute la surface.
Les références partielles sont en position théorique exacte.
A utiliser pour simuler les contacts fonctionnels réels entre les pièces**

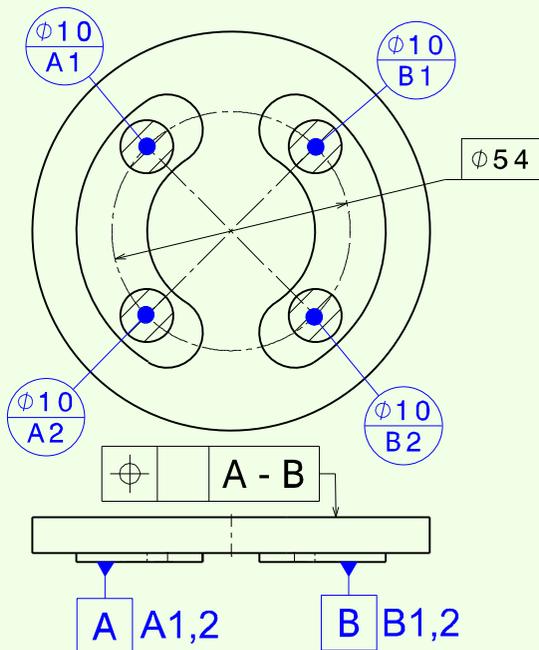
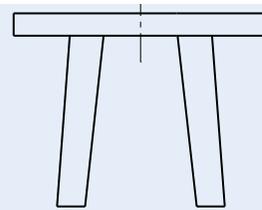
Les références



Référence partielle

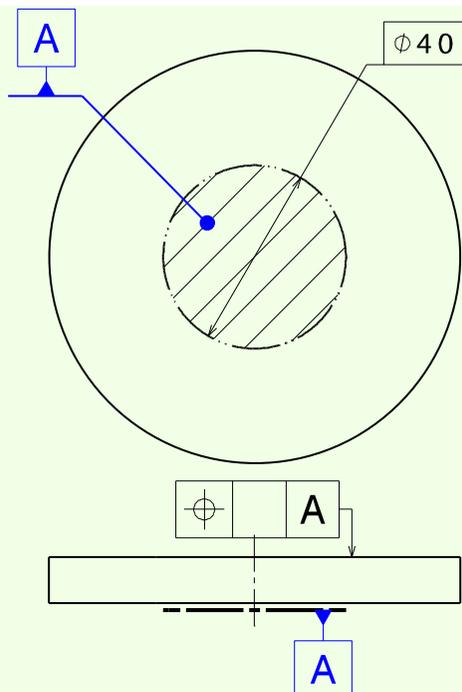
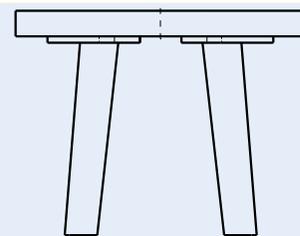


Si une référence spécifiée simple est établie à partir de références partielles n'appartenant qu'à **une seule surface**, l'identifiant d'élément de référence simple identifiant la surface doit alors être répété à proximité de l'indicateur d'élément de référence, suivi de la liste des numéros (séparés par des virgules) identifiant les références partielles.

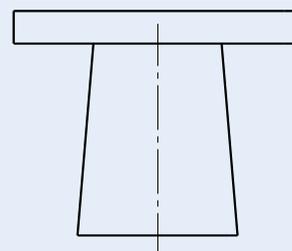


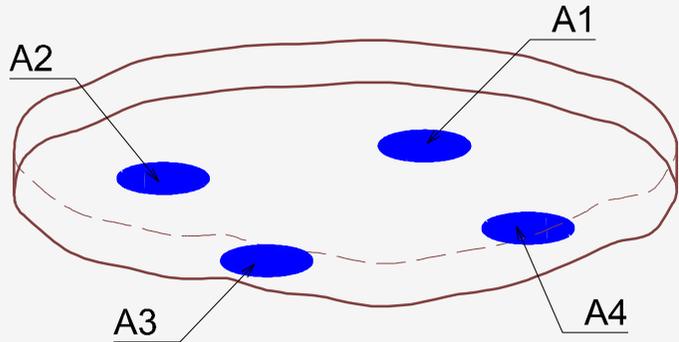
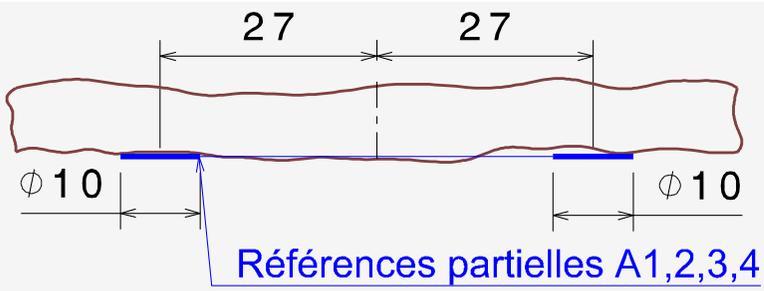
Si la référence spécifiée est établie à partir de références partielles appartenant à **plusieurs surfaces** alors l'identifiant d'élément de référence est **différent** pour chaque surface.

Nota : Une lettre différente pour chaque surface

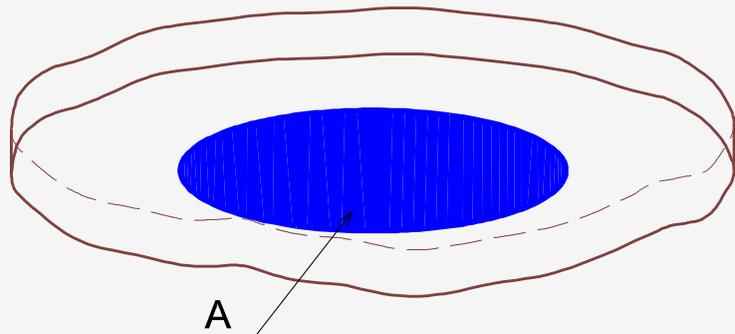
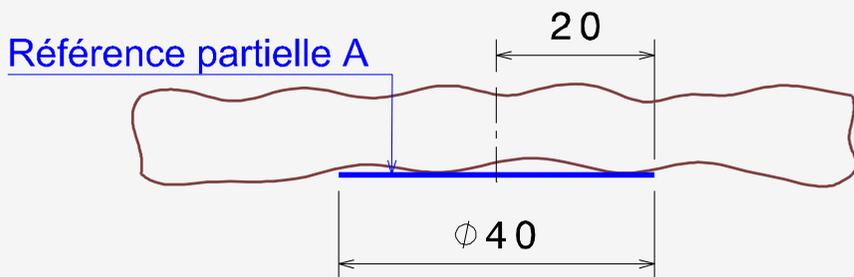
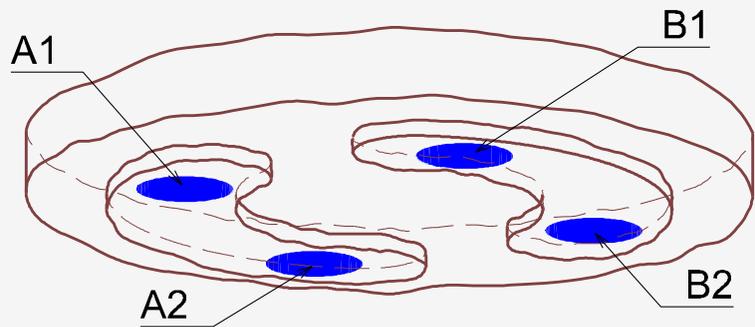
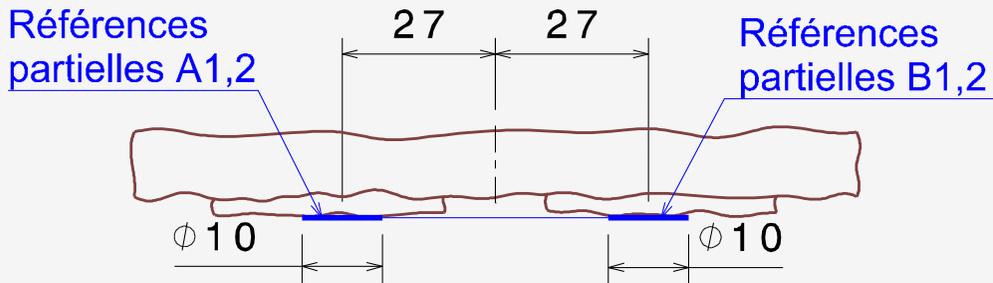


Dans le cas **d'une seule référence partielle**, il est permis de **simplifier** l'indication en plaçant l'indicateur d'élément de référence directement sur la zone





Les références partielles sont en position théorique exacte

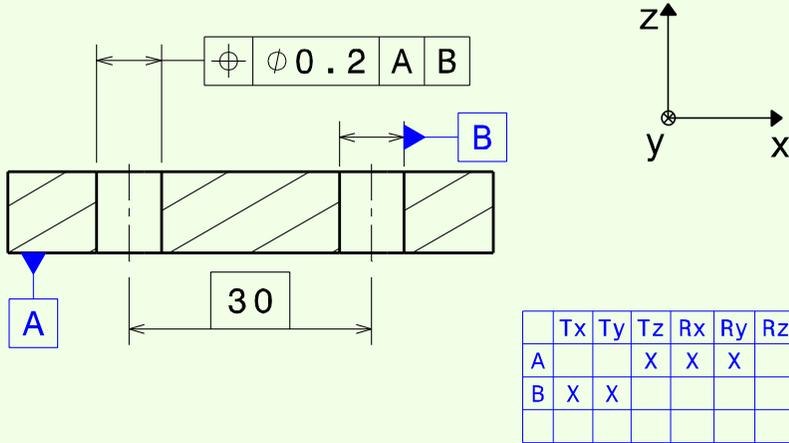


Les systèmes de références

A B C

Système de références spécifiées :

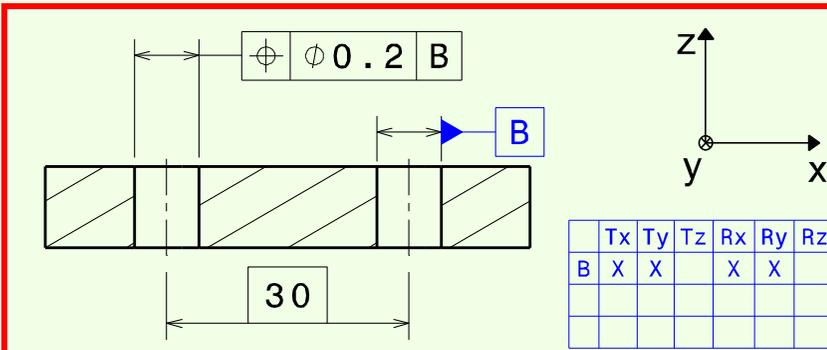
Un système de références spécifiées est constitué d'une liste ordonnée de deux ou trois références spécifiées simples ou communes.
Il représente les interfaces fonctionnelles parfaites des pièces.



Le système de références spécifiées est :

A : référence spécifiée primaire

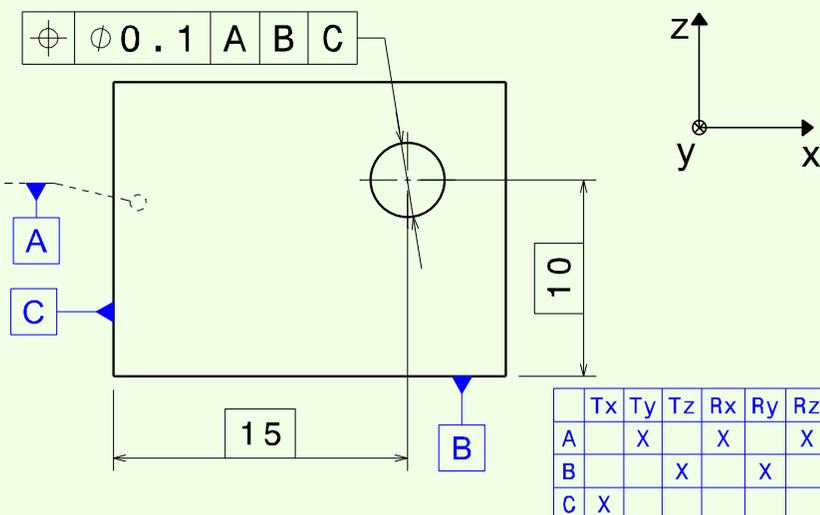
B : référence spécifiée secondaire



Erreur courante



Si la référence primaire A n'est pas spécifiée

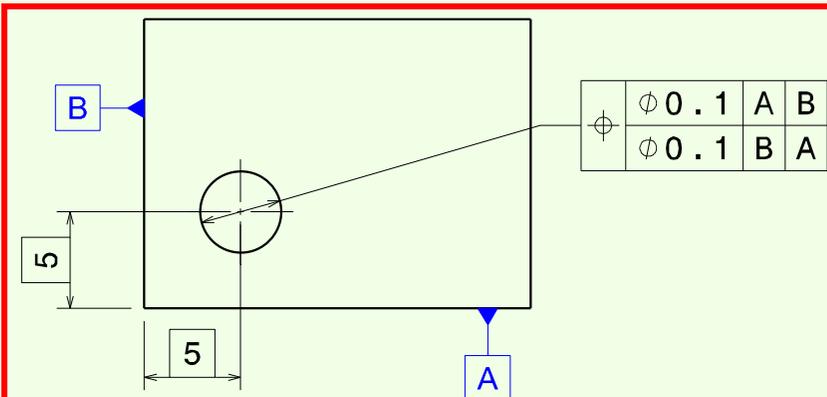


Le système de références spécifiées est :

A : référence spécifiée primaire

B : référence spécifiée secondaire

C : référence spécifiée tertiaire



Erreur courante



Changer l'ordre du système de références, modifie les résultats de la mesure

Système de références

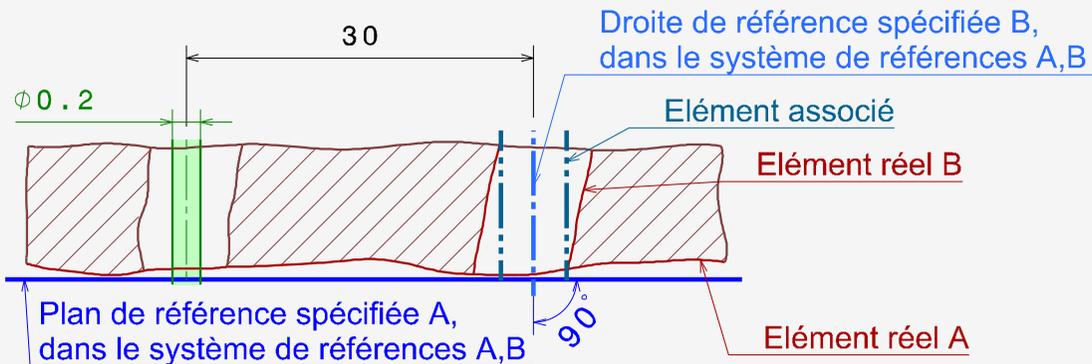


Au moins de 2 ou 3 références spécifiées (2 à 3 cases)

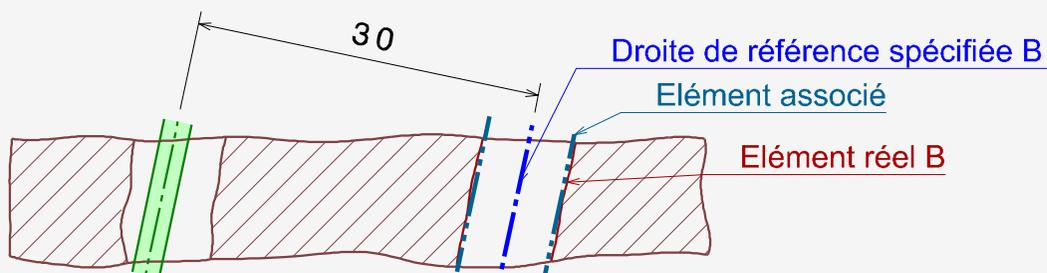
Règles implicites dans un système de références spécifiées:

B, la référence spécifiée secondaire est en orientation théorique exacte par rapport à A

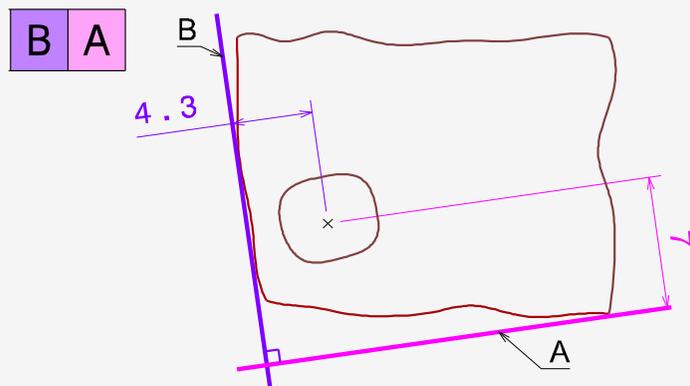
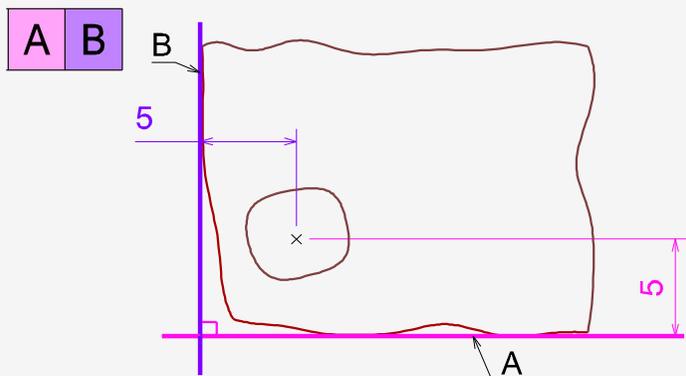
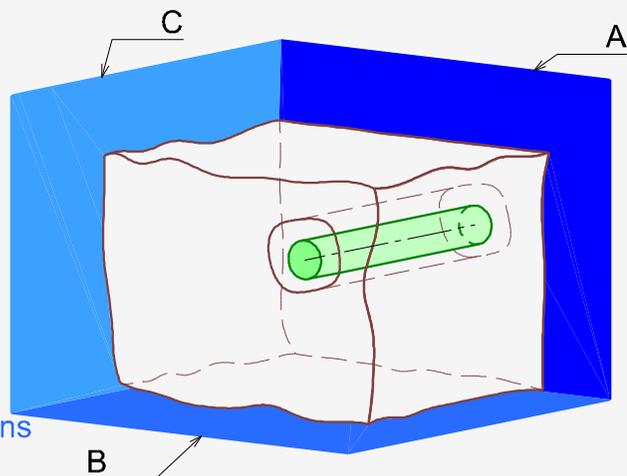
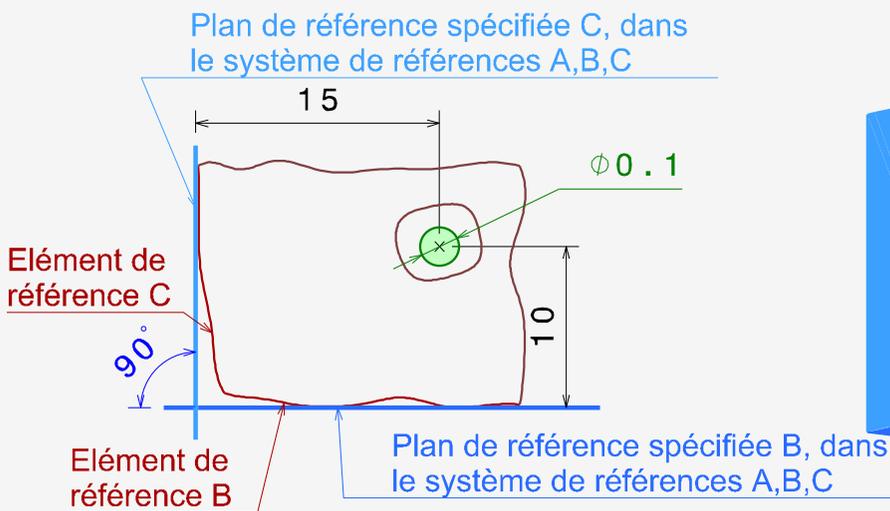
C, la référence spécifiée tertiaire est en orientation théorique exacte par rapport à A et B.



Élément associé : cylindre inscrit de Ø maximal dont l'axe est **perpendiculaire** au plan de référence spécifiée A



Élément associé : cylindre inscrit de Ø maximal

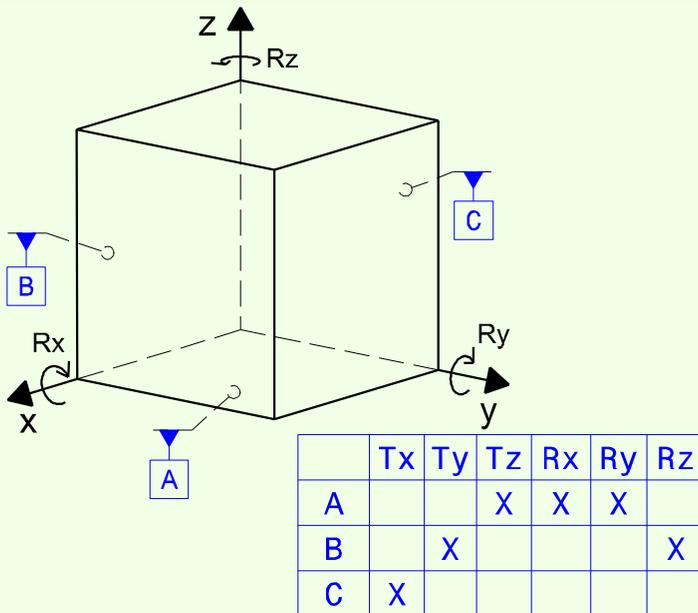


Système de références principal

Le **système de références principal** représente l'environnement parfait qui a donné la **position finale** de la pièce dans l'espace pendant son **fonctionnement**. L'environnement peut être :

- L'interface parfaite sur laquelle la pièce est en contact,
- Un moyen d'assemblage.

Il va servir de repère ou d'origine pour tolérer des éléments, permettre d'orienter la gamme de fabrication, de dégauchir la pièce en métrologie et de définir la position et/ou l'orientation d'une zone de tolérance.



Système de références **A B C** :

La référence A bloque : la translation suivant Tz, et les rotations Rx et Ry
= 3 points de contact théorique

La référence B bloque : la translation suivant Ty, et la rotation Rz,
= 2 points de contact théorique

La référence C bloque : la translation suivant Tx.
= 1 point de contact théorique

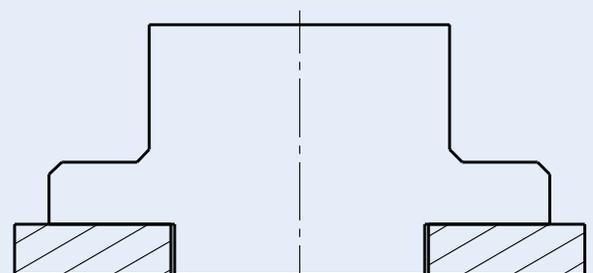
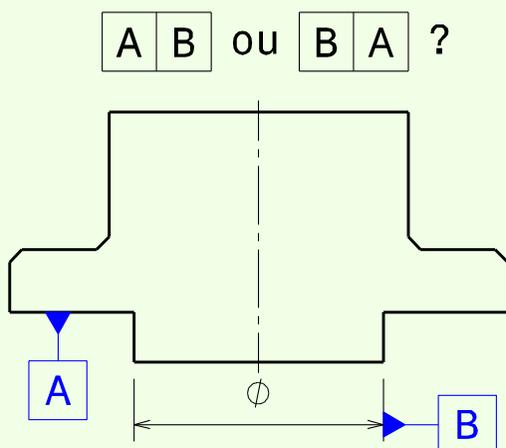
Le repère géométrique :

L'orientation du repère doit être commune à une même équipe projet et est propre au secteur d'activité.

Idéalement, l'axe Z sera orienté vers le haut (sens de gravité).

Les efforts :

L'ordre des références du système de références principal peut dépendre des efforts exercés sur la pièce **une fois celle-ci assemblée**. Il est nécessaire de connaître la méthode d'assemblage pour le déterminer.



Lorsque la pièce est serrée sur une référence de type plan, il est fréquent que cette référence soit la primaire

Isostatisme :

Un volume a 6 degrés de liberté :

- 3 translations suivant Tx, Ty, Tz
- 3 rotations suivant Rx, Ry et Rz.

Les références qui composent le système de références principal sont données par les surfaces de contact avec son interface fonctionnelle et/ou un moyen d'assemblage.



S'il est spécifié sur un plan un système

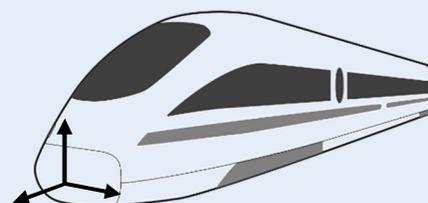
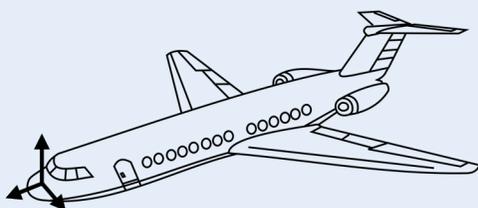
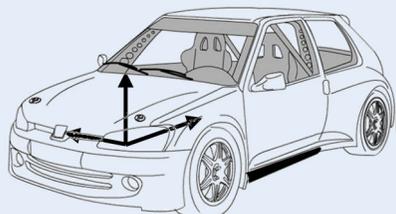
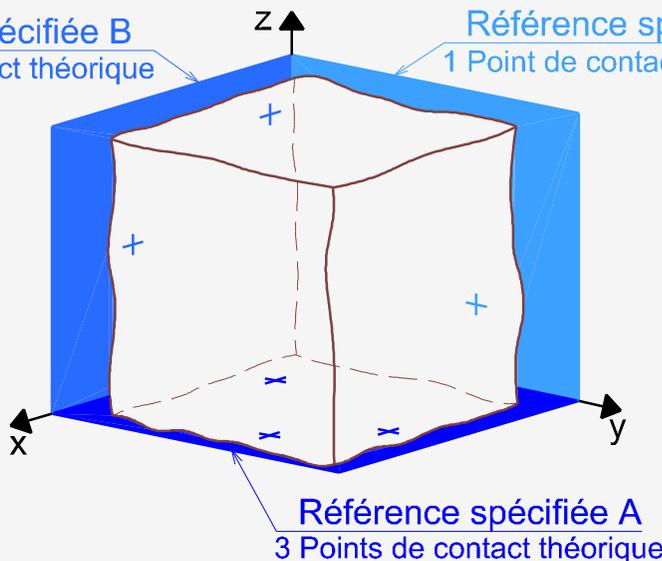
A B C ou D-E F G,

on est censé **retrouver uniquement** des spécifications du type :

A	B	C	D-E	F	G
A	B	D-E	F		
A	D-E				

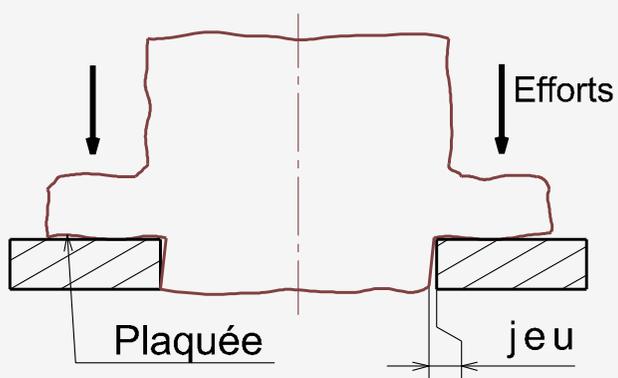
Référence spécifiée B
2 Points de contact théorique

Référence spécifiée C
1 Point de contact théorique

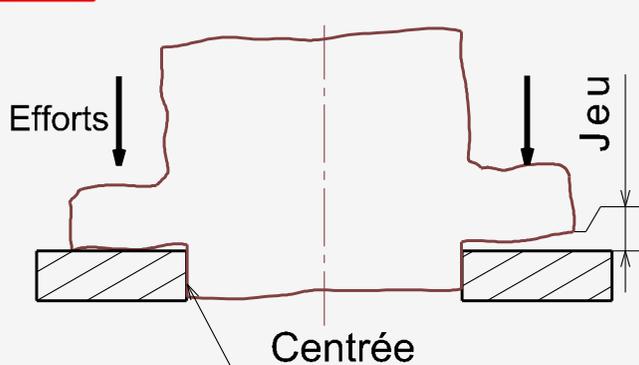


Ce n'est pas l'ordre de passage des éléments au moment du montage qui détermine le système de références mais bien la position de la pièce une fois celle-ci assemblée.

Isostatisme Correct A B



Isostatisme Incorrect B A



Tolérancement Géométrique : Généralités

Zone de Tolérance :

Portion d'espace de géométrie parfaite, devant contenir l'élément réel et dont les frontières dépendent de la caractéristique tolérancant :

- La **Forme**,
- L'**Orientation**,
- La **Position**,
- Le **Battement**

Une **tolérance géométrique** est exprimée sur un dessin par :

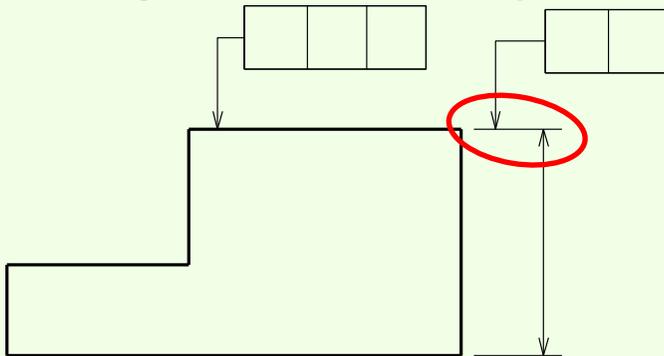
- Une flèche désignant l'élément tolérancé
- Un cadre de tolérance contenant les caractéristiques du tolérancement.

Nota : La valeur de la tolérance est en mm (jamais en degré).

La largeur de la **zone de tolérance** est dans la direction de la flèche joignant le cadre de tolérance, sauf si la valeur de tolérance est précédée du signe \emptyset .

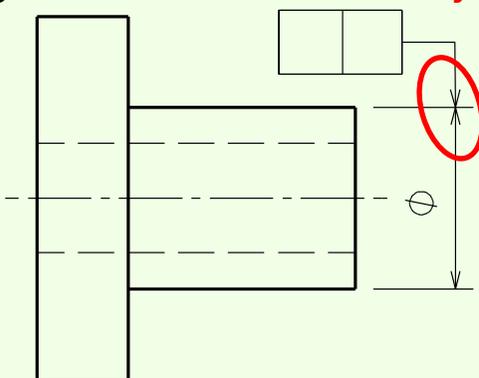
Par défaut, la zone de tolérance est symétrique par rapport à l'élément nominal.
Ex : une localisation de 0.1 est équivalent à ± 0.05 par rapport à l'élément nominal.

Désignation d'une surface plane



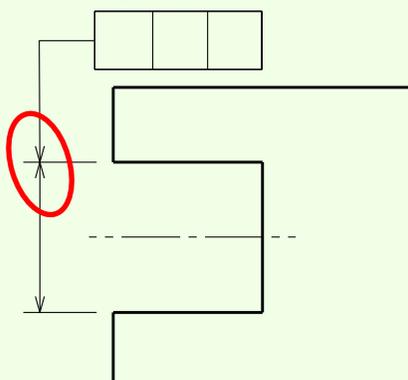
La ligne d'attache est séparée de la ligne de cote.

Désignation de l'axe réel d'un cylindre



La ligne d'attache est dans le prolongement de la ligne de cote.

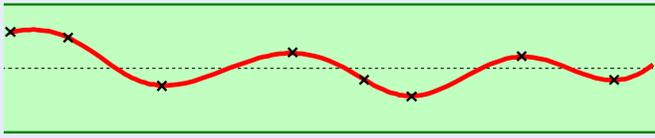
Désignation de la surface médiane extraite



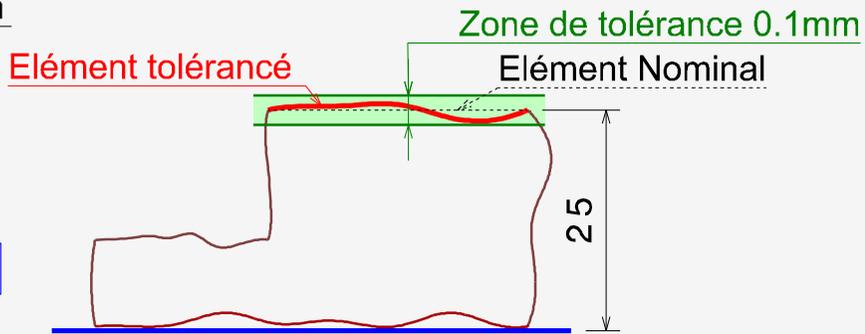
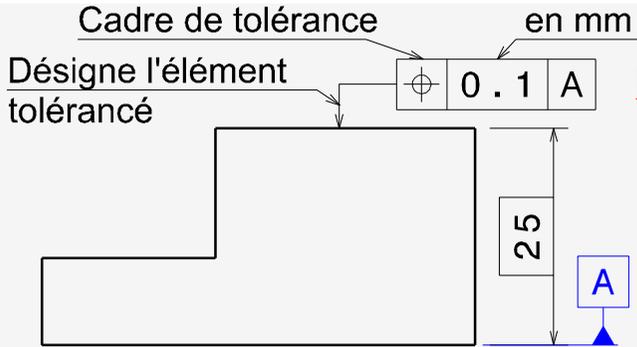
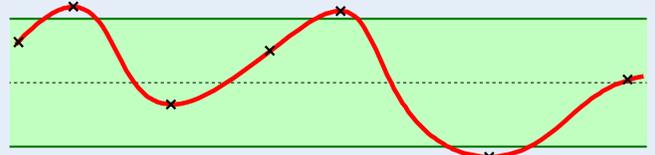
La ligne d'attache est dans le prolongement de la ligne de cote.

L'**élément tolérancé** est conforme à la spécification si tous ses points sont à l'intérieur de la zone de tolérance.

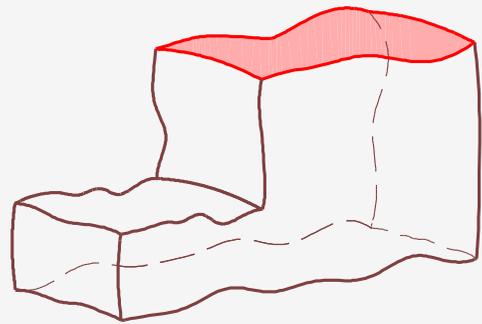
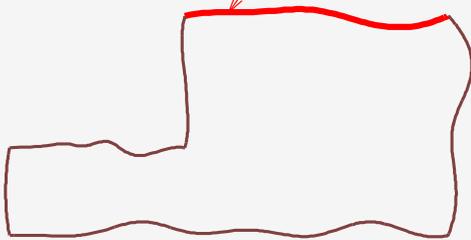
L'élément tolérancé est **conforme**



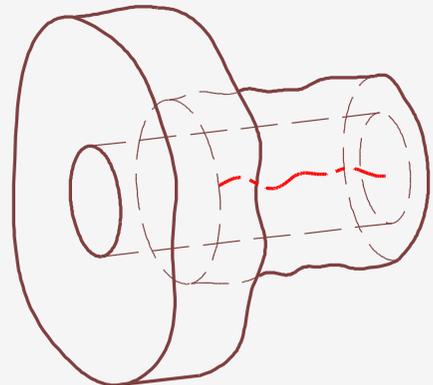
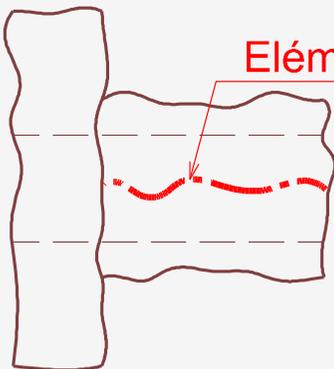
L'élément tolérancé n'est **pas conforme**



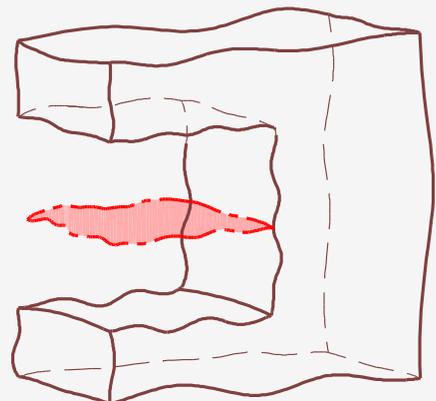
Élément tolérancé



Élément tolérancé



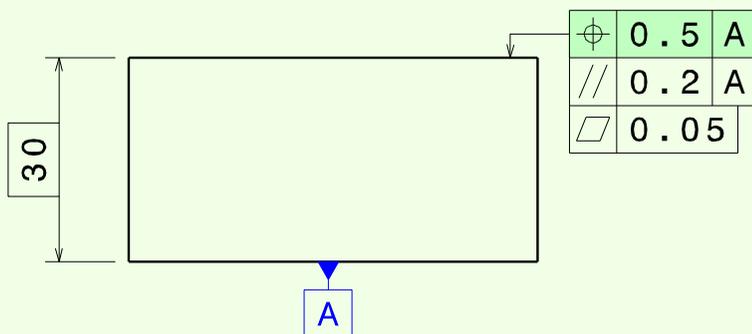
Élément tolérancé



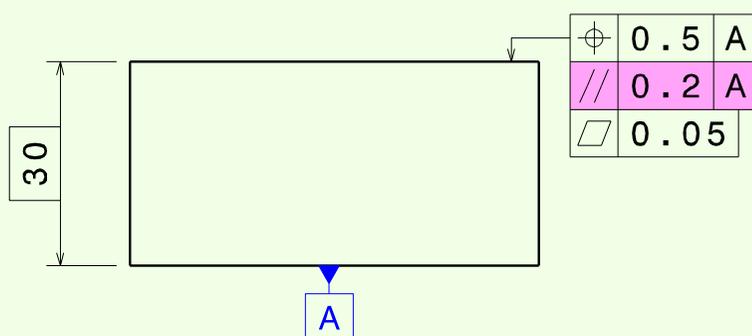
Inclusion des tolérances géométriques

Logique des inclusions des tolérances géométriques

La position inclut l'orientation qui inclut la forme.



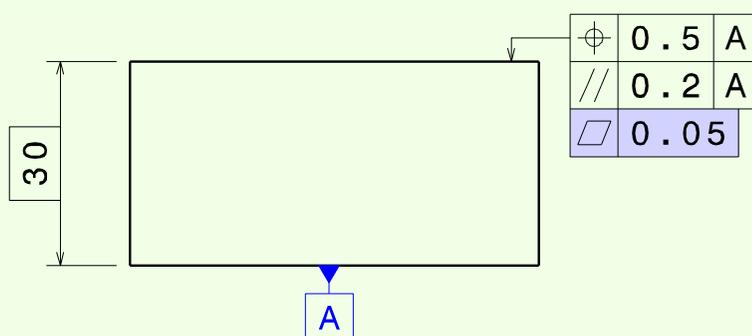
La **zone de tolérance de position** est fixée par la TED de 30 mm par rapport à la référence spécifiée A.



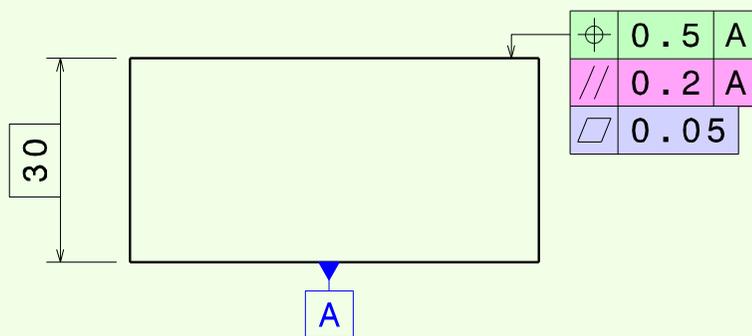
La **zone de tolérance d'orientation** est parallèle à la référence spécifiée A.



Cette zone n'est pas fixe par rapport à A.

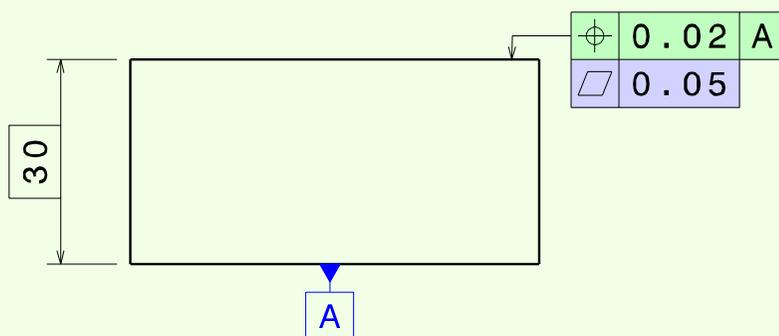


Zone de tolérance de forme qui s'adapte à la surface.



La **ZT de la localisation** inclut la **ZT du parallélisme** qui inclut la **ZT de la planéité**.

Nota : pour la même référence A



Erreur courante



La tolérance de forme ne peut pas être supérieure à la tolérance de position.

Nota : L'inclusion est appliquée dans le cas d'un même système de références spécifiées pour la position et l'orientation.

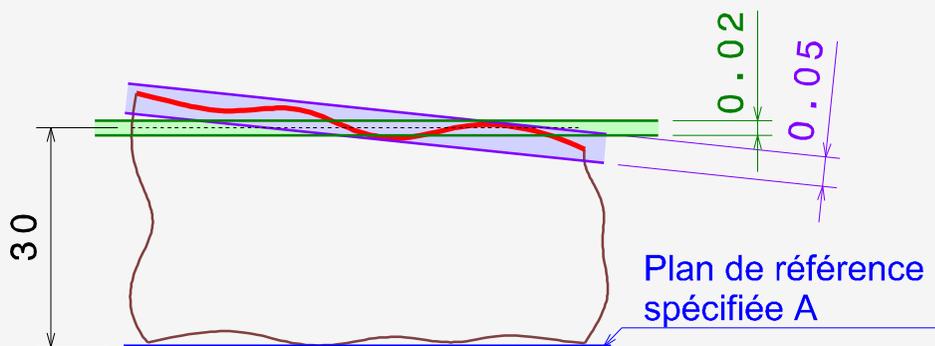
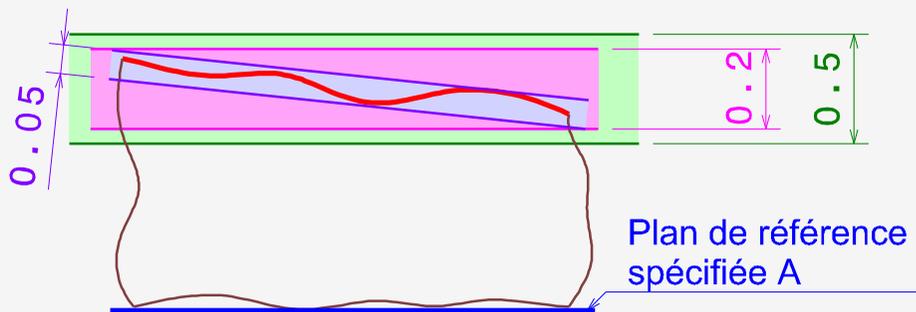
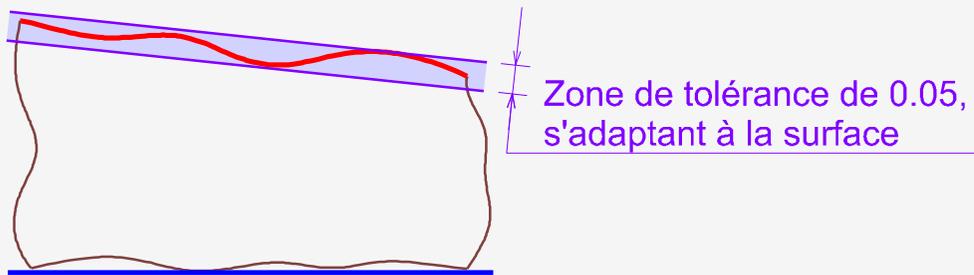
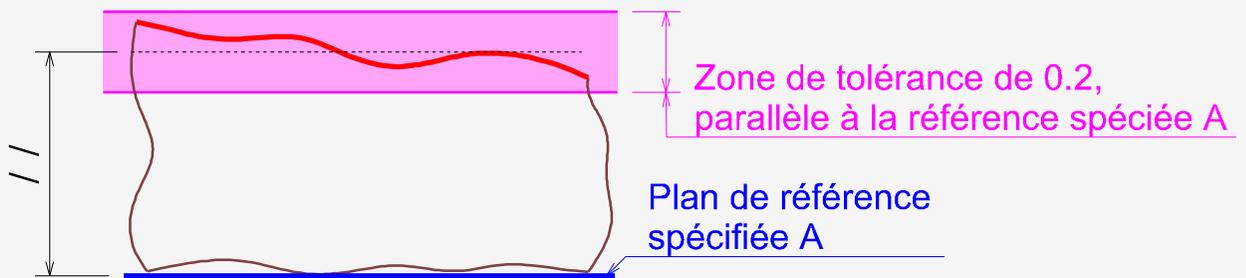
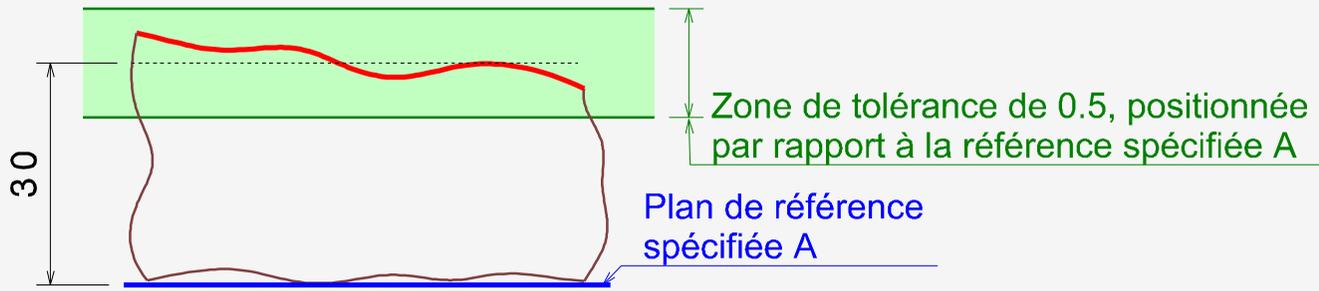
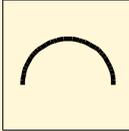
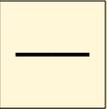
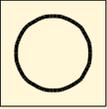
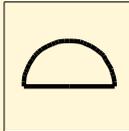
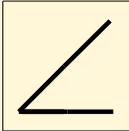
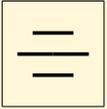
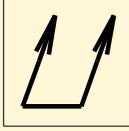


Tableau des symboles géométriques

	Cas général		Cas particulier	
Tolérances de Forme	Profil d'une ligne (Quelconque)		Rectitude	
			Circularité	
	Profil d'une surface (Quelconque)		Planéité	
			Cylindricité	
Tolérances d'Orientation	Inclinaison		Parallélisme	
	Profil d'une ligne Profil d'une surface (avec référence)	 	Perpendicularité	
Tolérances de Position	Localisation Point, ligne droite, surface plane		Concentricité / Coaxialité	
	Profil d'une ligne Profil d'une surface (avec référence)	 	Symétrie	
Tolérances de Battement	Circulaire (simple)		Radial Axial Quelconque	
	Total (double)			

Cas d'utilisation

A utiliser pour :

-**Limiter les déformations** lors d'un assemblage sur une référence primaire, étanchéité, ...

- Formes linéiques : lorsqu'il y a un **contact linéique** en référence primaire
- Formes surfaciques : lorsqu'il y a un **contact surfacique** en référence primaire

Nota : Si la référence primaire est une **zone commune**, il faut limiter son défaut de forme en **Zone Combinée** (zone commune).

-**Limiter un encombrement**, exemple :

- Un cylindre long dont le défaut de forme **ne peut pas** tenir dans l'IT dimensionnel + (E).
Encombrement = Dimension maxi + Cylindricité
- Deux portées cylindriques en référence primaire tolérancées en dimensionnel + (E).
Encombrement = Dimension maxi enveloppe + Rectitude en Zone Combinée (CZ)

-**Diminuer l'incertitude** de mise en référence en métrologie.

-**Limiter l'effet de cumul** des défauts de forme.

S'applique pour des lignes nominalement droites et des surfaces nominalement planes.

A utiliser pour :

-Une **fonction assemblage en référence secondaire** :

ex. centrage court ($\varnothing_{\text{trou}_{\text{min}}} - \perp_{\text{trou}} > \varnothing_{\text{cyl}_{\text{max}}} + \perp_{\text{cyl}}$), ...

Nota : Si la référence secondaire est une **zone commune**, il faut limiter son défaut d'orientation en **Zone Combinée** (zone commune).

-Limiter les **comportements non linéaires** (effet bras de levier) en restreignant la zone de tolérance de position.

A utiliser pour :

-Positionner les **références secondaire ou tertiaire** par rapport aux précédentes afin de satisfaire une fonction assemblage ou positionner un groupe d'éléments en référence primaire.

Nota : Si les références secondaire ou tertiaire sont en **zone commune**, il faut limiter leur défaut de position en **Zone Combinée** (zone commune).

-Positionner **les interfaces** d'autres pièces.

-**Limiter un encombrement** : ex. tolérances générales de profil surfacique par rapport au système de références principal.

S'applique lorsqu'il y a un **mouvement relatif de rotation** entre deux pièces.

A utiliser pour :

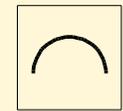
-**Limiter les vibrations (balourds)** : l'alignement du centre de gravité sur l'axe de rotation (équilibrage statique) n'est pas suffisant. Il faut aligner un des axes principaux d'inertie sur l'axe de rotation (équilibrage dynamique) pour limiter un balourd. Ces axes principaux d'inertie sont facilement identifiables avec un logiciel de CAO.

-Assurer une **régularité de mouvement**.

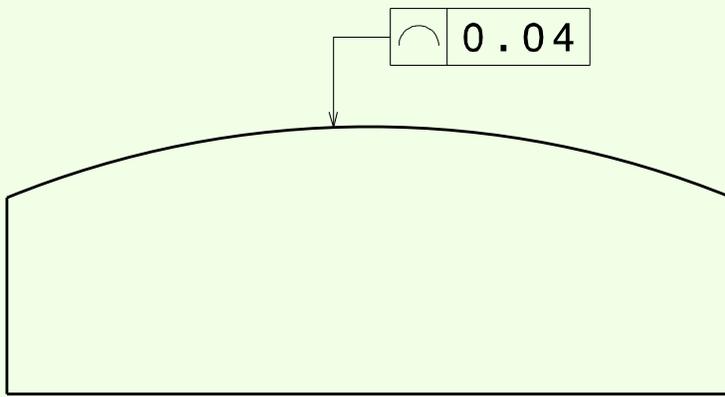
Symbole

Plan

Définition



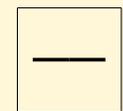
Profil d'une Ligne



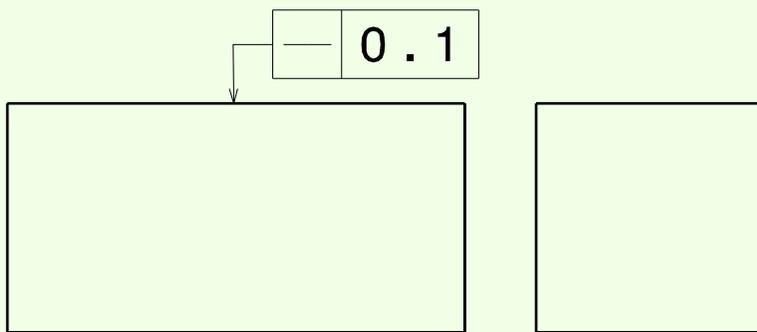
Elément Nominal : Voir 3D en cotes moyennes

ET : Toutes les **lignes** de la surface réelle, parallèles au plan de projection.

ZT : Une surface plane limitée par deux lignes enveloppes espacées par des cercles de diamètre 0.04, centrés sur l'élément nominal.



Rectitude

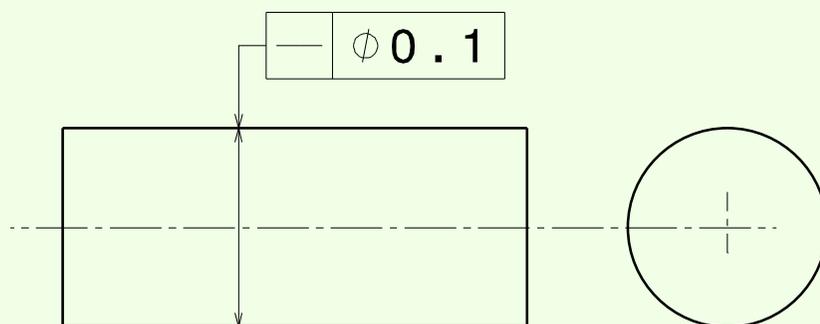


ET : Toutes les **lignes** nominalement droites de la surface réelle, parallèles au plan de projection.

ZT : Une surface plane limitée par deux droites parallèles, distantes de 0.1.

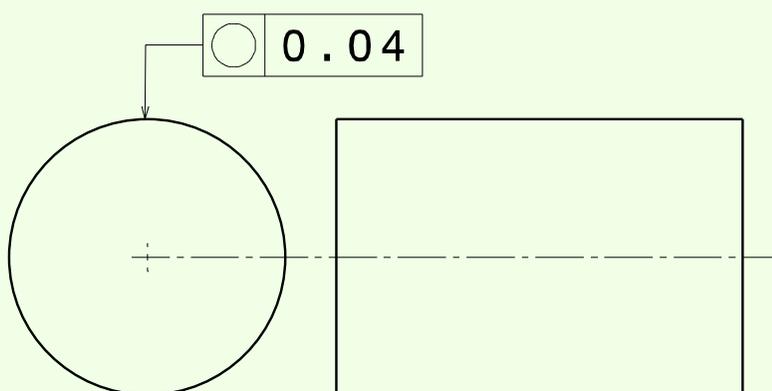
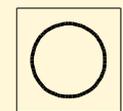


Circularité



ET : Une **ligne** nominalement droite, axe extrait d'un cylindre.

ZT : Un volume limité par un cylindre de diamètre 0.1.



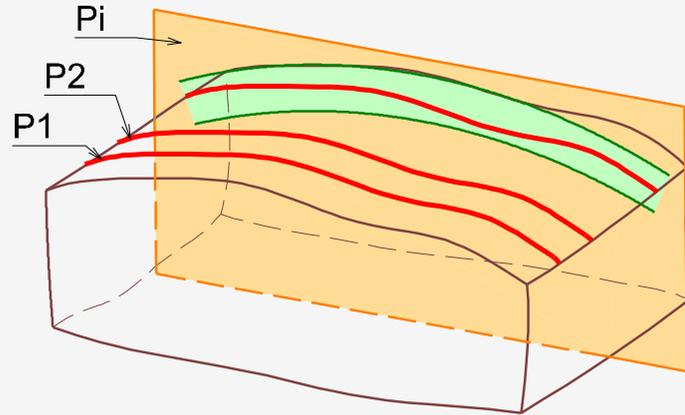
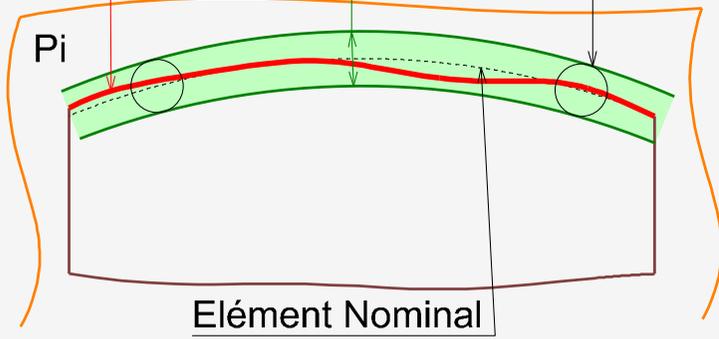
ET : Toutes les **lignes** nominalement circulaires des sections droites du cylindre.

ZT : Une surface plane limitée par deux cercles concentriques, distants de 0.04.

Zone de Tolérance de 0.04

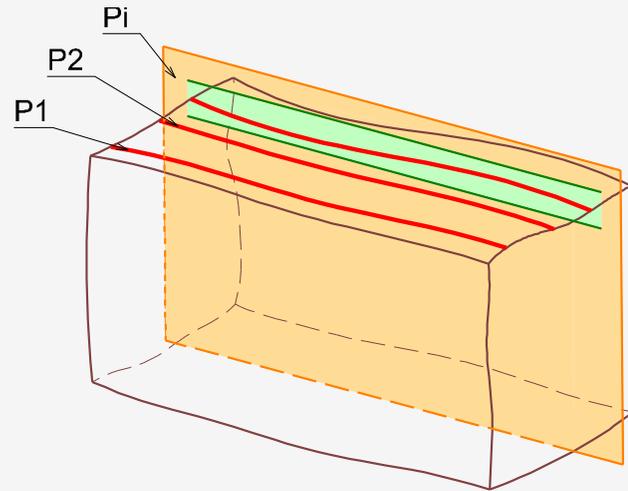
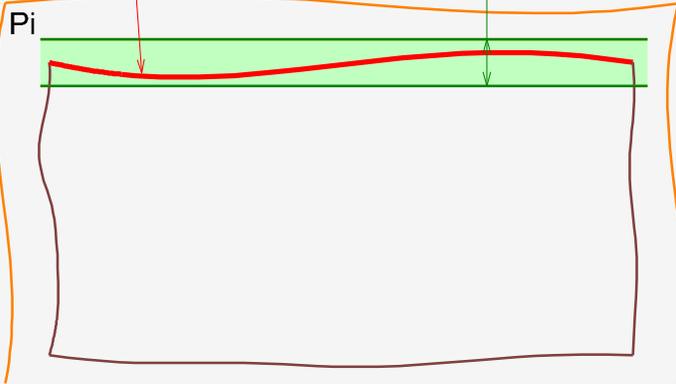
Cercle $\phi 0.04$ centré sur l'élément nominal

Elément Tolérancé



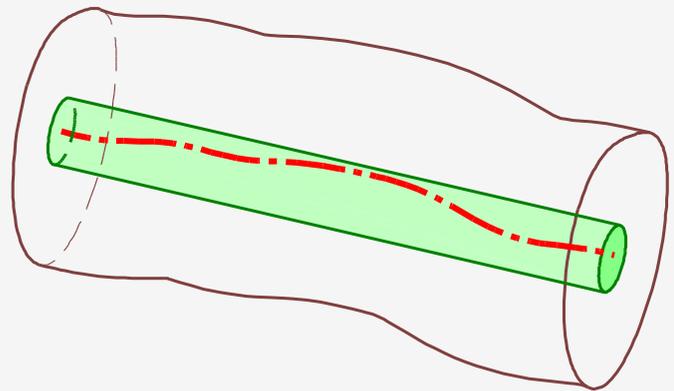
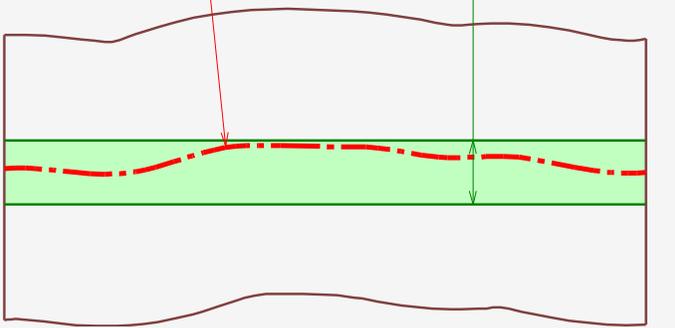
Elément Tolérancé

Zone de Tolérance de 0.1



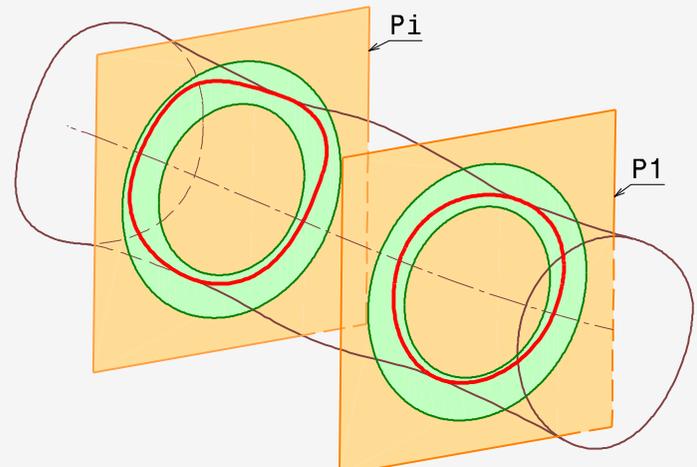
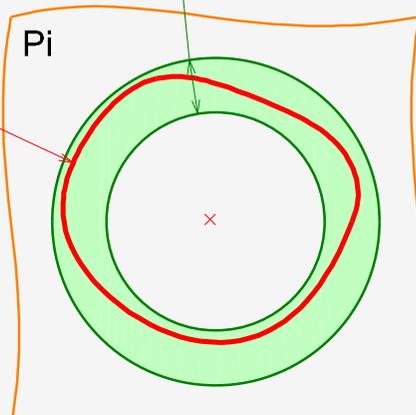
Elément Tolérancé

Zone de Tolérance de $\phi 0.1$



Zone de Tolérance de 0.04

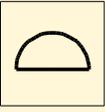
Elément Tolérancé



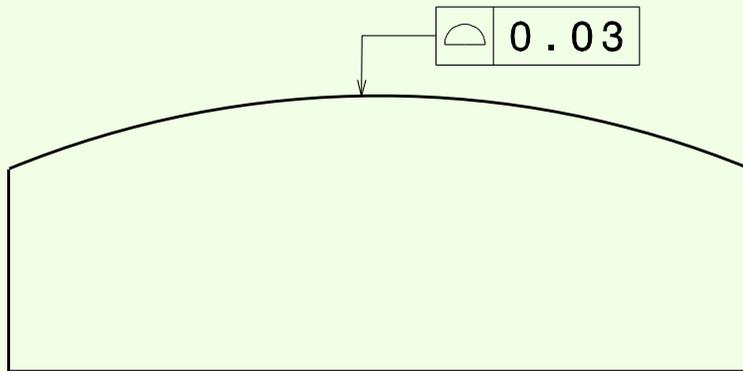
Symbole

Plan

Définition



Profil d'une surface



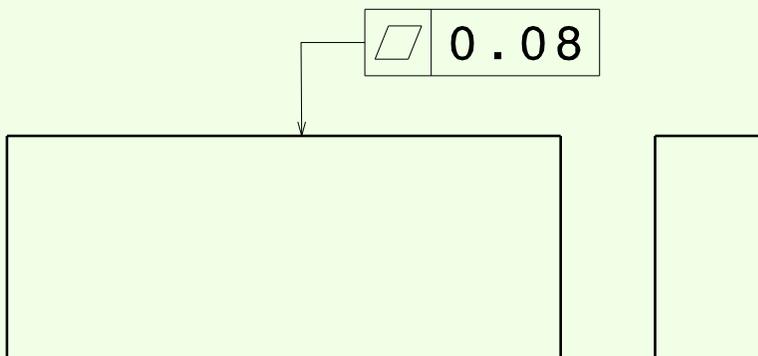
Elément Nominal : Voir 3D en cotes moyennes

ET : Une **surface**.

ZT : Un volume limité par deux surfaces enveloppes espacées par des sphères de diamètre 0.03, centrées sur la surface nominale.



Planéité

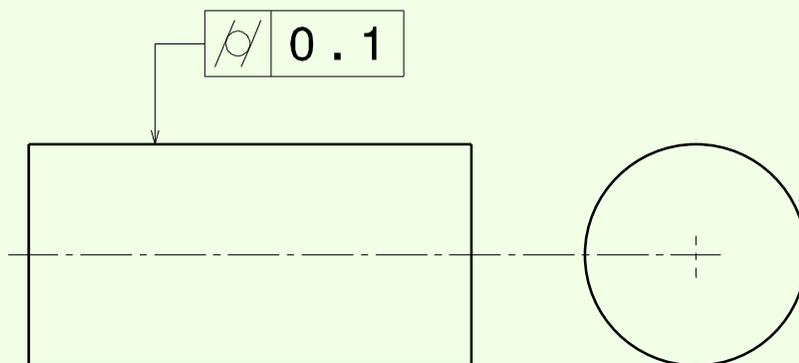


ET : Une **surface** nominale plane.

ZT : Un volume limité par deux plans parallèles distants de 0.08.

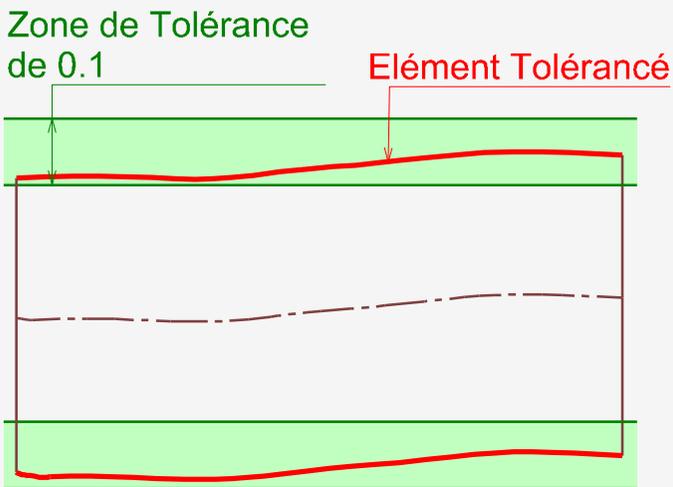
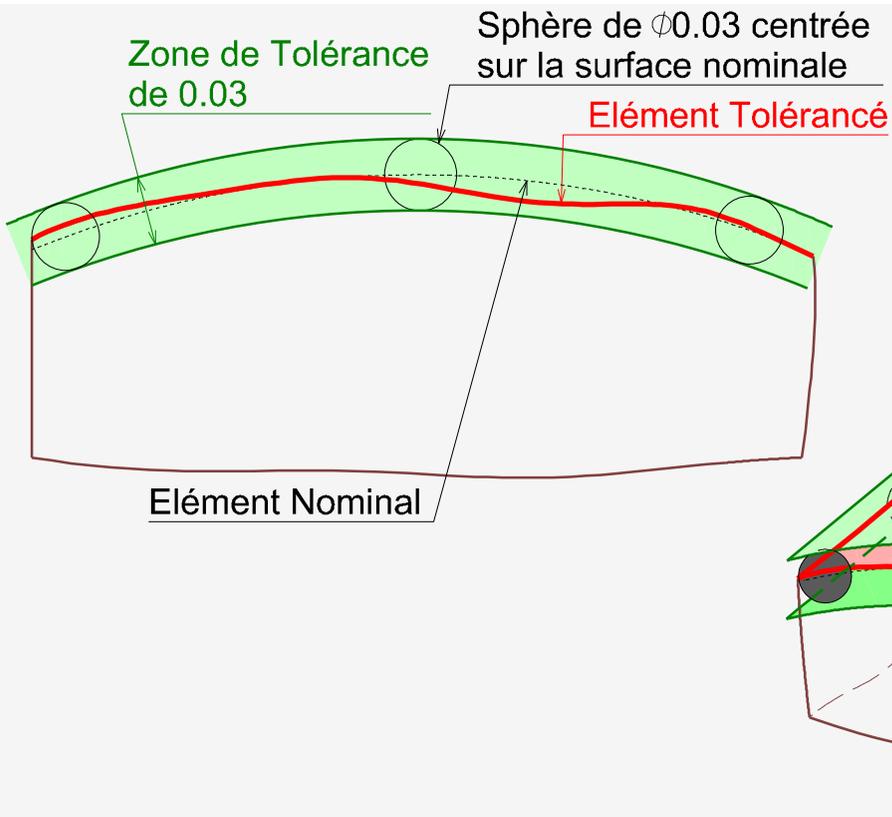


Cylindricité



ET : Une **surface** nominale cylindrique.

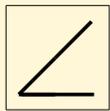
ZT : Un volume limité par deux cylindres coaxiaux, distants de 0.1.



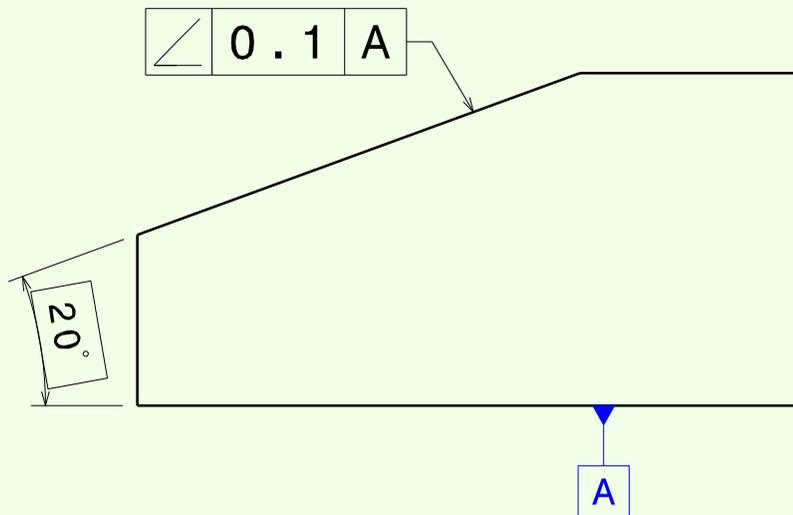
Symbole

Plan

Définition



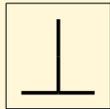
Inclinaison



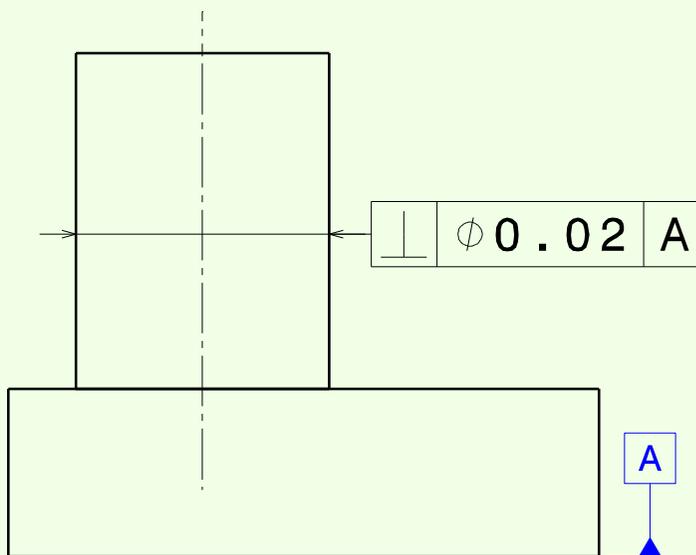
ET : Une **surface** nominale plane.

ZT : Un volume limité par deux plans parallèles distants de 0.1, orientés par rapport à la référence spécifiée A.

RS : A Référence Primaire.



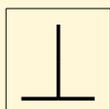
Perpendicularité



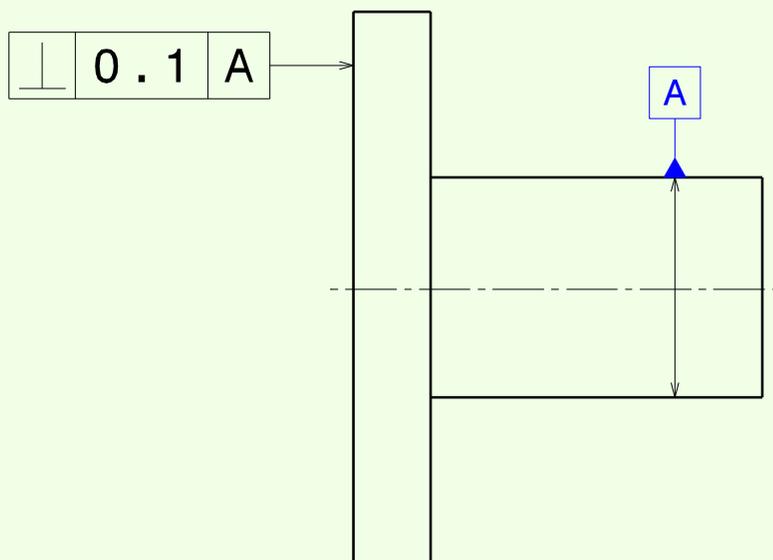
ET : Une **ligne** nominale droite, axe extrait d'un cylindre.

ZT : Un volume limité par un cylindre de diamètre 0.02, d'axe perpendiculaire à la référence spécifiée A.

RS : A Référence Primaire.



Perpendicularité

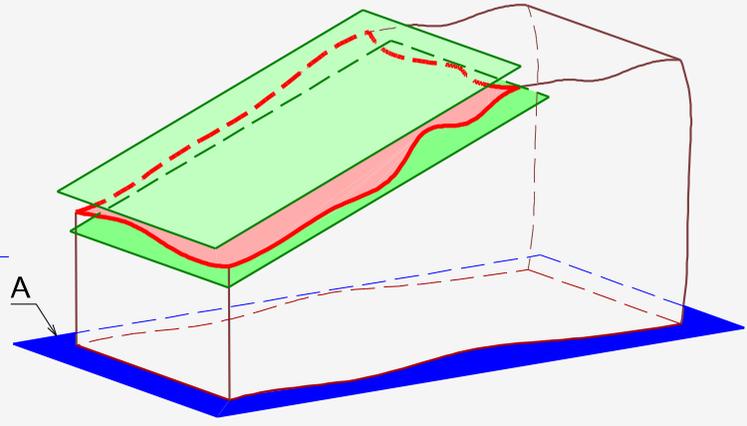
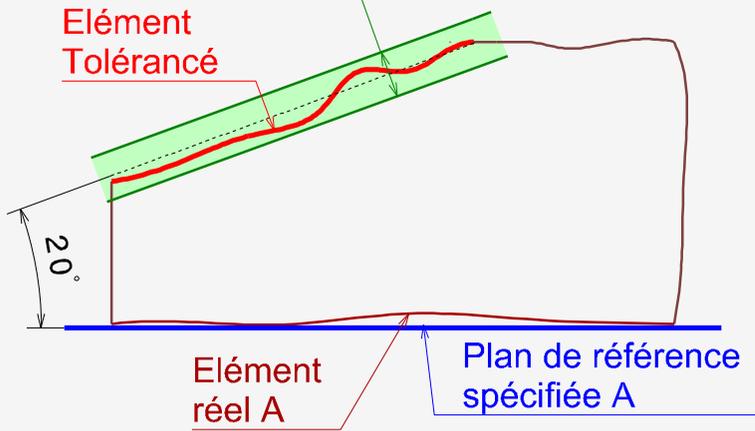


ET : Une **surface** nominale plane.

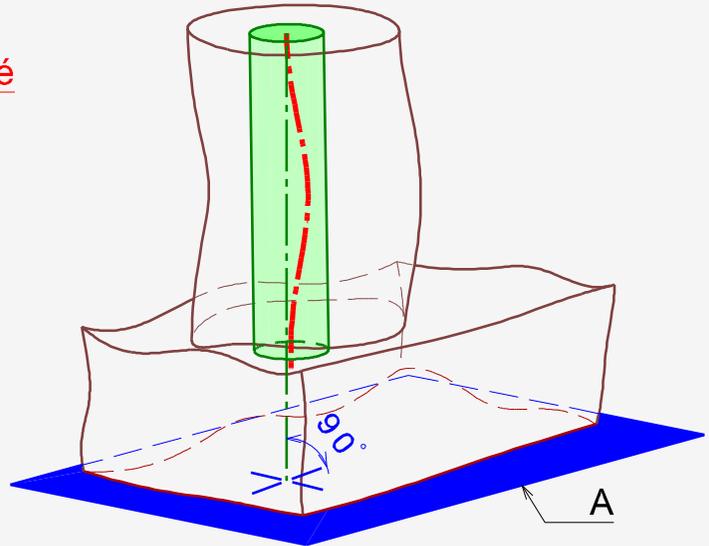
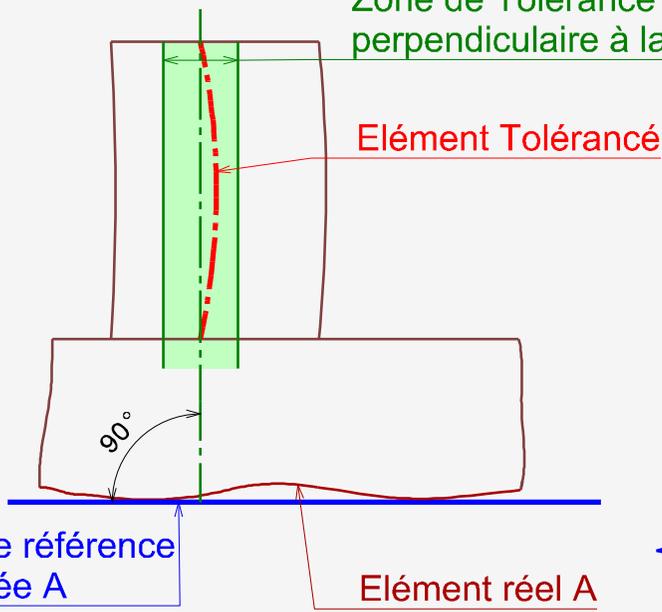
ZT : Un volume limité par deux plans parallèles distants de 0.1, perpendiculaires à la référence spécifiée A.

RS : A Référence Primaire.

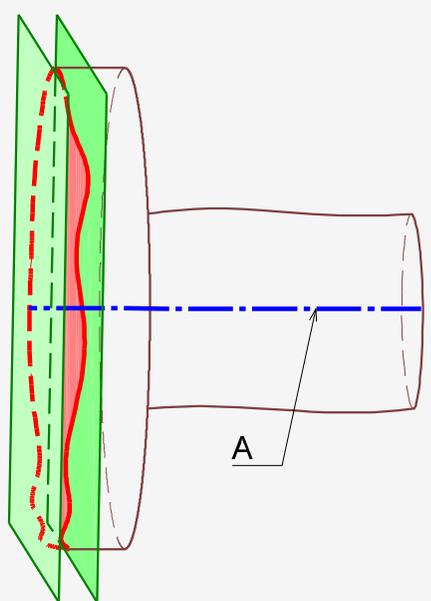
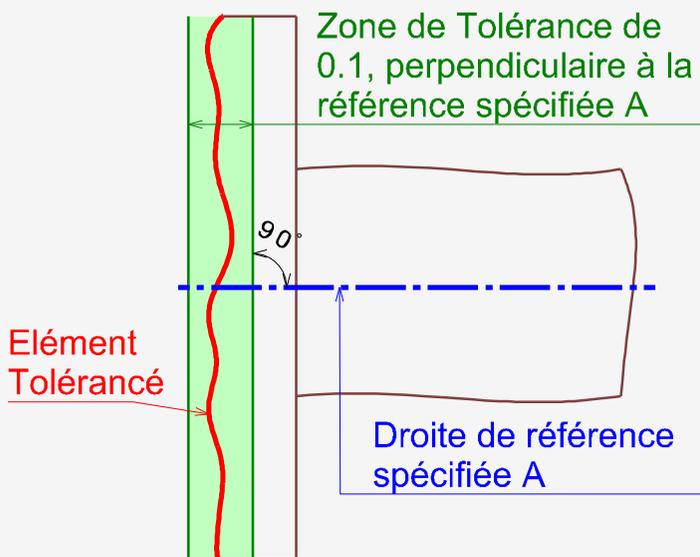
Zone de Tolérance de 0.1, orientée par rapport à la référence spécifiée A



Zone de Tolérance de $\phi 0.02$, perpendiculaire à la référence spécifiée A



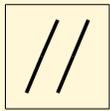
Zone de Tolérance de 0.1, perpendiculaire à la référence spécifiée A



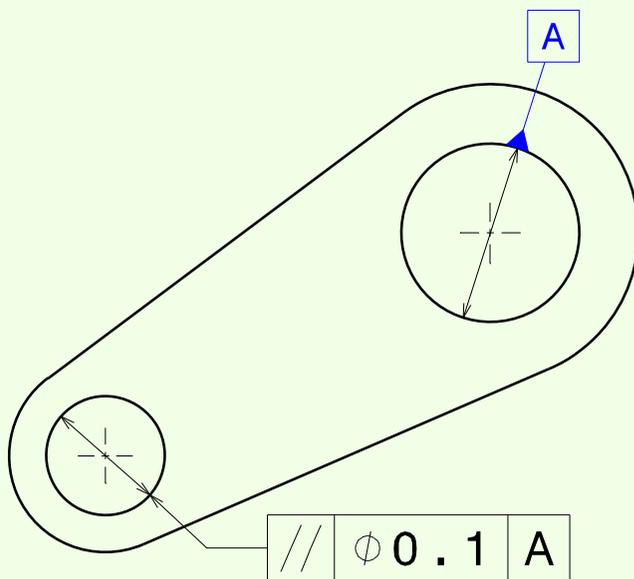
Symbole

Plan

Définition



Parallélisme



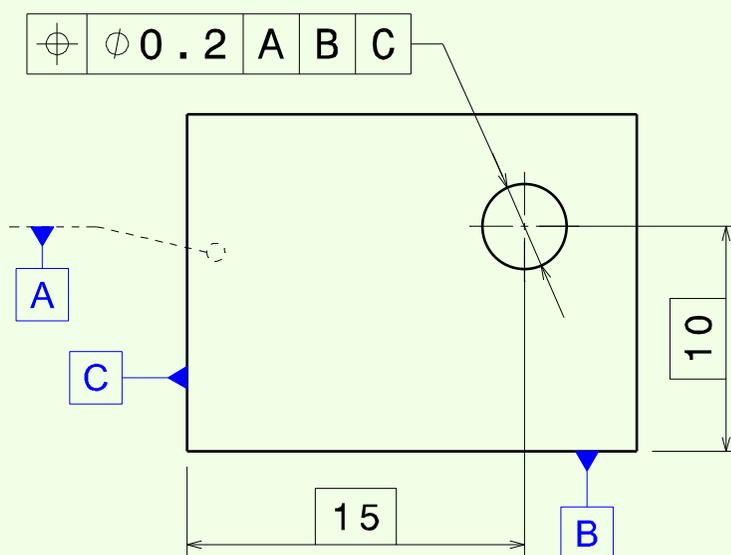
ET : Une **ligne** nominalement droite, axe extrait d'un trou.

ZT : Un volume limité par un cylindre de diamètre 0.1, d'axe parallèle à la référence spécifiée A.

RS : **A** Référence Primaire.



Localisation



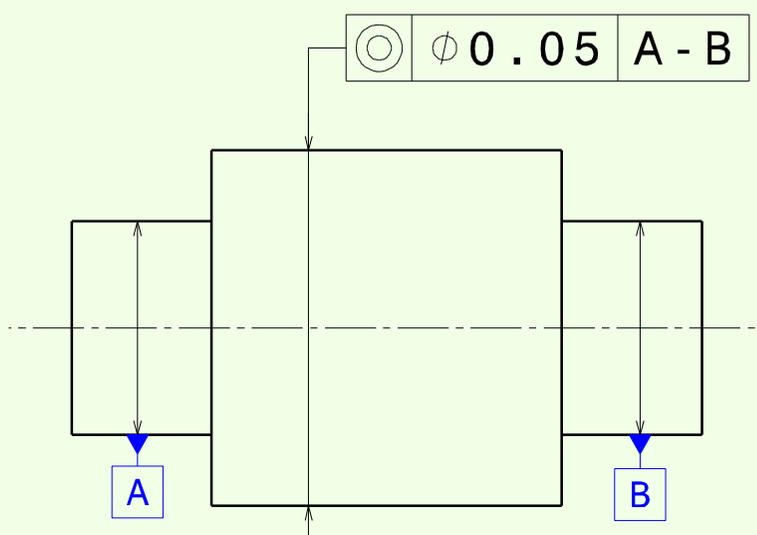
ET : Une ligne nominalement droite, axe extrait du trou.

ZT : Un volume limité par un cylindre de diamètre 0.2, positionné par rapport au système de références spécifiées A, B et C.

RS : **A** Référence Primaire.
B Référence Secondaire.
C Référence Tertiaire.



Coaxialité / Concentricité



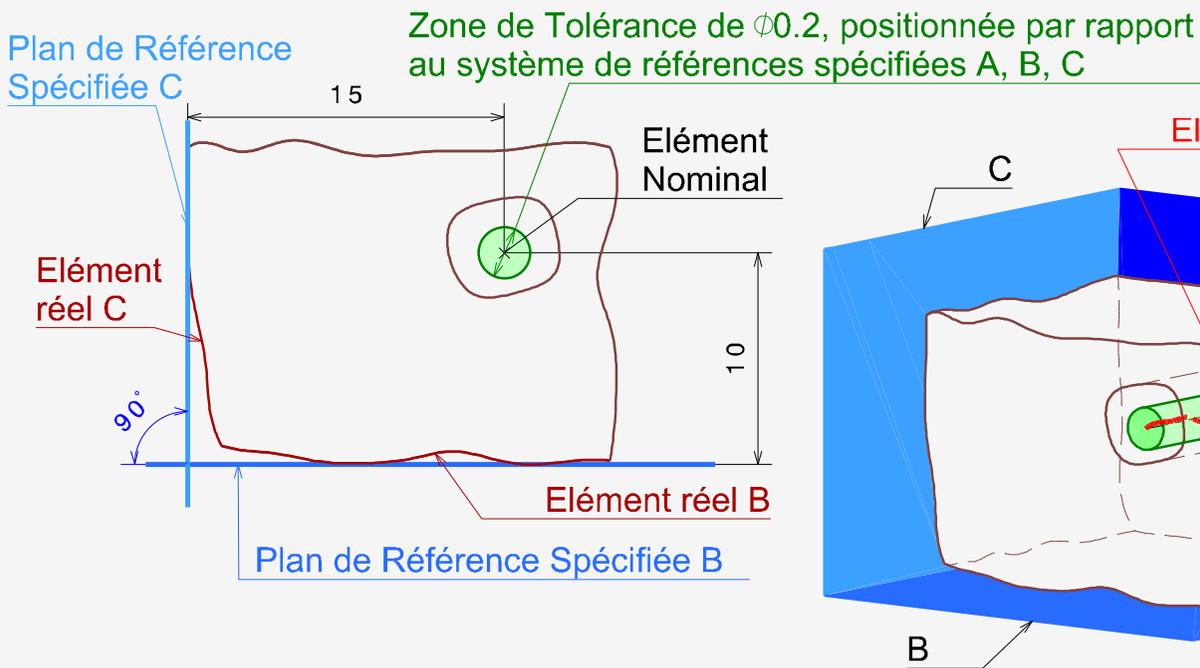
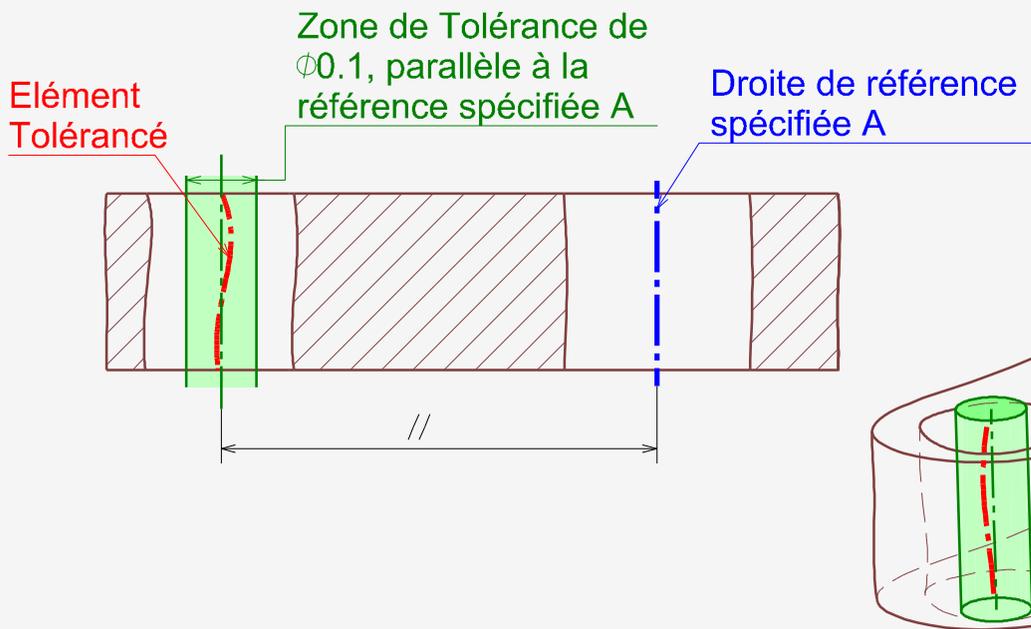
ET : Une **ligne** nominalement droite, axe extrait d'un cylindre.

ZT : Un volume limité par un cylindre de diamètre 0.05, centré sur la référence spécifiée A-B.

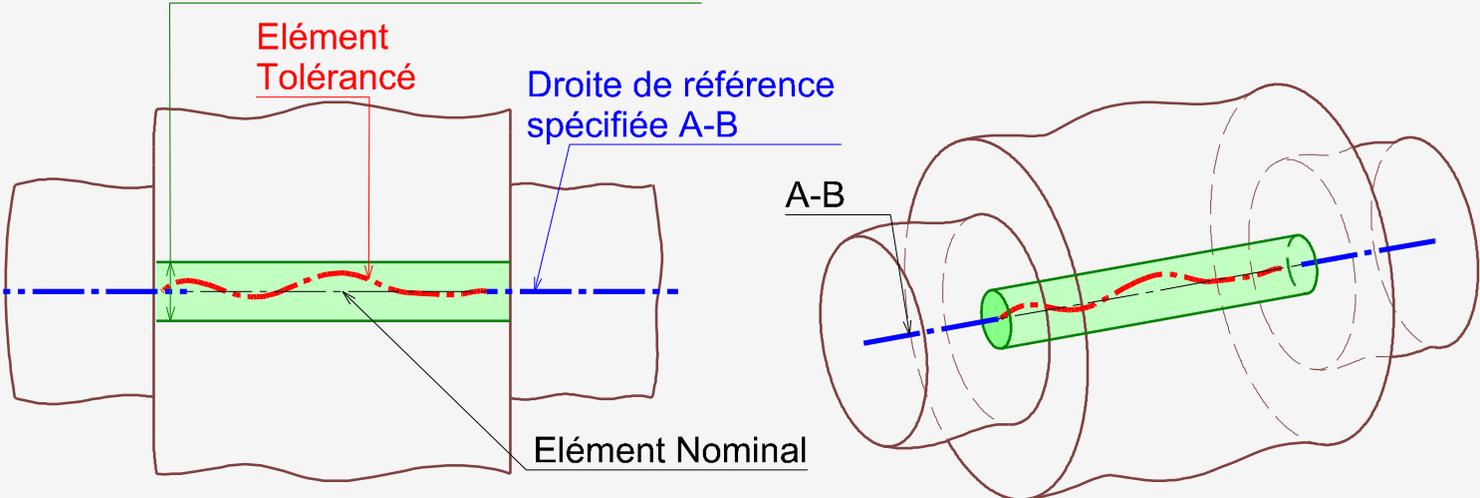
RS : **A-B** Référence Commune.

Nota :

- Coaxialité pour aligner deux axes
- Concentricité pour aligner deux centres de cercles.



Zone de Tolérance de $\phi 0.05$, centrée sur la droite de référence commune A-B



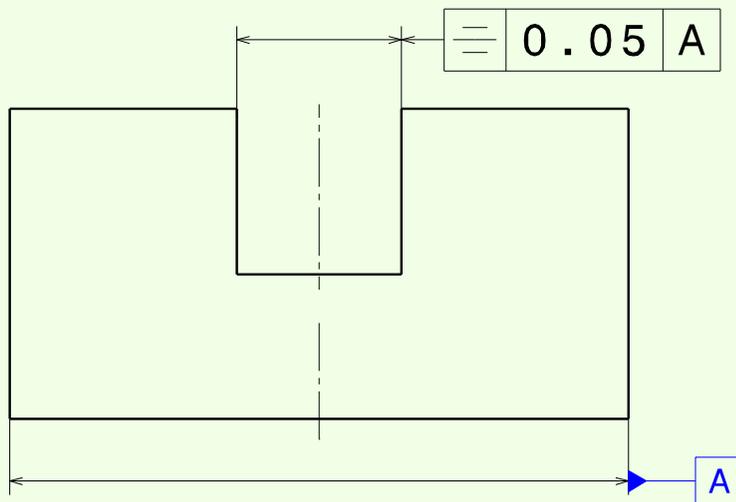
Symbole

Plan

Définition



Symétrie

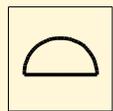


ET : Une surface médiane nominale plane extraite de la rainure.

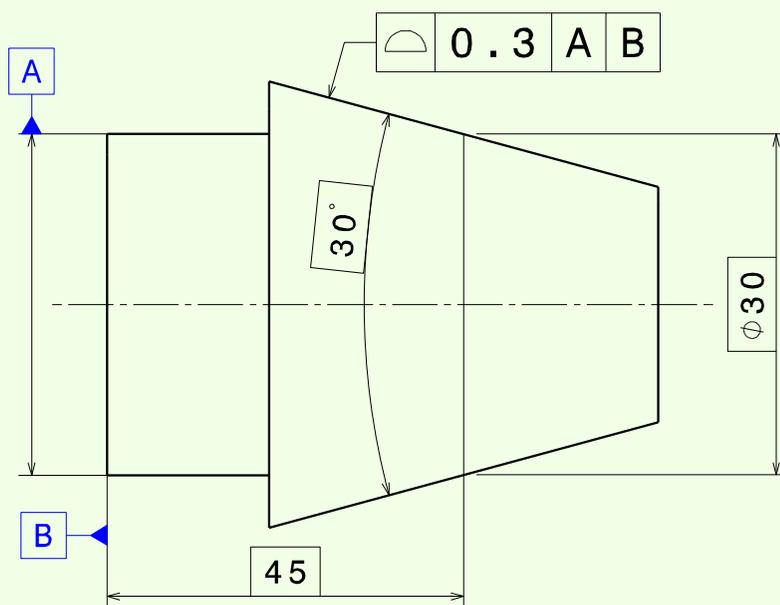
ZT : Un volume limité par deux plans parallèles distants de 0.05, disposés symétriquement par rapport à la référence spécifiée A.

RS : A Référence Primaire.

Nota : Pour aligner entre deux plans une surface plane, une ligne droite ou un point par rapport à un plan ou une droite.



Profil d'une surface avec référence(s)



ET : Une surface nominale conique.

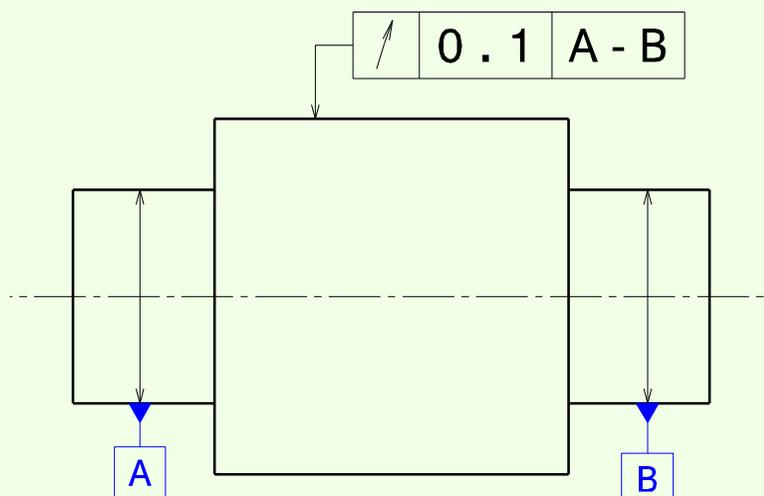
ZT : Un volume limité par deux surfaces enveloppes espacées par des sphères de diamètre 0.3 dont les centres parcourent la surface conique théorique positionnée par rapport au système de références spécifiées A et B.

RS : A Référence Primaire.

B Référence Secondaire.



Battement circulaire radial



ET : Toutes les lignes nominale **circulaires** dans les plans perpendiculaires à la droite de référence.

ZT : Une surface plane limitée par deux cercles concentriques distants de 0.1, centrés sur la référence spécifiée A-B.

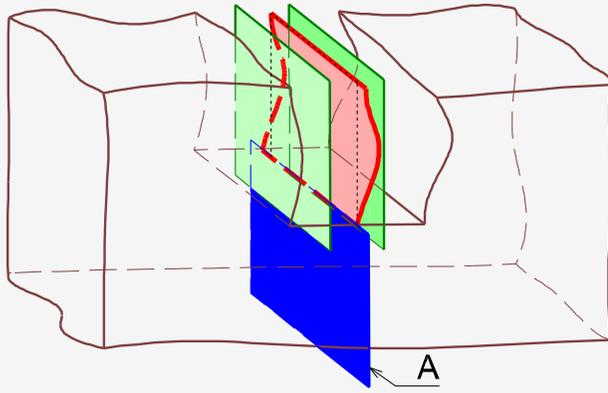
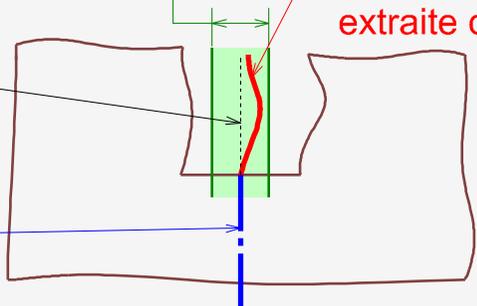
RS : A-B Référence Primaire.

Zone de Tolérance de 0.05, alignée par rapport à la référence spécifiée A

Elément Tolérancé
Surface médiane extraite de la rainure

Elément Nominal

Plan de référence spécifiée A

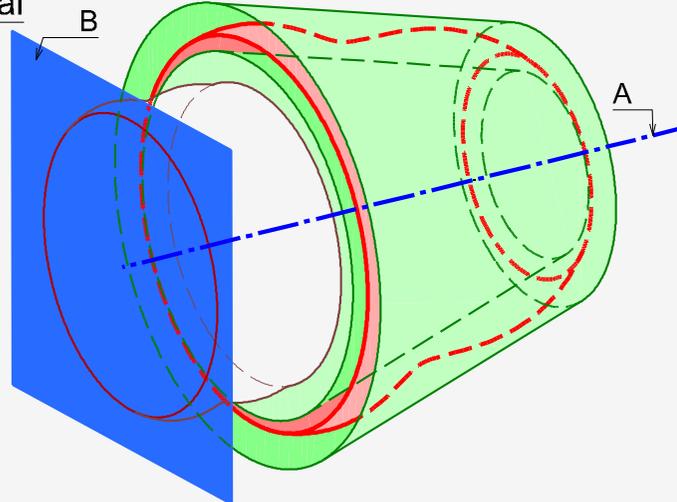
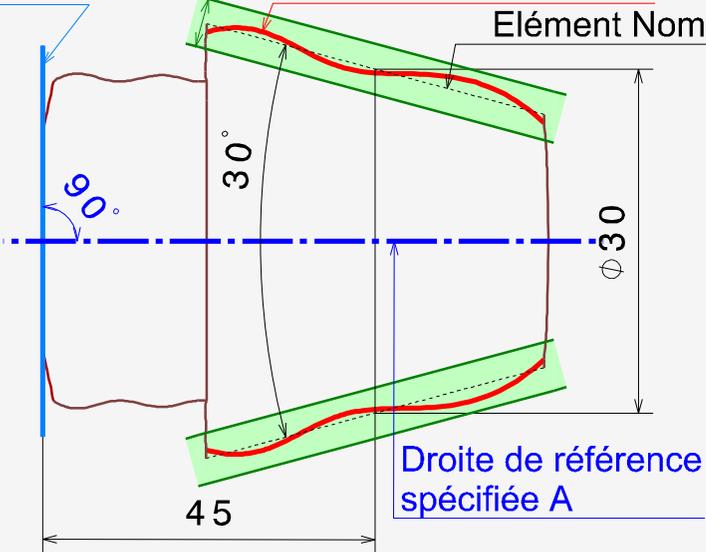


Zone de Tolérance de 0.3, positionnée par rapport au système de références spécifiées A et B

Plan de référence spécifiée B

Elément Tolérancé

Elément Nominal



Droite de référence spécifiée A

Zone de Tolérance de 0.1, centrée par rapport à la référence spécifiée A

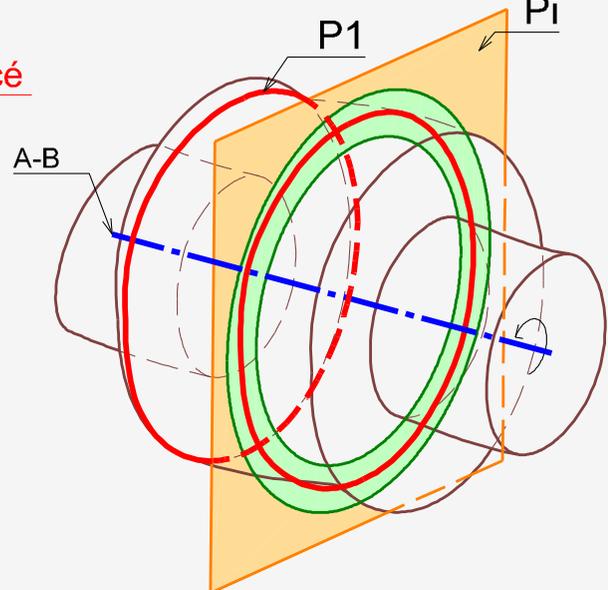
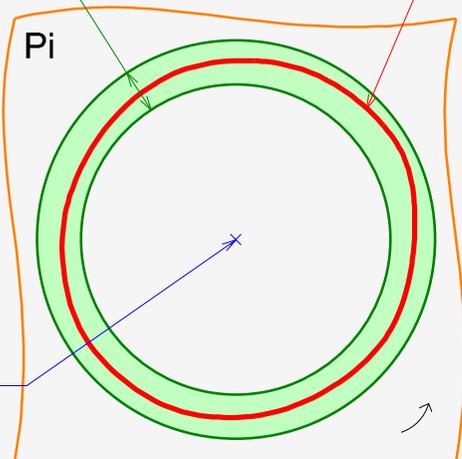
Elément Tolérancé

Pi

P1

Pi

Droite de référence spécifiée A-B



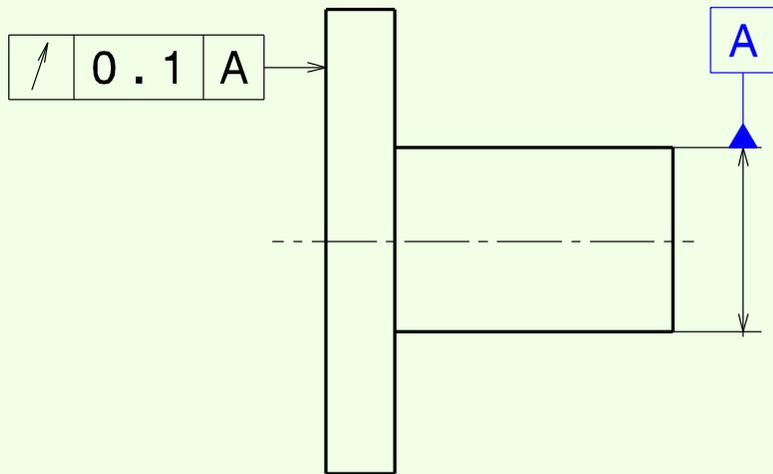
Symbole

Plan

Définition



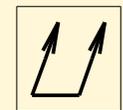
Battement circulaire
Axial



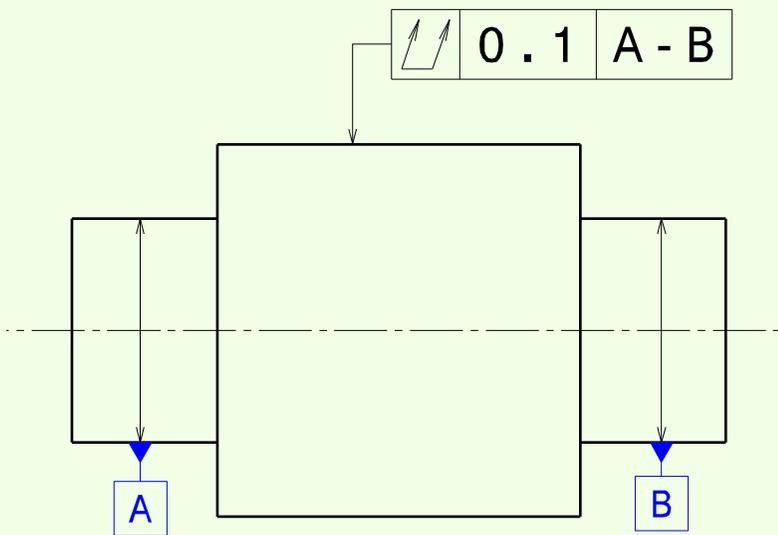
ET : Toutes les **lignes** nominalement **circulaires** d'intersection d'une surface nominalement plane et d'un cylindre parfait centré sur la droite de référence A.

ZT : Une surface cylindrique limitée par deux cercles distants axialement de 0.1, centrés sur la référence spécifiée A.

RS : A Référence Primaire.



Battement total
radial



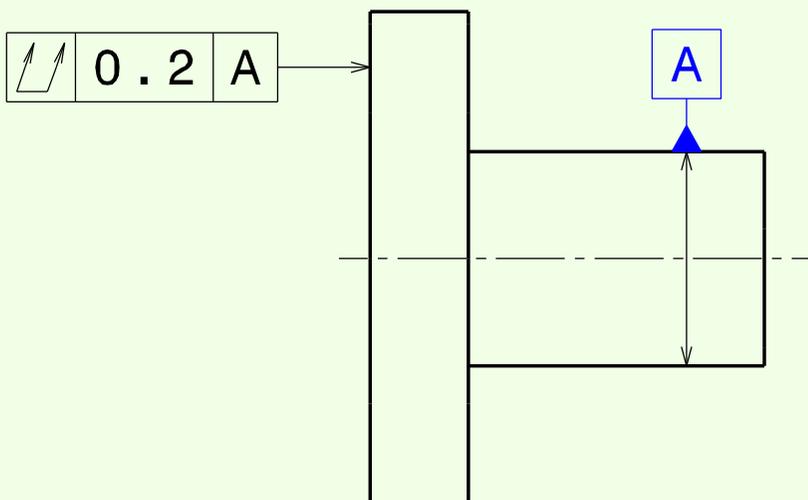
ET : Une **surface** nominalement cylindrique.

ZT : Un volume limité par deux cylindres coaxiaux distants de 0.1, centrés sur la référence spécifiée A-B.

RS : A-B Référence Primaire.



Battement total
axial

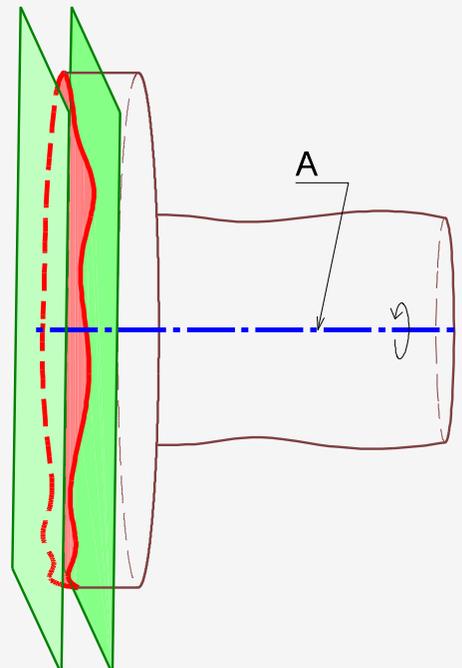
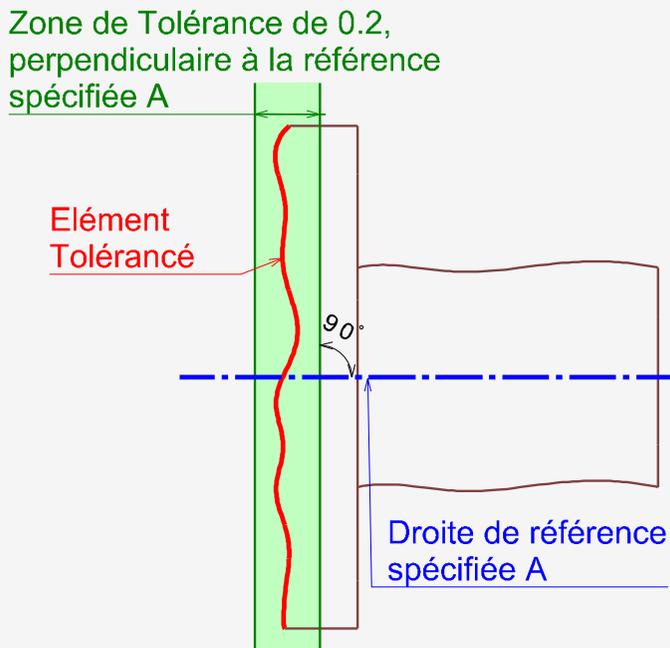
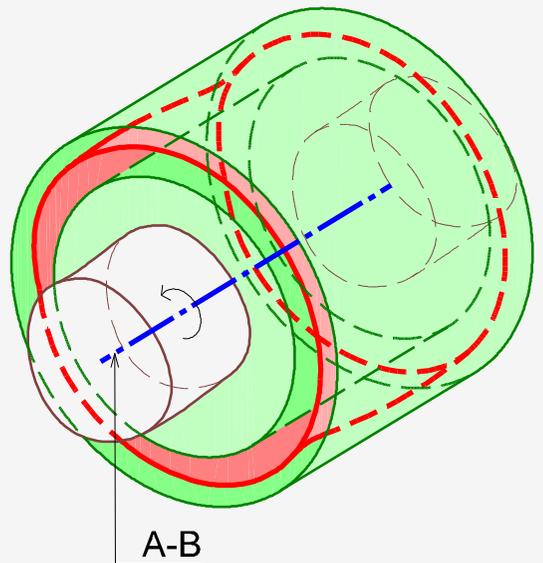
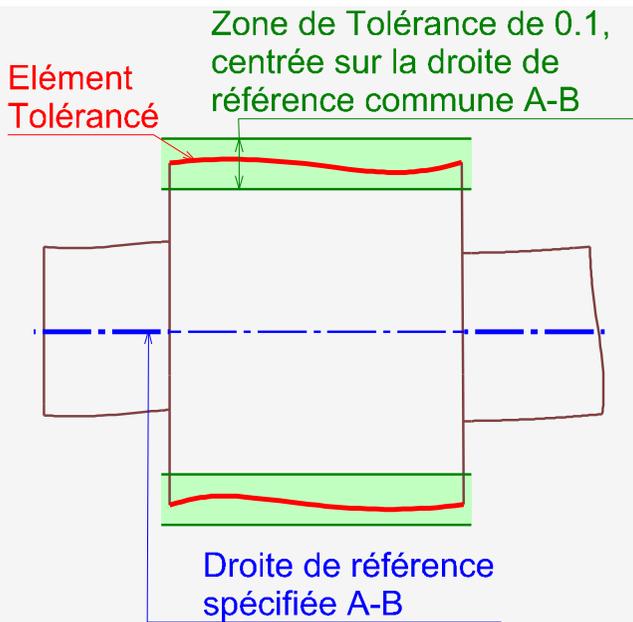
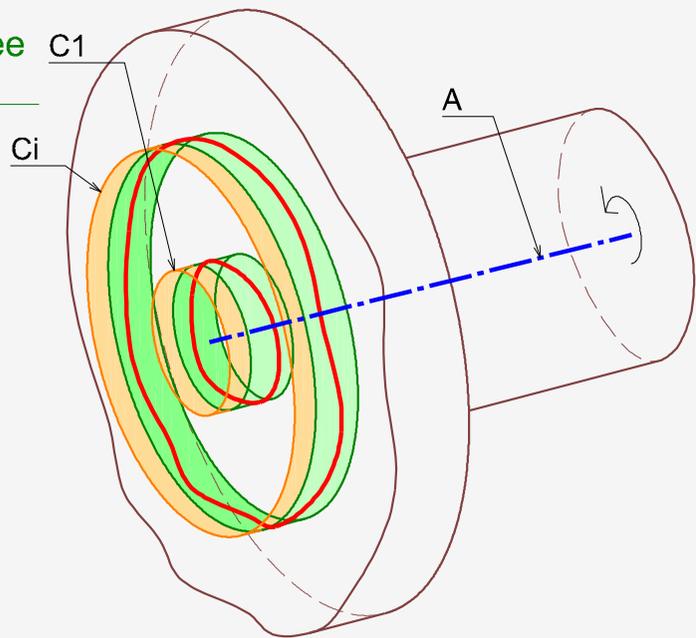
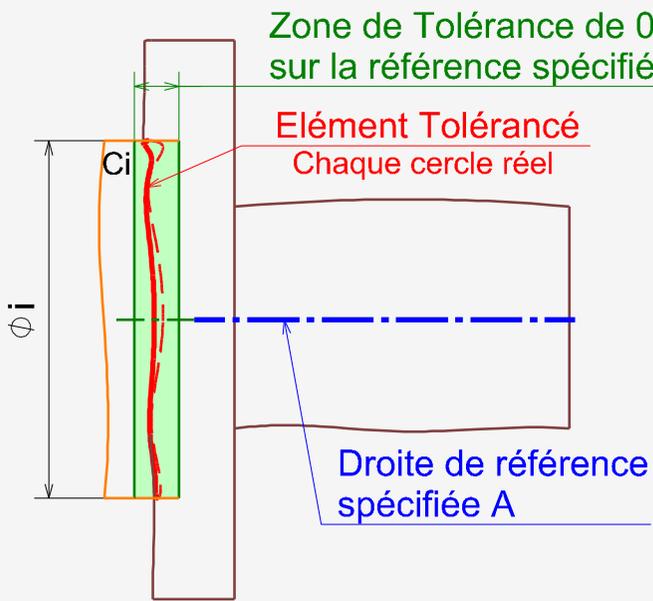


ET : Une **surface** nominalement plane.

ZT : Un volume limité par deux plans parallèles distants de 0.2, perpendiculaires à la référence spécifiée A.

RS : A Référence Primaire.

Nota : Cette écriture est équivalente à une perpendicularité.



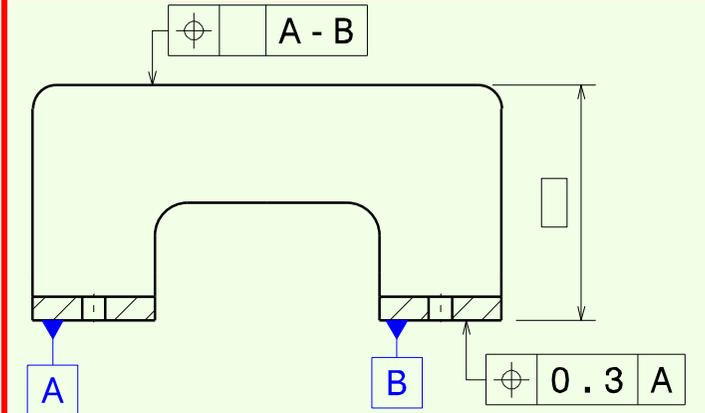
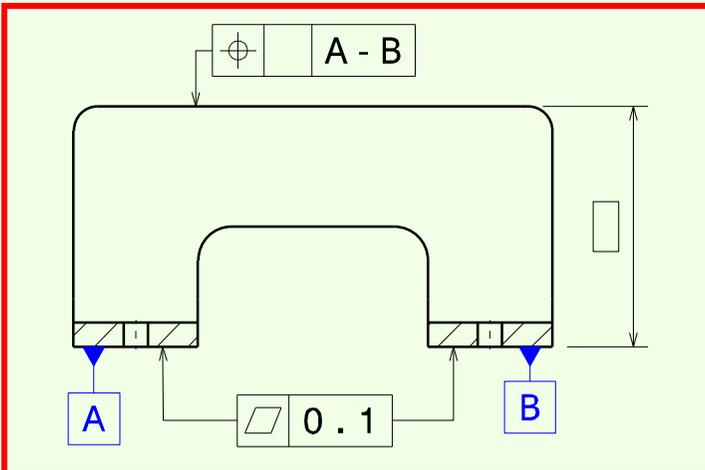
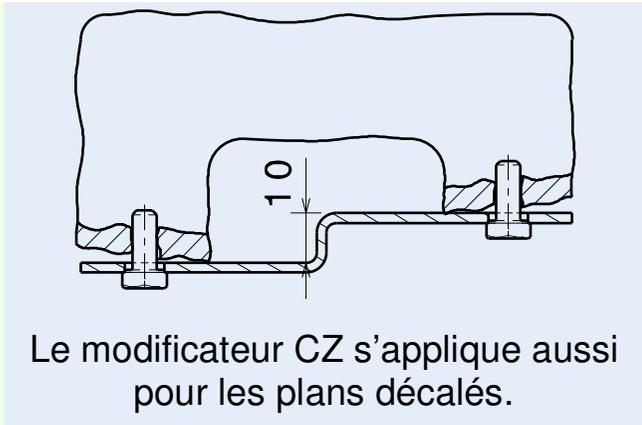
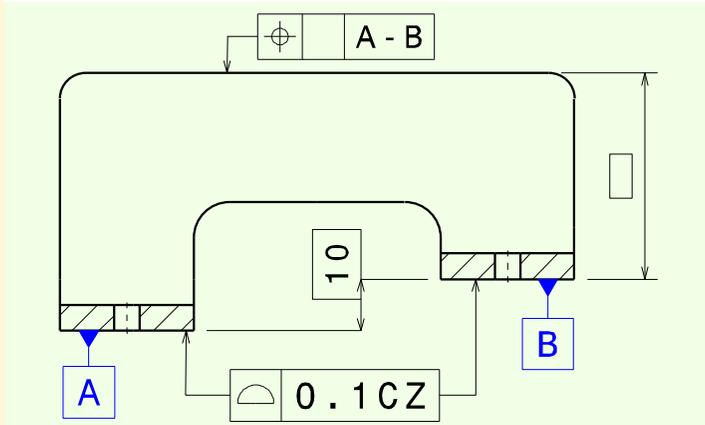
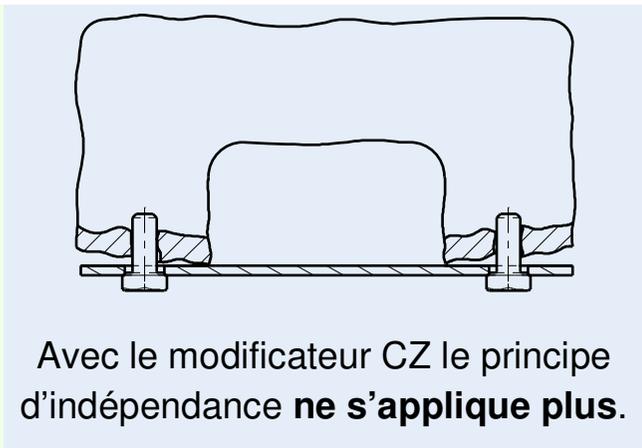
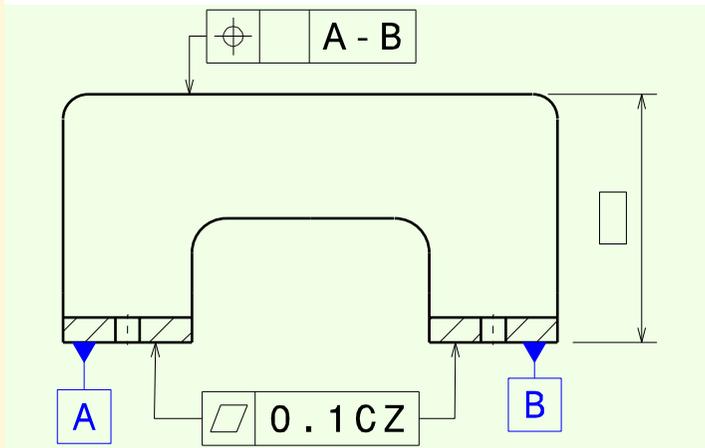
Formes en Zone Combinée (Zone Commune)



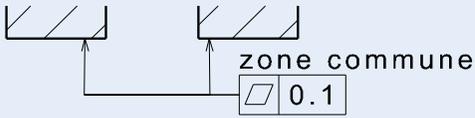
Planéité en Zone Combinée

Zone Combinée :

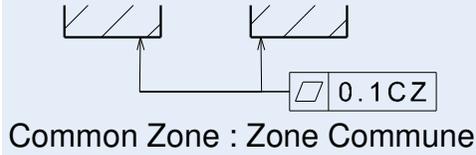
Lorsque plusieurs zones de tolérance combinées (contrôlées par le même indicateur de tolérance) sont appliquées simultanément à plusieurs éléments distincts (de façon non indépendante), l'exigence doit être indiquée par le symbole CZ pour « Zone Combinée ». Elles sont en position théorique exacte.



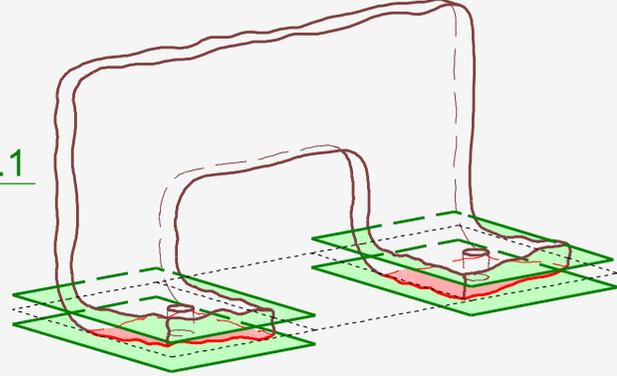
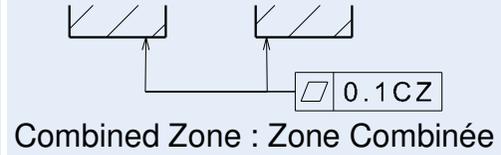
ISO 1101 - 1983 :



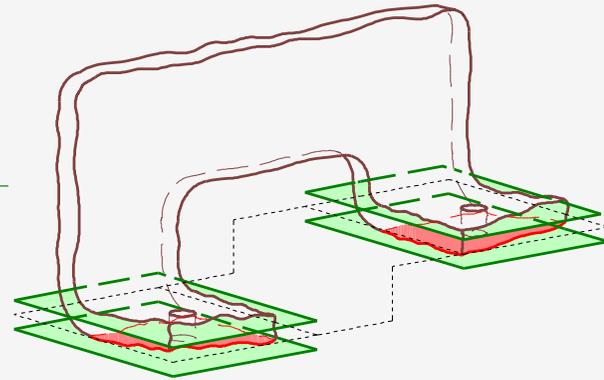
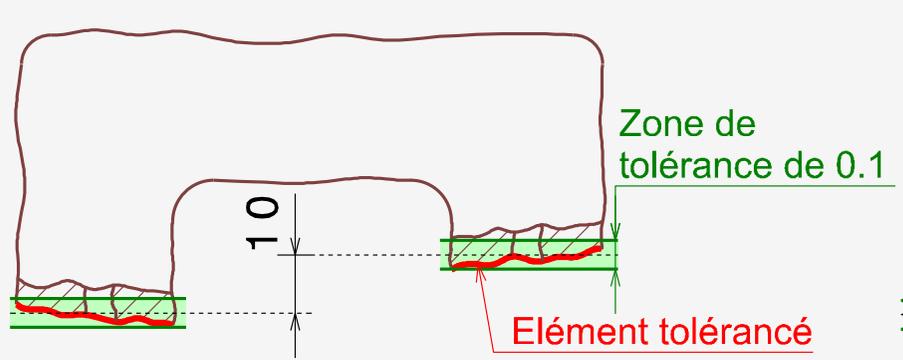
ISO 1101 - 2001



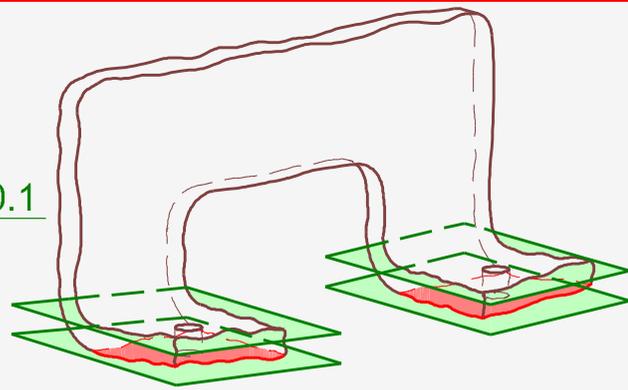
ISO 1101 - 2017



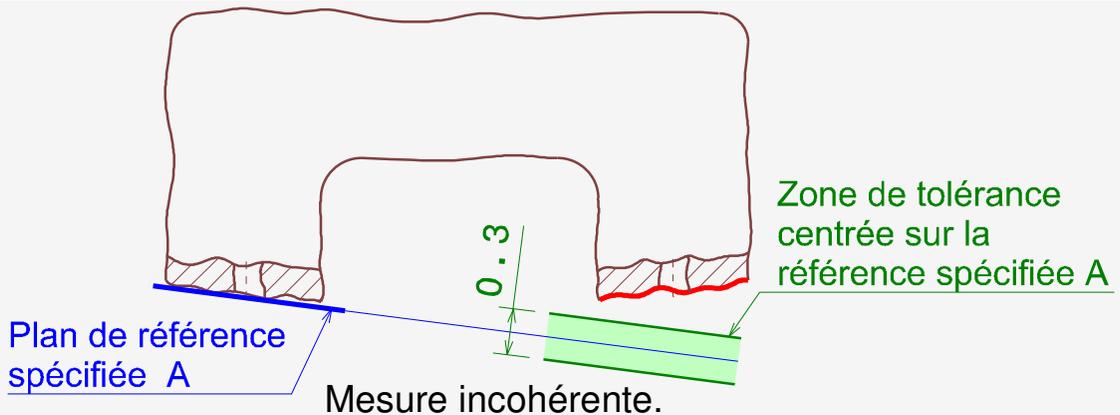
Les zones de tolérances sont parfaitement alignées.



Les zones de tolérances sont parfaitement parallèles et décalées de 10mm.

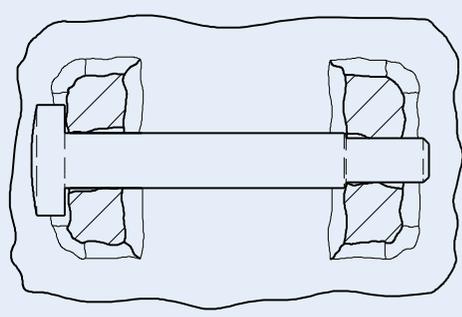
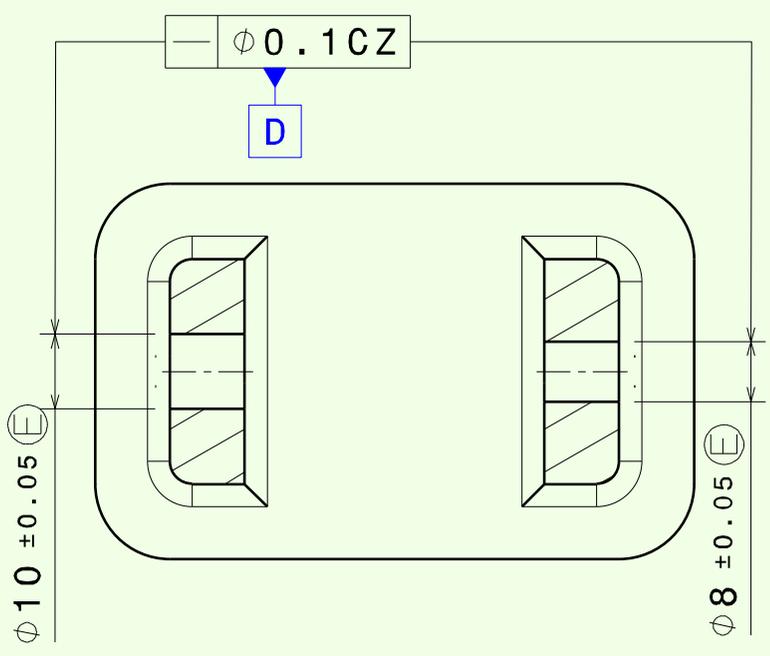


Les zones de tolérances sont indépendantes l'une de l'autre.



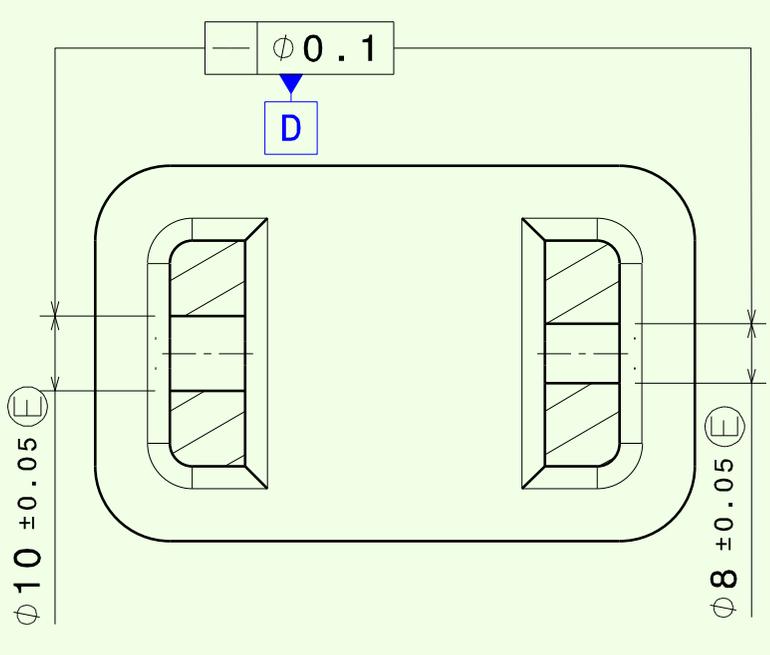
Forme en Zone Combinée (Zone Commune)

Rectitude en Zone Combinée



Avec le modificateur CZ le principe d'indépendance **ne s'applique plus.**

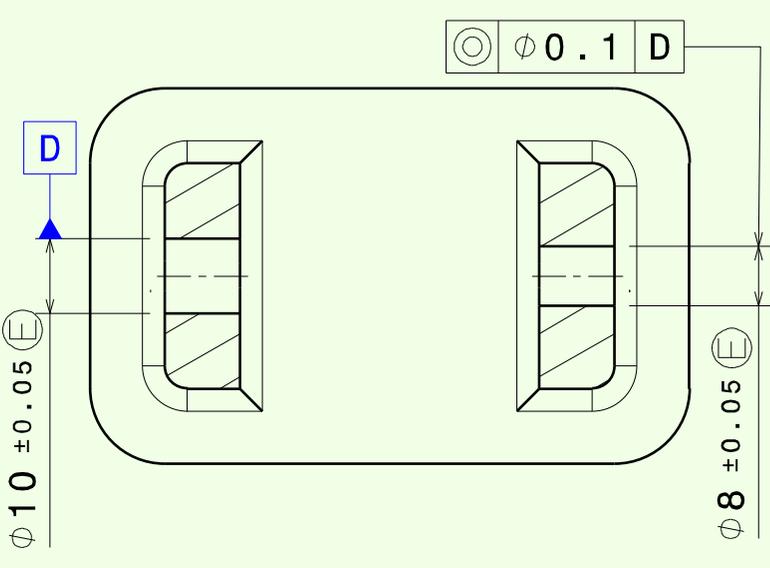
La référence spécifiée serait **D-D**.



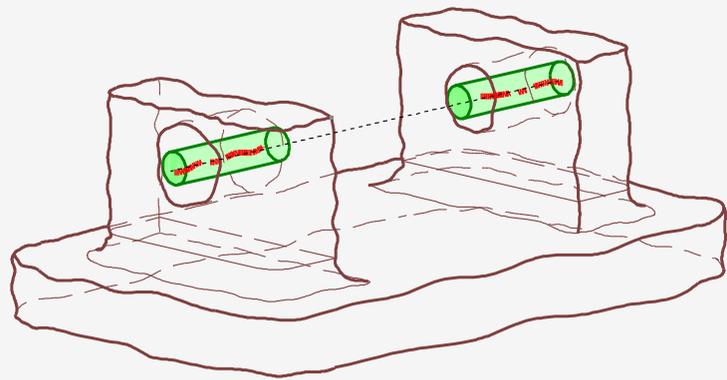
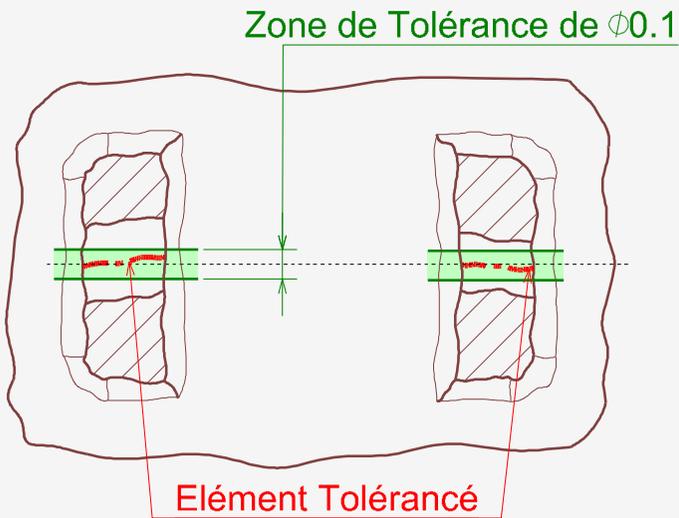
Erreurs courantes



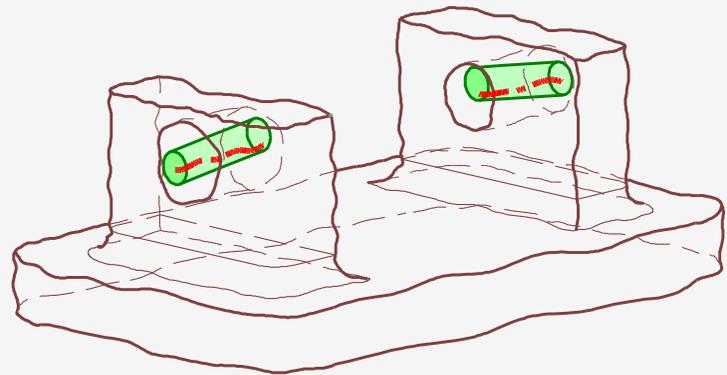
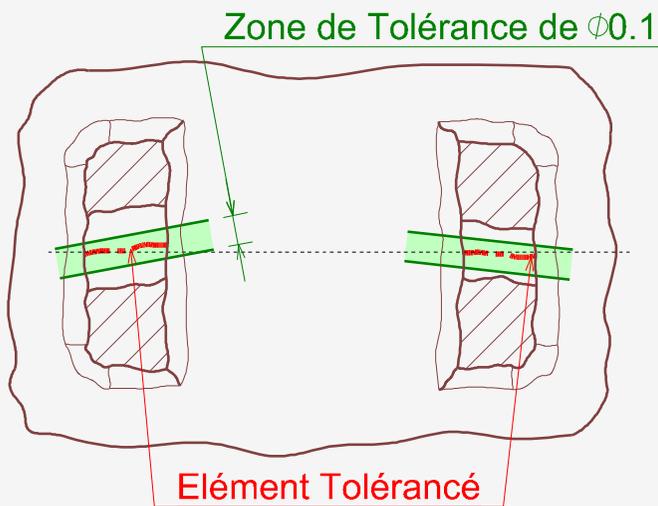
Sans le modificateur CZ, le principe d'indépendance **s'applique.**



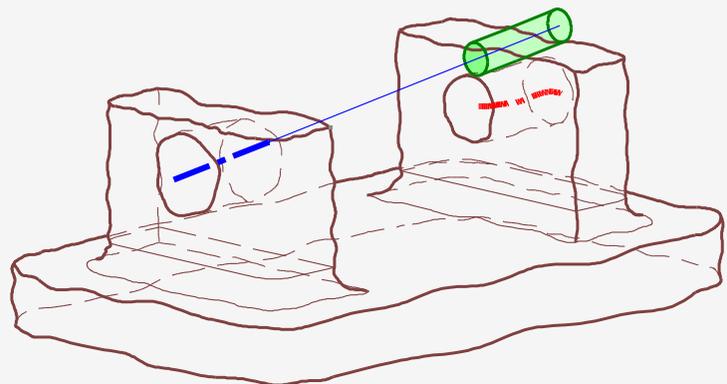
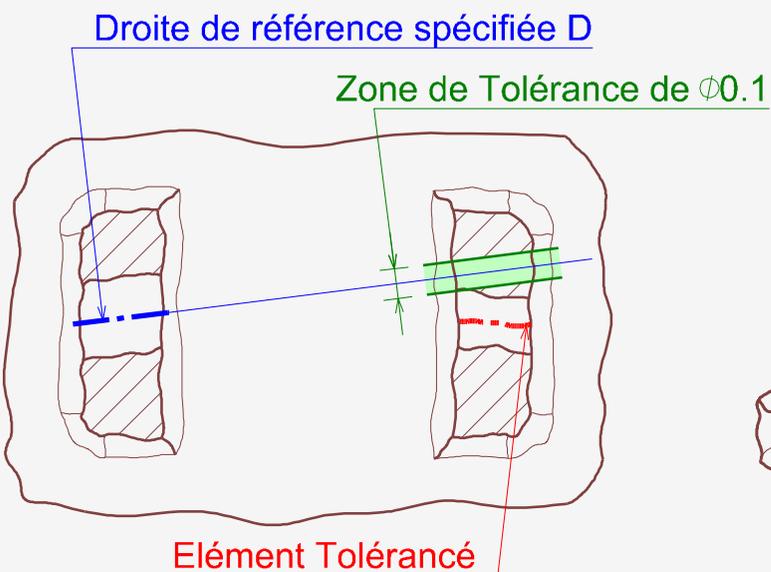
Ne pas dissocier une référence commune.



Les zones de tolérances sont parfaitement alignées.



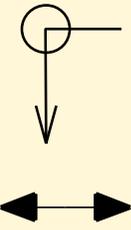
Les zones de tolérances sont indépendantes l'une de l'autre.



Mesure incohérente.

United Feature = Élément Unifié (UF)

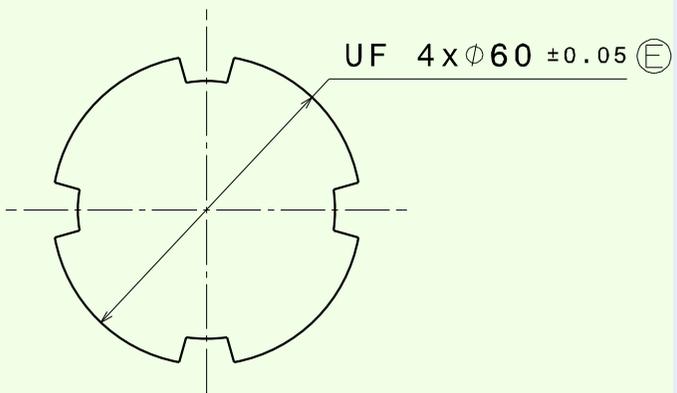
UF



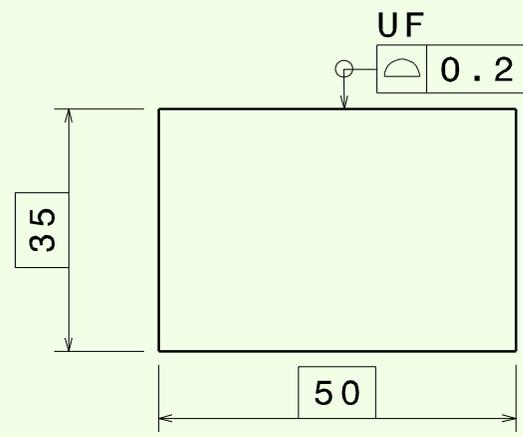
Élément Unifié, Tout autour, Entre

Élément Unifié :

Le modificateur UF associe les éléments spécifiés en un élément simple. C'est un élément composé qui peut être continu ou non.

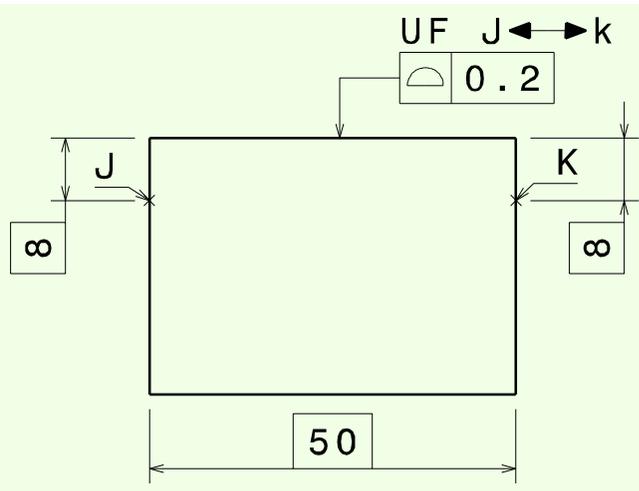


Pour une entité dimensionnelle unifiée, la taille doit être précédée par UF nx.



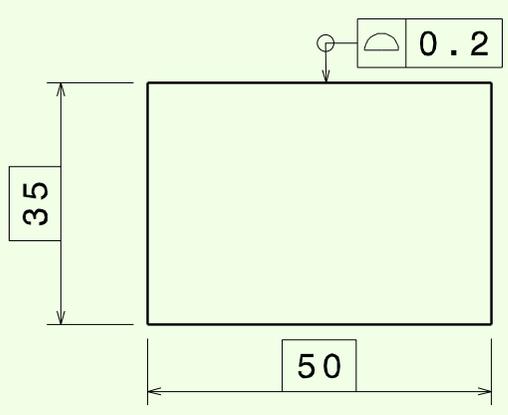
Le symbole « tout autour » indique que la spécification s'applique sur chaque élément du contour.

Le modificateur **UF** permet d'unir le contour fermé.



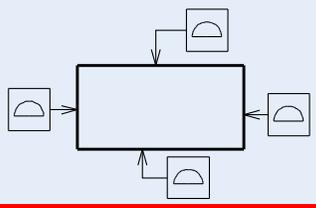
Le symbole « entre » doit être utilisé entre deux lettres majuscules qui définissent le début et la fin de l'élément tolérancé.

L'élément obtenu se compose de tous les segments ou zones entre le début et la fin des éléments, ou des parties d'éléments, identifiés.

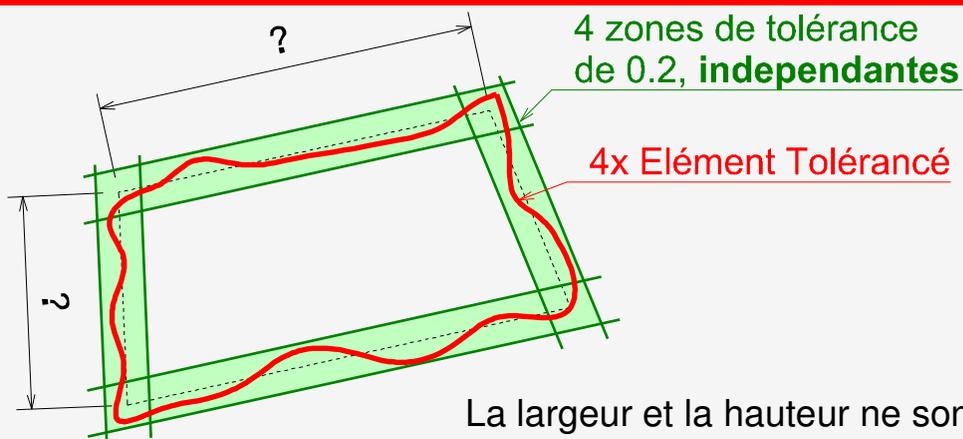
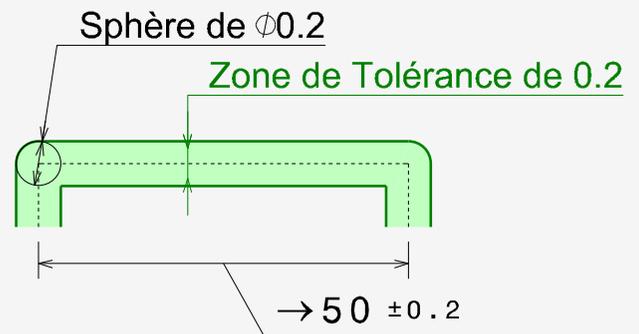
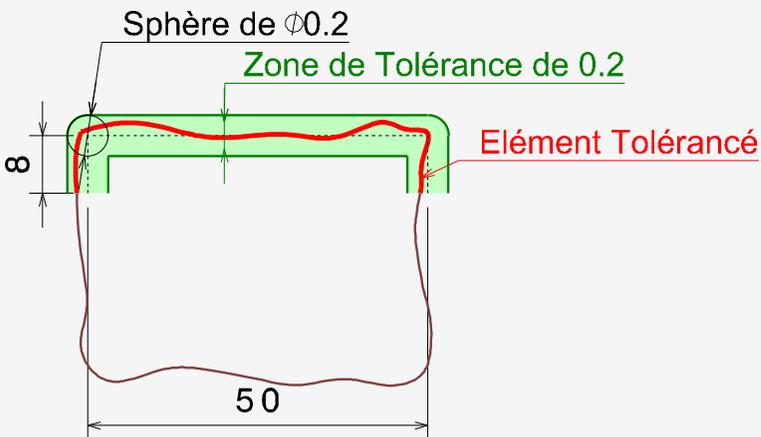
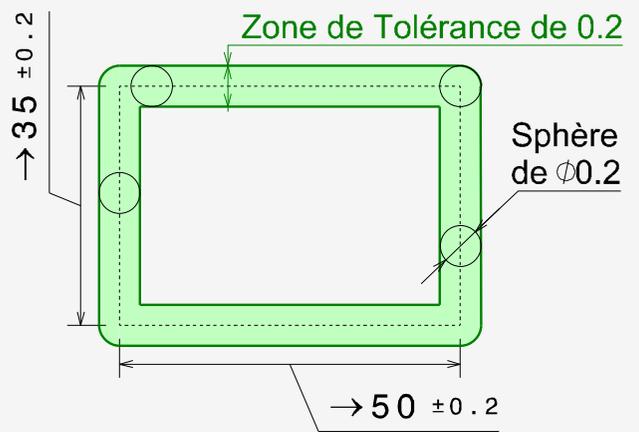
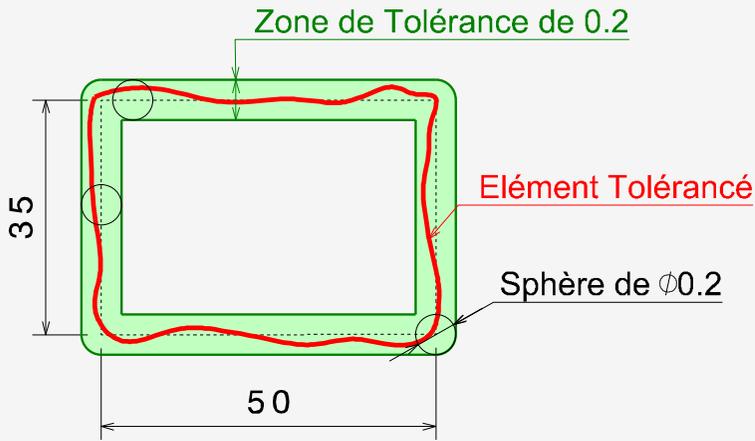
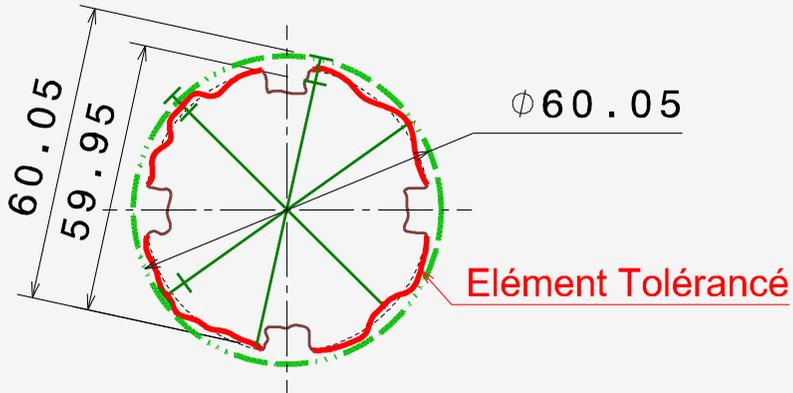


Sans le modificateur UF, le principe d'indépendance s'applique.

Cette écriture est équivalente à :

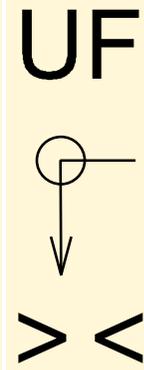


- Un élément unifié peut avoir un élément dérivé, par exemple un axe.
 - La zone de tolérance sera déterminée en faisant parcourir une sphère sur l'élément nominal.
- Il n'est pas applicable pour définir des éléments qui se composent de plusieurs éléments distincts. Par exemple, deux cylindres parallèles non coaxiaux ou coaxiaux avec des diamètres différents.

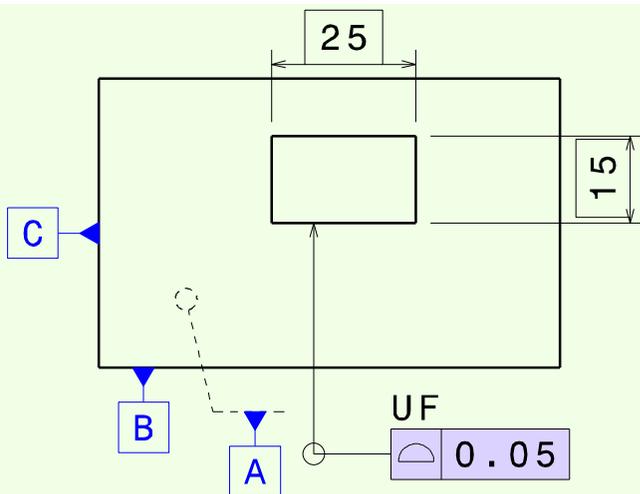


La largeur et la hauteur ne sont pas définies.

Tolérancement de profil

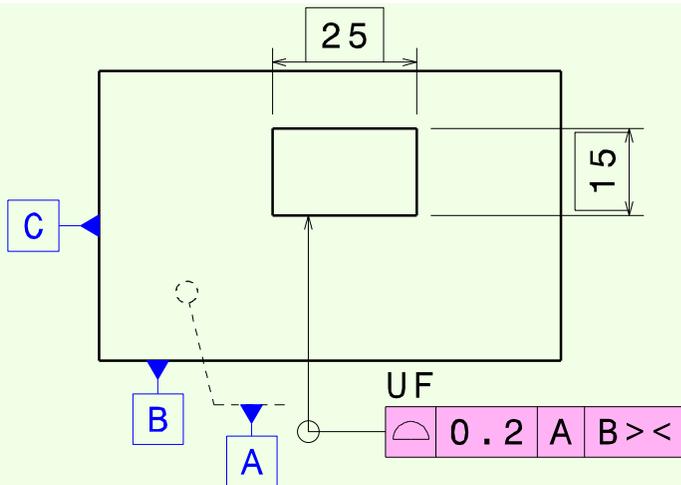


Élément Unifié, Tout autour, Orientation uniquement



Application sur l'exemple d'un trou d'une fenêtre.

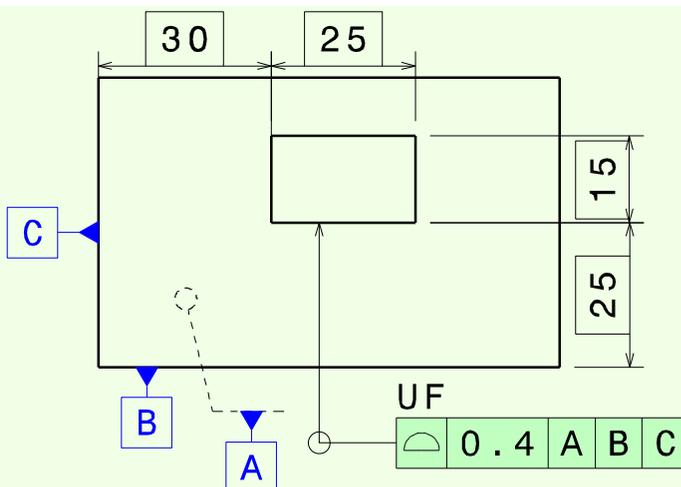
Avec ce tolérancement, le défaut de **forme** du profil est limité pour assurer l'assemblage de la fenêtre avec peu de jeu.



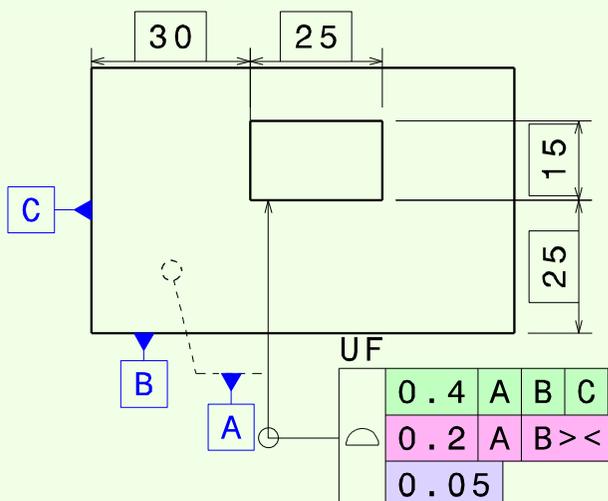
Avec ce tolérancement, il est possible d'**orienter** le trou de la fenêtre par rapport à la référence spécifiée B.

Le modificateur >< signifie : « **Contrainte d'orientation uniquement** ».

La référence spécifiée B n'est utilisée que pour l'orientation.

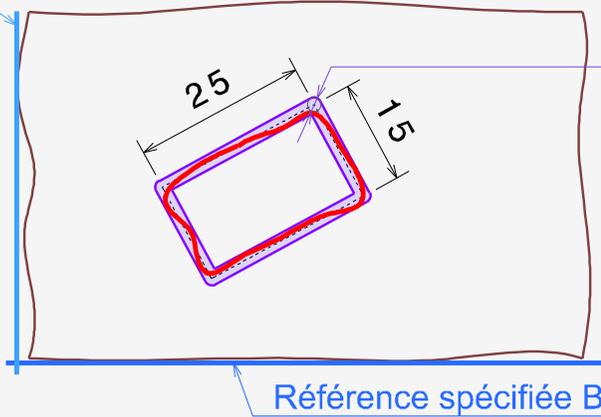


Avec ce tolérancement, il est possible de **positionner** correctement la fenêtre par rapport au système de références spécifiées A, B et C.



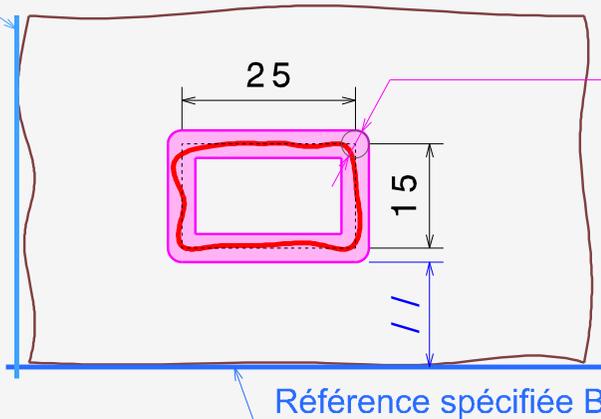
On retrouve la logique d'**inclusion** des tolérances géométriques, à savoir : la tolérance de **position** inclut la tolérance d'**orientation** qui inclut la tolérance de **forme**.

Référence spécifiée C



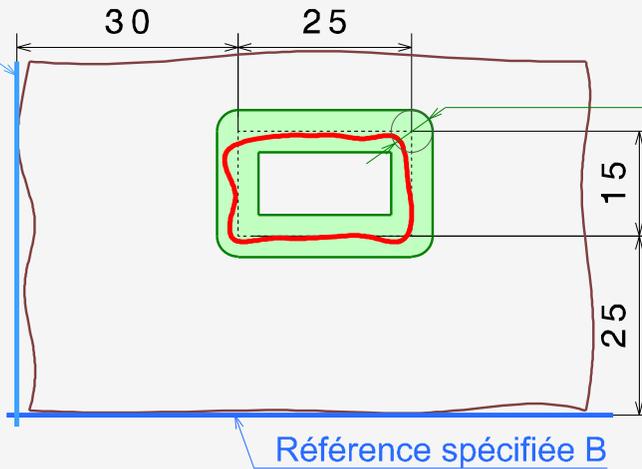
Zone de tolérance de 0.05
Flottante

Référence spécifiée C



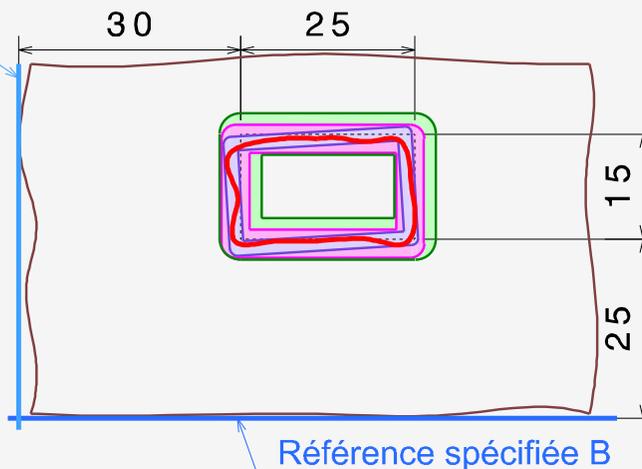
Zone de tolérance de 0.2
Orientée par rapport à B

Référence spécifiée C



Zone de tolérance de 0.4
Positionnée par rapport au système de références A,B,C

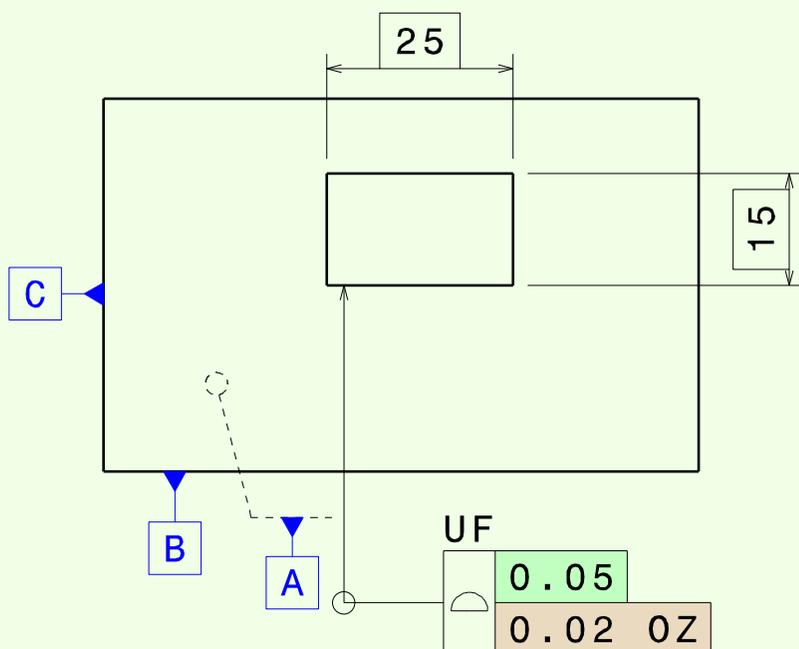
Référence spécifiée C



Offset de la zone de tolérance

OZ

Offset non spécifié de la zone de tolérance



Pour les profils de plus de 180°, afin de restreindre le **défaut de forme sans fixer la taille**, il faut spécifier le modificateur OZ « **Offset Zone** » : offset non spécifié de la zone de tolérance.

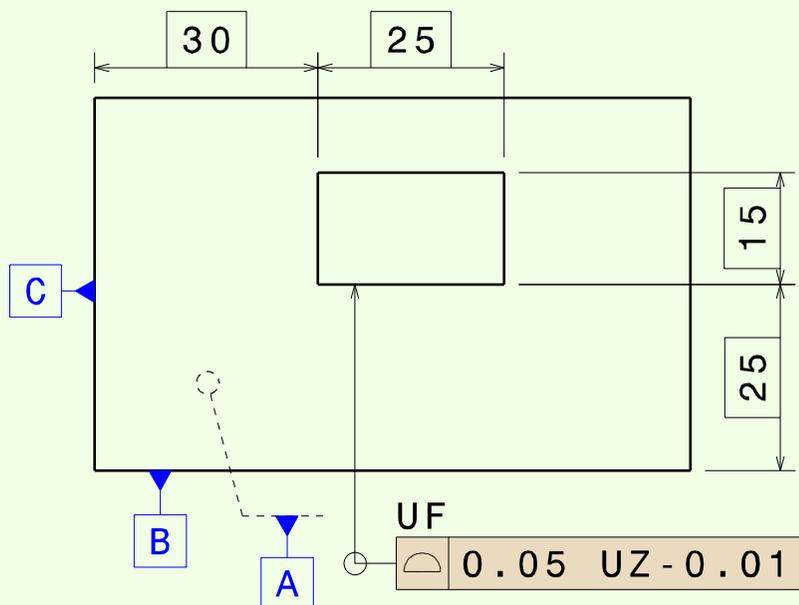
Celui-ci permet de décaler le profil nominal d'une valeur constante quelconque.



Sans le modificateur OZ, la taille est fixée pour les formes supérieures à 180°.

UZ

Offset spécifié de la zone de tolérance



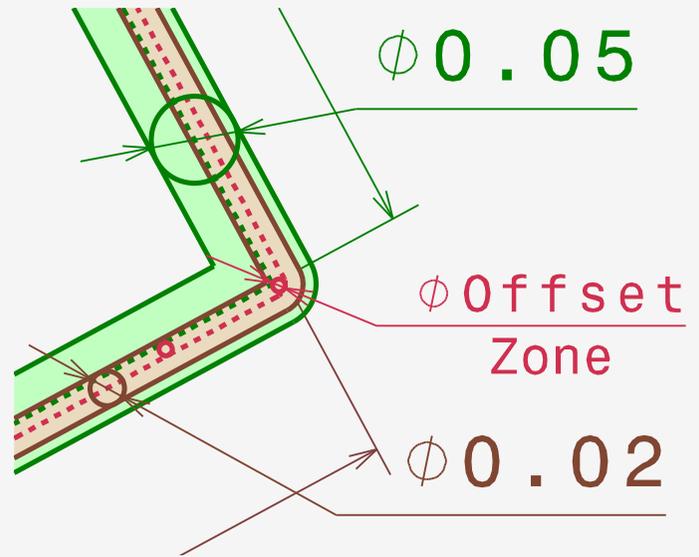
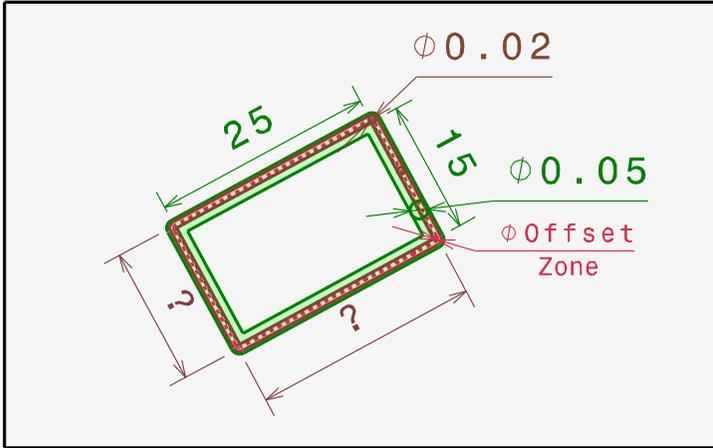
Pour décaler le profil nominal d'une valeur fixe, il faut spécifier le modificateur UZ offset spécifié de la zone de tolérance.

Celui-ci permet de décaler le profil nominal d'une valeur constante spécifiée. Si la valeur est :

- Négative : décalage à l'intérieur de la matière.
- Positive : décalage à l'extérieur de la matière.

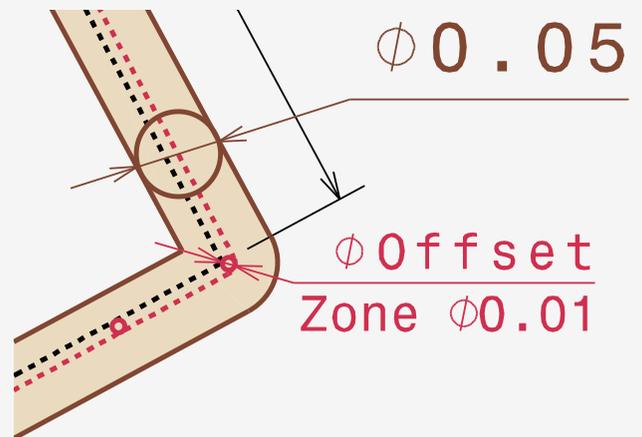
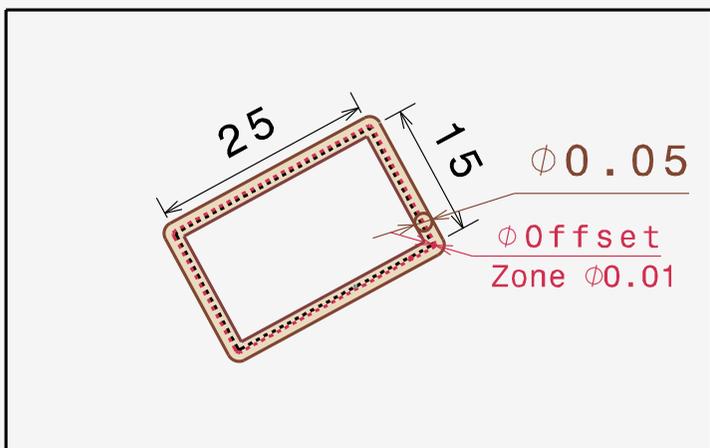


Le modèle numérique 3D ne sera pas centré sur la zone de tolérance.



La zone de tolérance de 0.02mm est construite à partir du profil nominal décalé d'une valeur constante quelconque.

Utilité : OZ permet de limiter la forme sans fixer la taille pour les éléments > 180°.

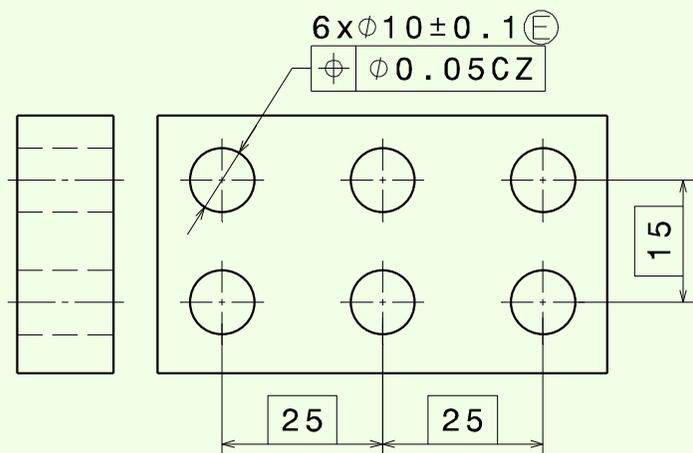


La zone de tolérance de 0.05mm est construite à partir du profil nominal décalé d'une valeur constante de 0.01mm à l'intérieur de la matière.

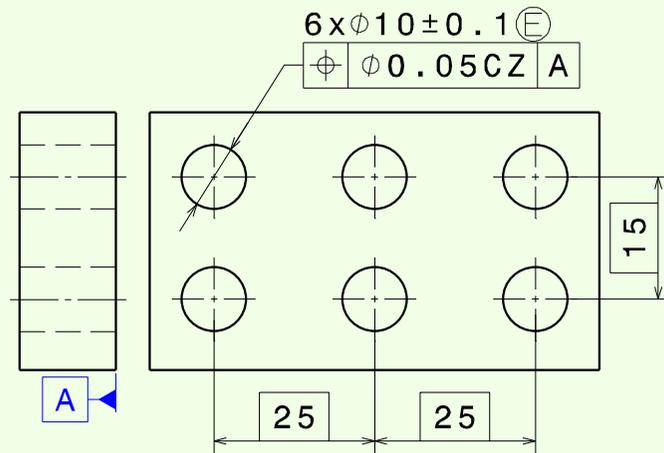
Utilité : UZ permet de tenir compte des revêtements, surépaisseur...

Localisation de groupe

Localisation des trous entre eux

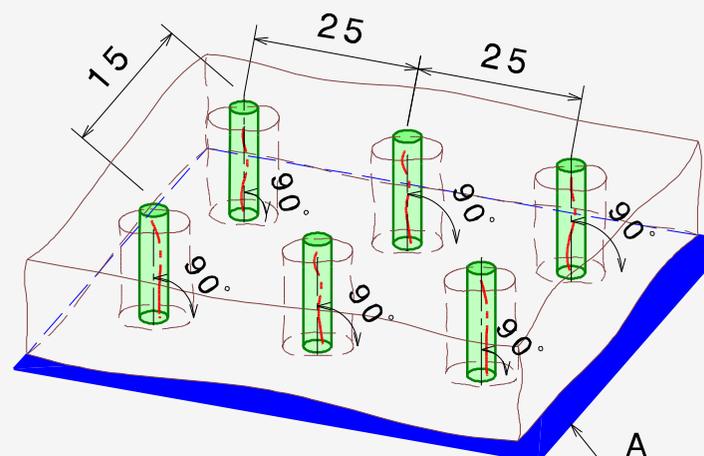
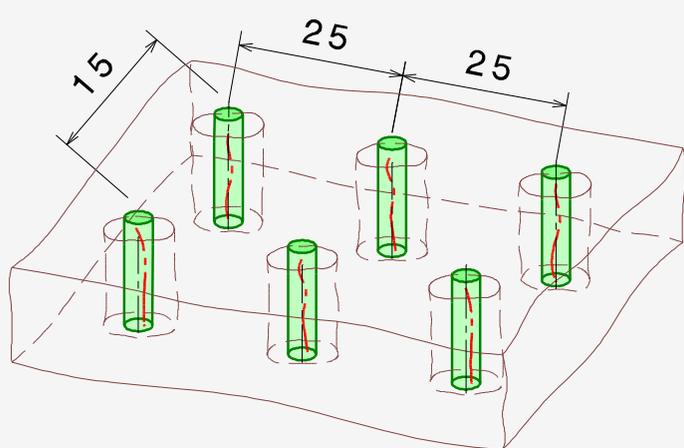
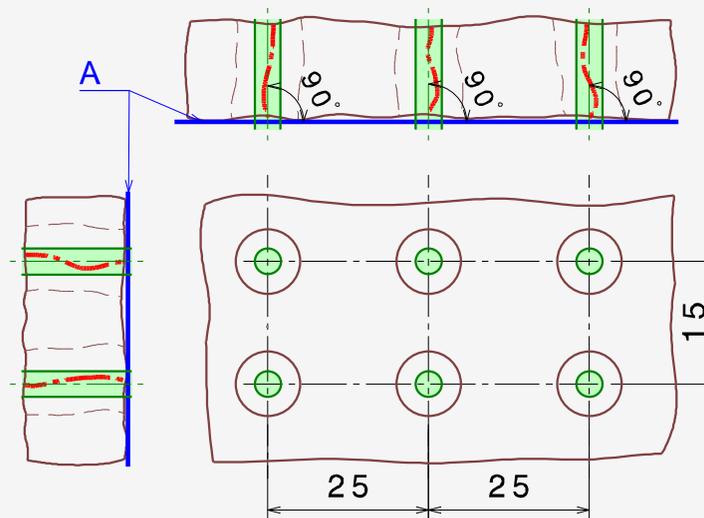
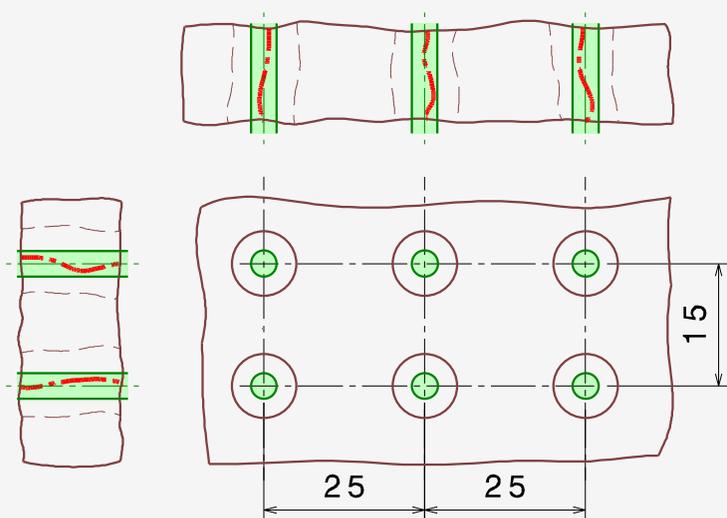


Localisation des trous entre eux et par rapport à un plan de référence



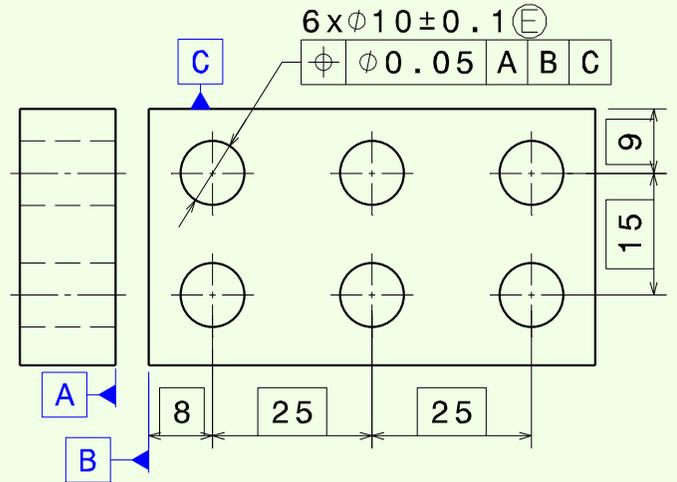
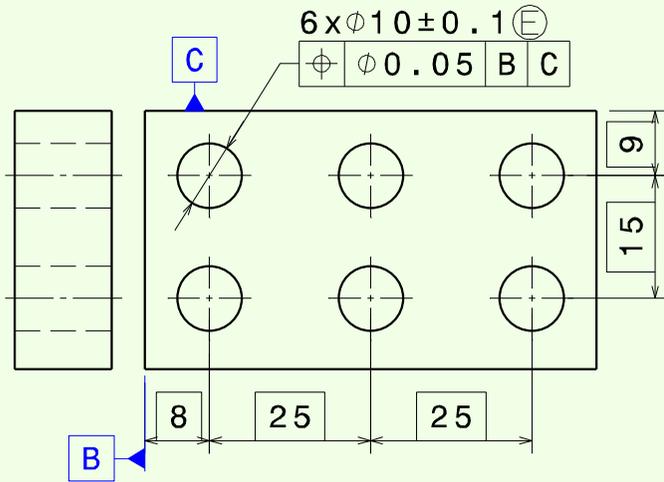
Groupe **flottant** composé des 6 zones de tolérance parfaitement espacées de 15 et 25 mm sans contrainte d'orientation.

Groupe **flottant** composé des 6 zones de tolérance parfaitement espacées de 15 et 25 mm et **perpendiculaires** au plan A.



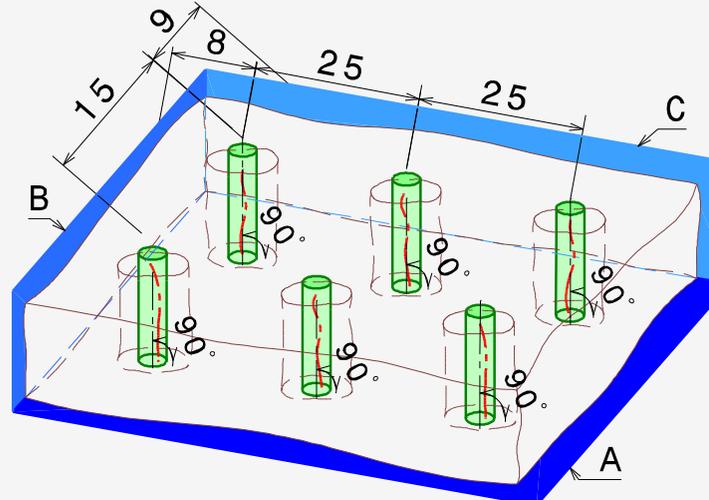
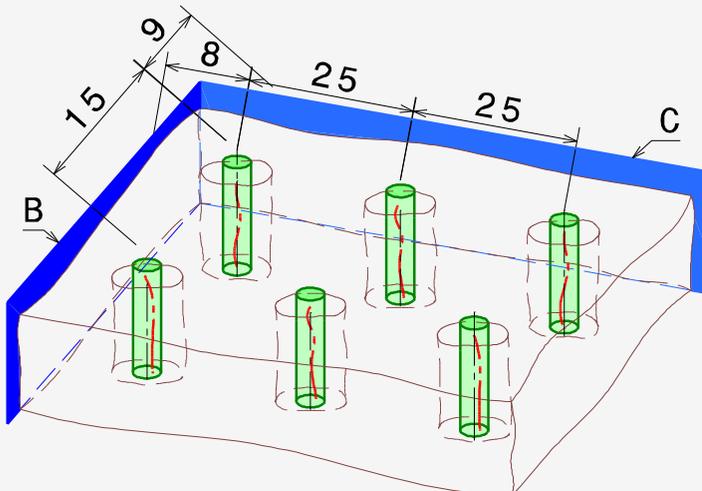
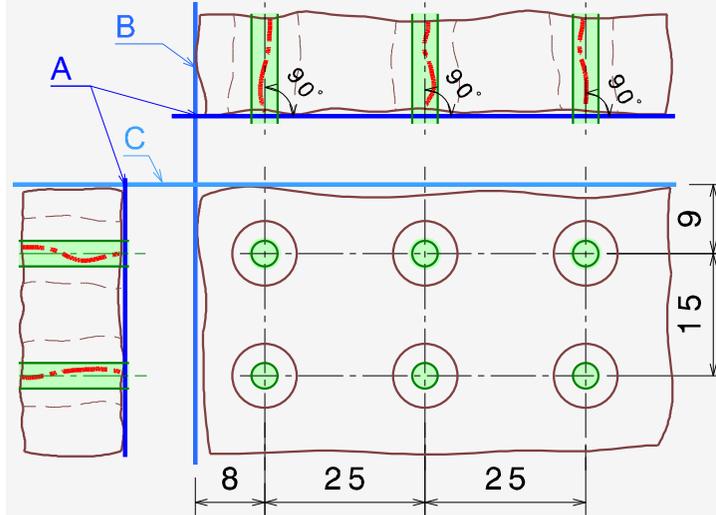
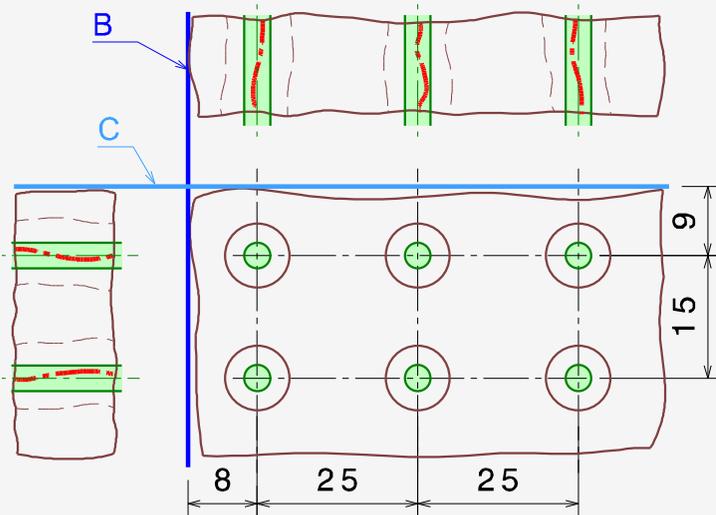
Localisation des trous entre eux et par rapport à un dièdre de référence

Localisation des trous entre eux et par rapport à un trièdre de référence



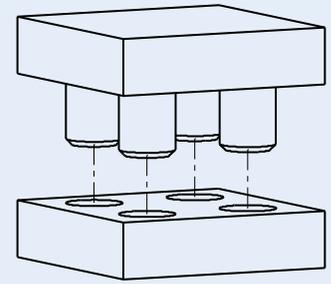
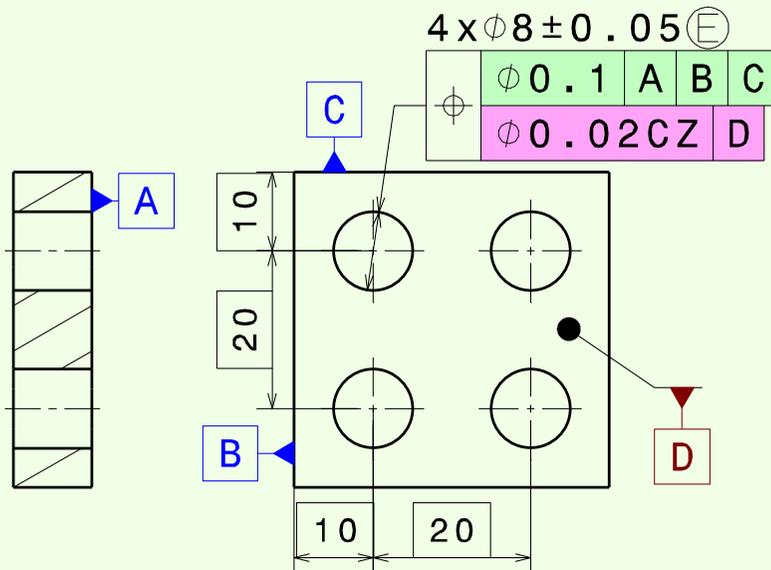
Groupe **fixe**, composé des 6 zones de tolérance parfaitement espacées de 15 et 25 mm.
Le groupe est **positionné** à 8 mm de B et à 9 mm de C.

Groupe **fixe**, composé des 6 zones de tolérance parfaitement espacées de 15 et 25 mm et **perpendiculaires** à A.
Le groupe est **positionné** à 8 mm de B et à 9 mm de C.



Double localisation

Assembler et positionner



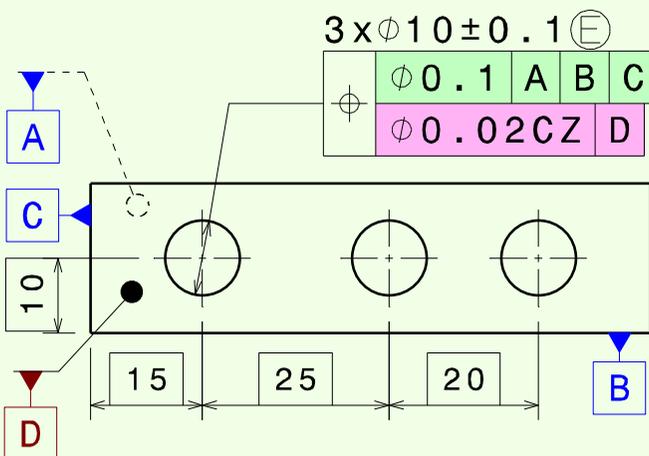
La première localisation par rapport à **A B C** permet de **positionner** l'interface de la pièce supérieure. Elle concerne chaque trou individuellement par rapport au bord de la pièce (le groupe est **fixe**).

La deuxième localisation par rapport à **D** permet d'**assembler**. Elle concerne une restriction de position des trous entre eux uniquement (le groupe est **flottant**).



L'**erreur courante** est de ne spécifier qu'une seule localisation pour positionner et assembler.

Non cumul de tolérances



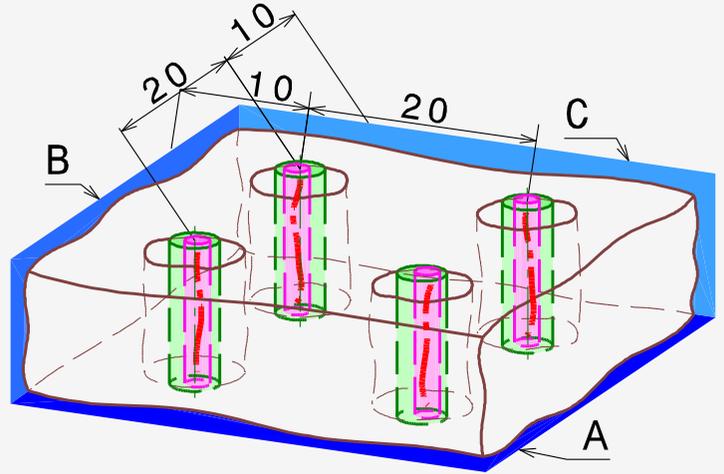
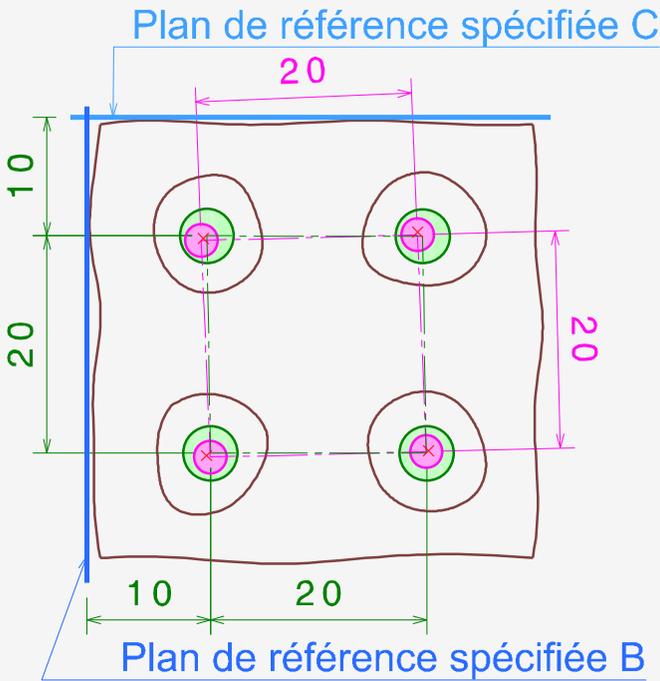
Pour la localisation de $\phi 0.1$ par rapport à **A B C**, la tolérance entre :

- Chaque paire de trous est de ± 0.1 (de \pm l'IT de la localisation).
- Chaque trou par rapport au bord de la pièce est de ± 0.05 (de \pm l' $\frac{IT}{2}$ de la localisation).

Pour la localisation de $\phi 0.02 CZ$ par rapport à **D**, la tolérance entre :

- Chaque paire de trous est de ± 0.02 (de \pm IT de la localisation CZ).

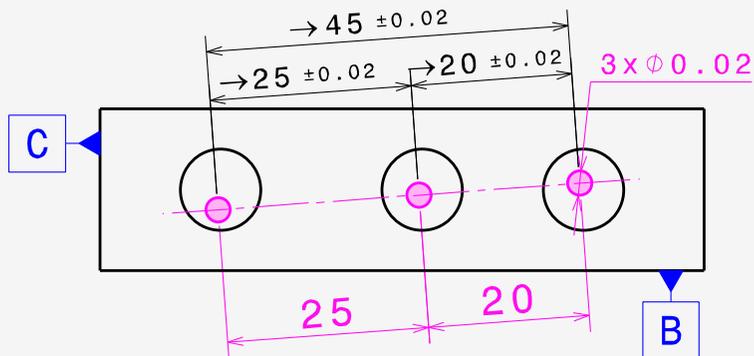
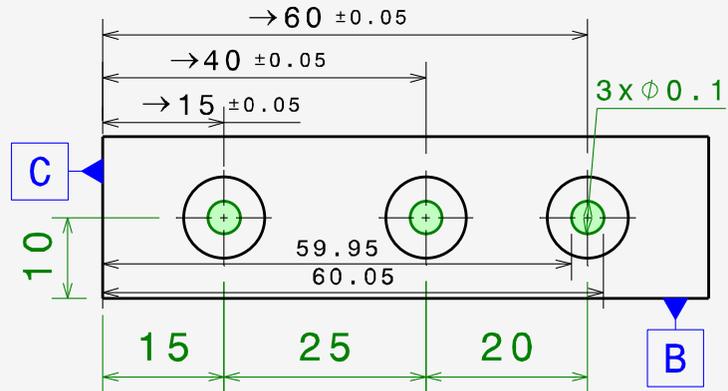
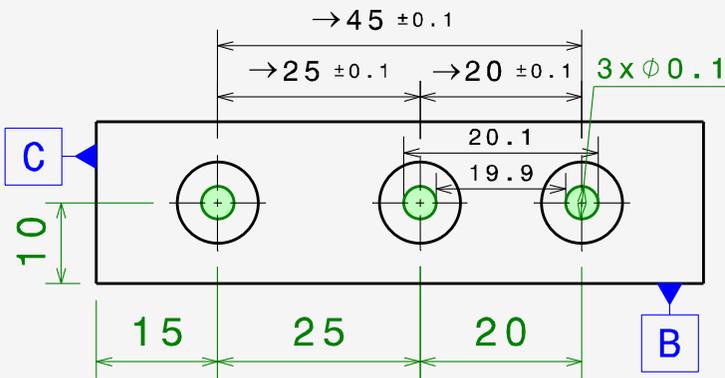
En localisation de groupe



$4 \times \phi 8 \pm 0.05 \text{ (E)}$

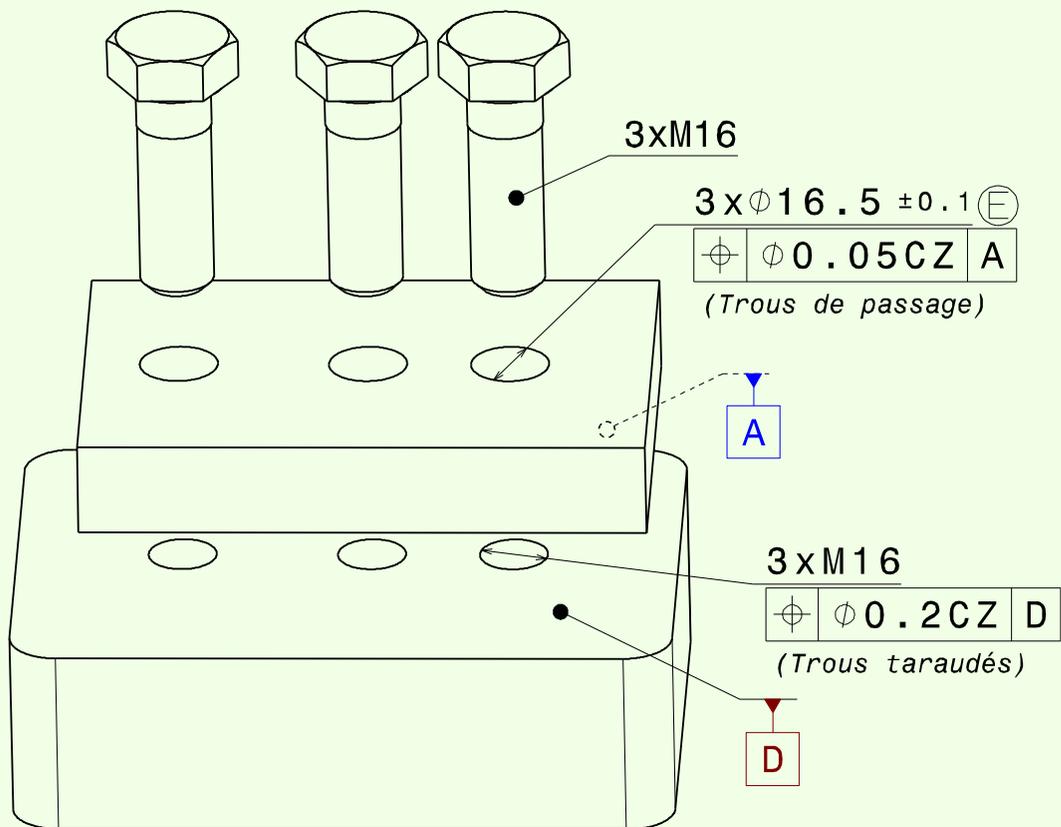
ϕ	$\phi 0.02$	A	B	C
--------	-------------	---	---	---

Spécifier une tolérance d'assemblage pour positionner une interface peut être difficile à obtenir en production.



les tolérances ne se cumulent pas.

Assemblages vissés



Formule pour valider les assemblages vissés :

$$J_{\min} (\phi_{\text{Trous mini}} - \phi_{\text{Vis maxi}}) > IT_{\text{Loca}} \text{ trous de passage} + IT_{\text{Loca}} \text{ trous taraudés}$$

Le jeu mini au diamètre entre les trous et les vis doit être supérieur à la somme des localisations

Application : $16.4 - 16 > 0.05 + 0.2$

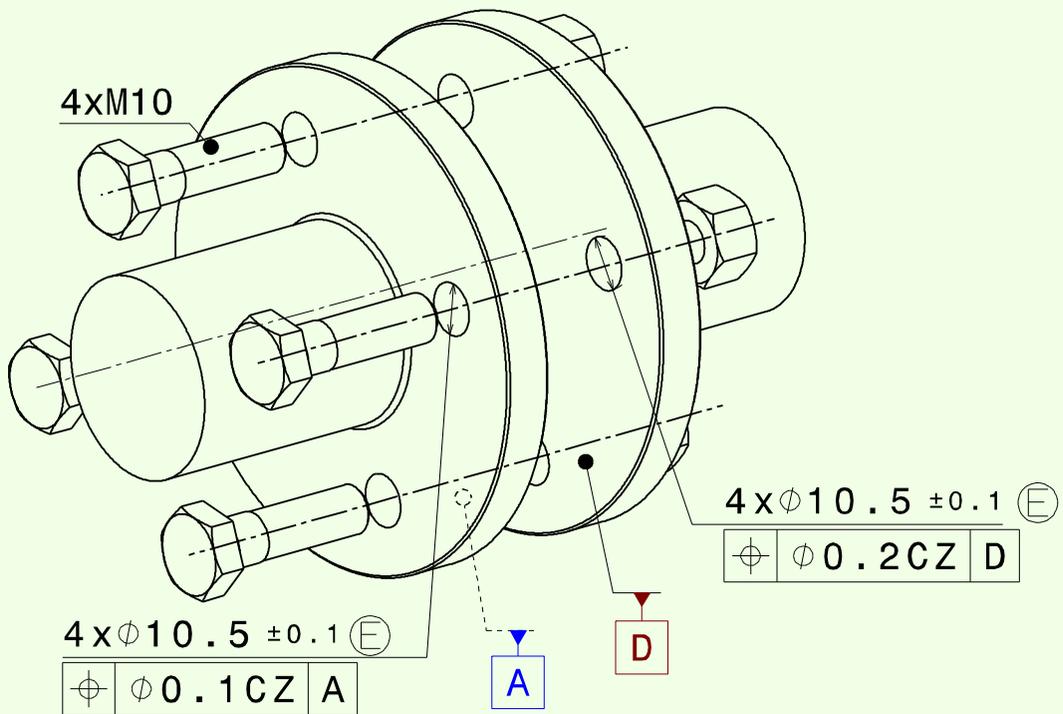
→ $0.4 > 0.25$

→ Il reste un jeu de passage de vis au diamètre de 0.15.

Nota 1 : Le diamètre de vis maxi ne dépasse pas sa désignation
(Ex : M6, $\phi_{\text{maxi}} = 6$).

Nota 2 : La localisation d'un trou taraudé est appliquée au diamètre sur flancs qui peut être simulé par une vis étalon.

Nota 3 : Au niveau des assemblages vissés :
- il faut maximiser la surface d'appui sous tête (frottements, matage).
- une vis se comporte comme un ressort de traction, il faut aussi maximiser la longueur entre l'appui sous tête et le début du filet.



Formule pour valider les assemblages boulonnés ou rivetés :

$$J_{\min} (\varnothing_{\text{Trous mini}} - \varnothing_{\text{Boulons maxi}}) > \frac{1}{2} (\text{IT Loca}_{\text{trous de passage 1}} + \text{IT Loca}_{\text{trous de passage 2}})$$

Le jeu mini au diamètre entre les trous et les boulons doit être supérieur à la moitié de la somme des localisations

Application : $10.4 - 10 > \frac{1}{2} (0.1 + 0.2)$

→ $0.4 > 0.15$

→ Il reste un jeu de passage de vis au diamètre de 0.25.

Nota : Si les diamètres de trous sont différents :

$$\frac{1}{2} (\varnothing_{\text{Trou1 mini}} + \varnothing_{\text{Trou2 mini}}) - \varnothing_{\text{Boulon maxi}} > \frac{1}{2} (\text{IT Loca}_{\text{trous de passage 1}} + \text{IT Loca}_{\text{trous de passage 2}})$$

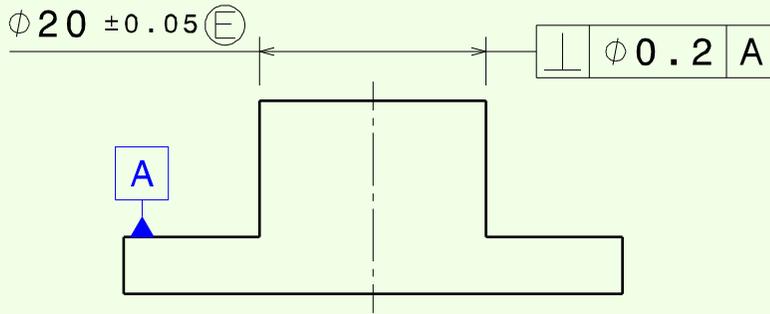
Maximum de matière sur l'élément tolérancé



Etat virtuel au maximum de matière :

Il représente l'encombrement issu de la combinaison d'une dimension de type taille au maximum de matière et d'une tolérance géométrique de type forme, orientation ou position.

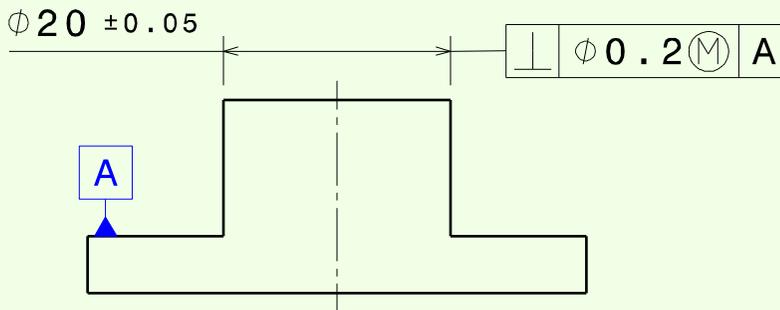
Condition de conformité : La dimension doit être conforme et l'élément tolérancé ne doit pas dépasser l'état virtuel.



Sans max matière

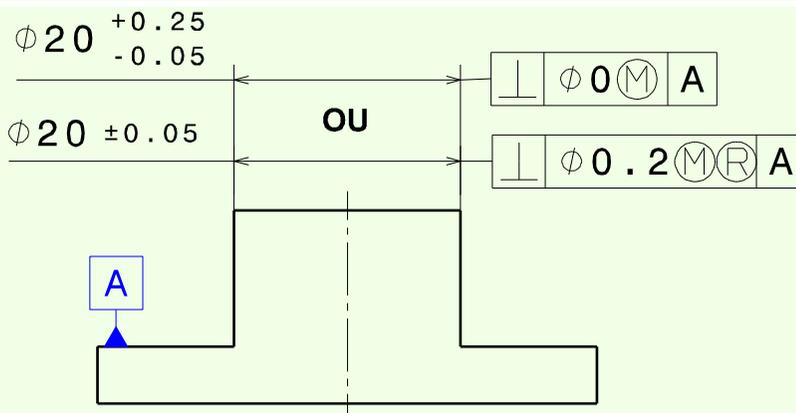
Si la dimension est maximale alors l'encombrement maxi est un cylindre de $\text{Ø}20.25$.
Si la dimension est minimale alors l'encombrement autorisé est un cylindre de $\text{Ø}20.15$.

Maximum de matière



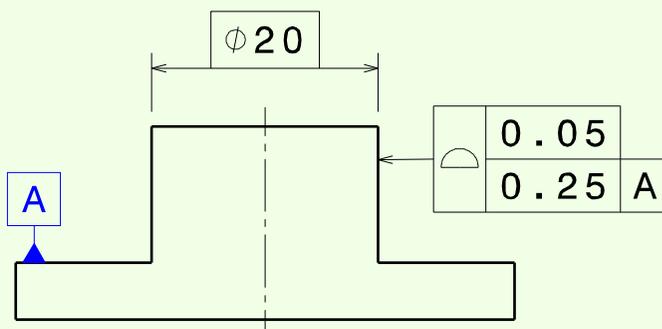
Avec max matière

Le cylindre de $\text{Ø}20 \pm 0.05$, ne doit pas dépasser l'état virtuel au max matière ($\text{Ø}20.25$), quelque soit son défaut de perpendicularité.



Le défaut de perpendicularité est nul lorsque la dimension de la pièce est au maximum de matière ($\text{Ø}20.25$).

Nota : Le max matière et la réciprocité (M)(R) sont un équivalent au 0 (M) .

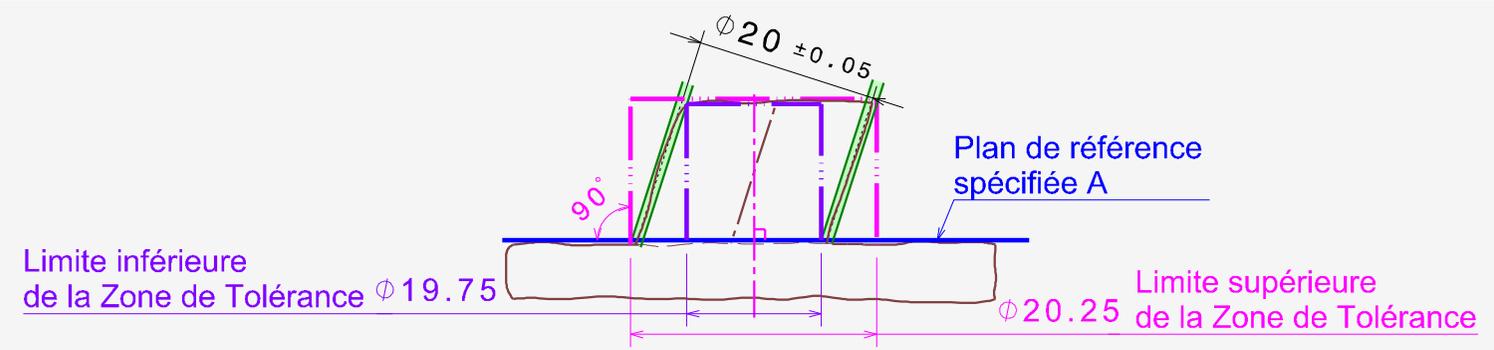
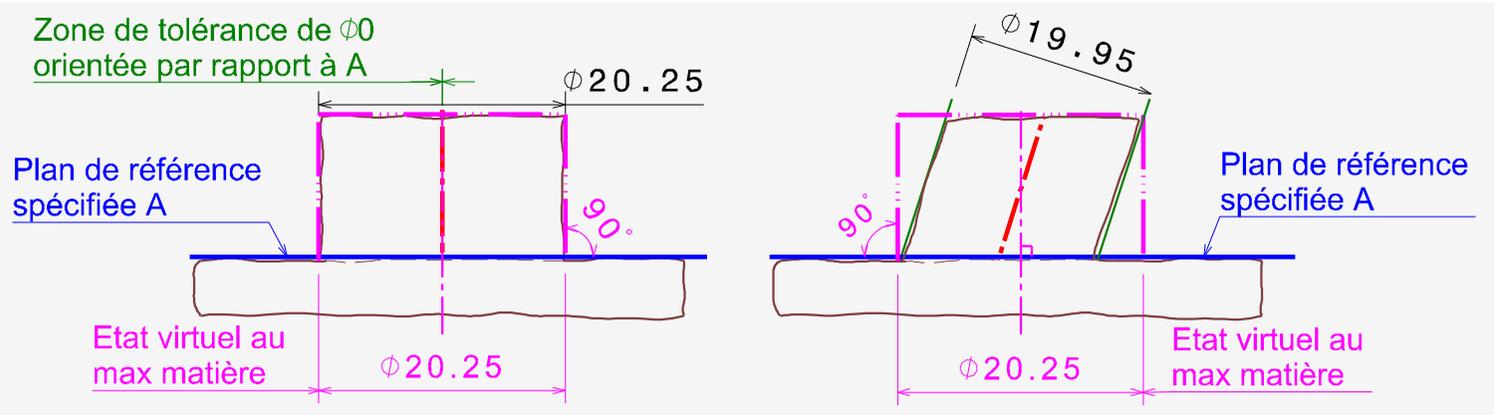
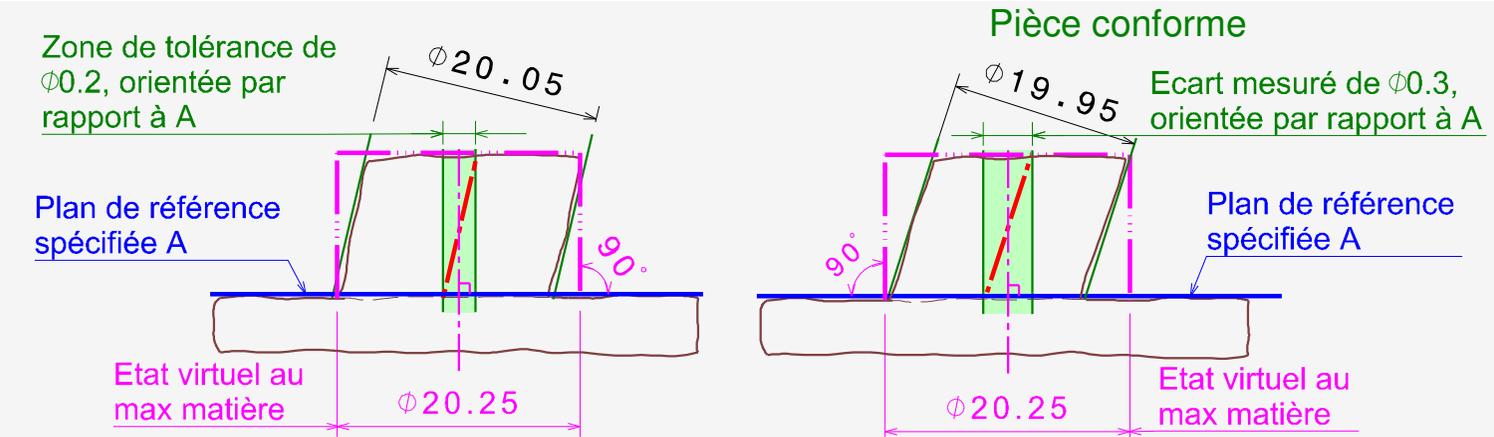
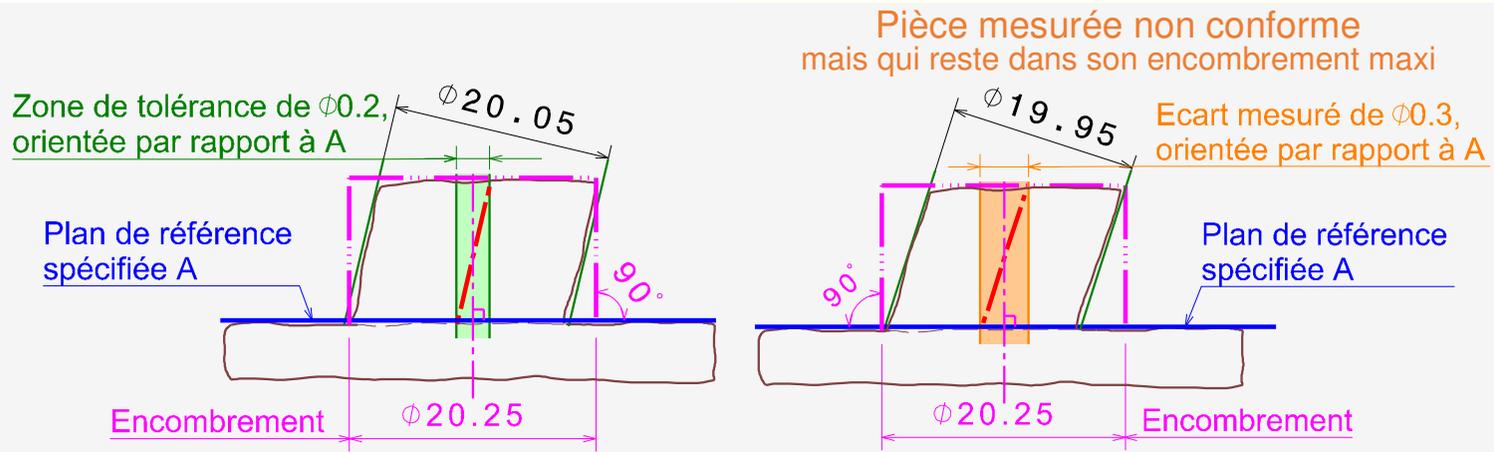


Remarque :
Tolérancement de profil
L'état virtuel au maximum (M) et au minimum (L) de matière est équivalent au tolérancement de profil.

Dimension au maximum de matière : Diamètre maximal pour un arbre et diamètre minimal pour un alésage (dimension pour laquelle la pièce est la plus lourde).

L'état virtuel au maximum de matière est un état de l'élément de forme parfaite. Il est parfaitement orienté et positionné par rapport au système de références spécifiées.

A utiliser uniquement pour les fonctions assemblage avec **jeu**, lorsqu'il y a deux spécifications utilisées pour une même fonction : dimension + tolérance géométrique.



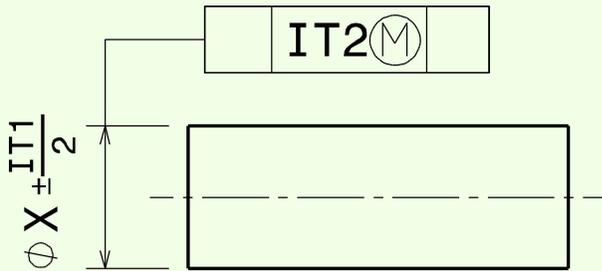
Maximum et Minimum de matière

L'état virtuel est toujours construit en forme, en orientation et en position théoriques



Maximum de matière sur l'élément tolérancé

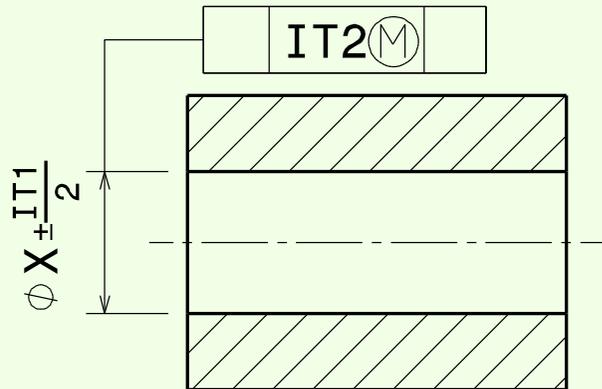
Forme pleine :



Condition :

L'état virtuel doit être extérieur à la matière.

Forme creuse :

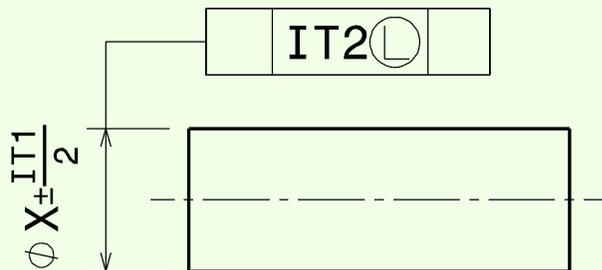


L'état virtuel doit être extérieur à la matière.



Minimum de matière sur l'élément tolérancé

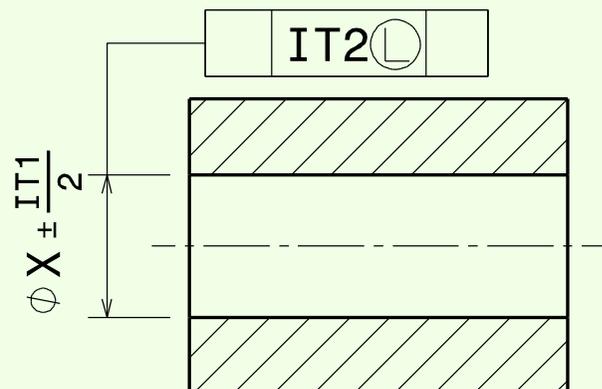
Forme pleine :



Condition :

L'état virtuel doit être intérieur à la matière.

Forme creuse :



L'état virtuel doit être intérieur à la matière.

Maximum de matière

Minimum de matière

Les dimensions locales doivent respecter la condition : $X_{\min i} \leq D_{Li} \leq X_{\max i}$.

Les mesures (ou les capacités) doivent vérifier que la **surface réelle** qui correspond à l'élément tolérancé ne dépasse pas l'**état virtuel**.

Exemple : le bord du cylindre doit rester dans son état virtuel au maximum de matière.

A utiliser **lorsque le jeu est favorable au fonctionnement** (ex : fonction assemblage avec jeu).

Jamais de maximum de matière sur des ajustements serrés ou des filetages/taraudages.

Dimension au maximum de matière :	Dimension de l'état virtuel au maximum de matière :	Défaut maximum autorisé : L'élément tolérancé ne doit pas dépasser l'état virtuel.
$X_{\max i}$	$X_{\max i} + IT_2$	$IT_1 + IT_2$ Lorsque $X = X_{\min i}$
$X_{\min i}$	$X_{\min i} - IT_2$	$IT_1 + IT_2$ Lorsque $X = X_{\max i}$

A utiliser **lorsque le jeu est défavorable au fonctionnement** (ex : positionnement d'un équipement).

Dimension au minimum de matière :	Dimension de l'état virtuel au minimum de matière :	Défaut maximum autorisé : L'élément tolérancé ne doit pas dépasser l'état virtuel
$X_{\min i}$	$X_{\min i} - IT_2$	$IT_1 + IT_2$ Lorsque $X = X_{\max i}$
$X_{\max i}$	$X_{\max i} + IT_2$	$IT_1 + IT_2$ Lorsque $X = X_{\min i}$

Pièces non rigides



Pièce non rigide :

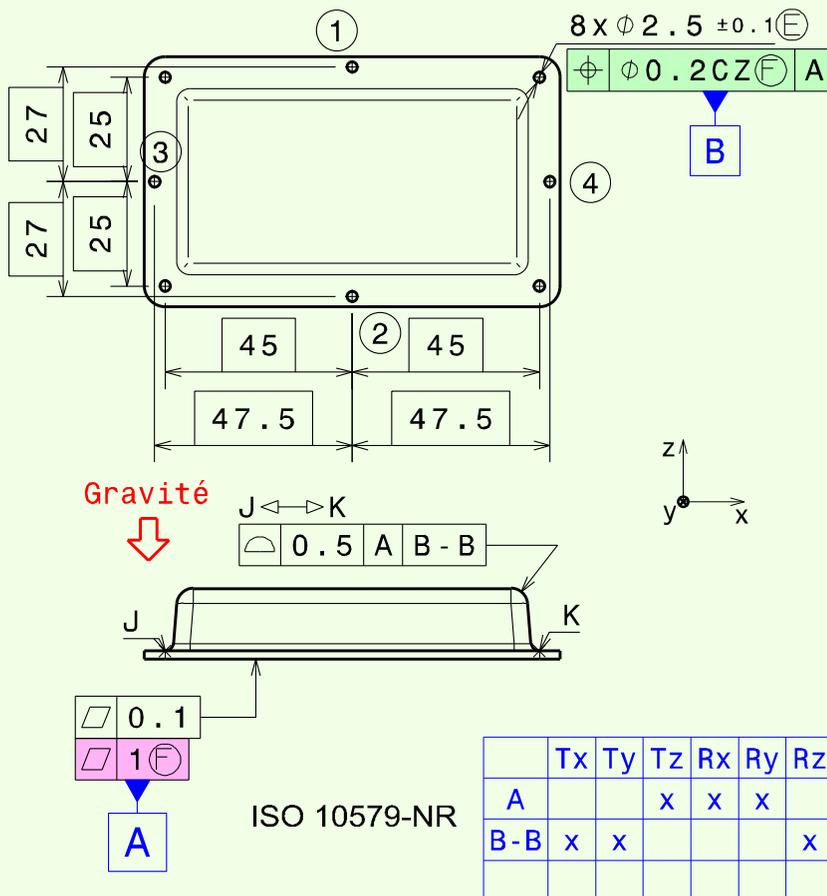
Pièce qui se déforme d'une valeur telle que, à l'état libre, elle puisse être en dehors des tolérances dimensionnelles et/ou géométriques du dessin.

Etat libre

Etat d'une pièce soumise uniquement à la force de gravitation.



Ce type de tolérancement peut nécessiter un outillage de contrôle spécifique



La **localisation de groupe** des trous de passages de vis est contrôlée à l'état libre car ils doivent rester accessibles lors du contrôle et la déformation a peu d'influence sur leur positionnement.

La **planéité** est vérifiée à l'état libre et à l'état contraint

Conditions de mise en contrainte :

La surface indiquée comme référence spécifiée A est montée avec 8 vis M2 serrés avec un couple de 0.2 N·m dans l'ordre suivant :

- ① & ②
- ③ & ④
- puis les autres



Vérifier l'accessibilité des éléments tolérancés à l'état contraint

Nota : l'état libre peut être appliqué à une dimension.

Pièces non rigides



Si la norme **ISO 10579-NR** est indiquée, toutes les spécifications sont définies à l'état contraint.

Nota : Les dessins de pièces non rigides doivent comporter, selon le cas, les indications suivantes :

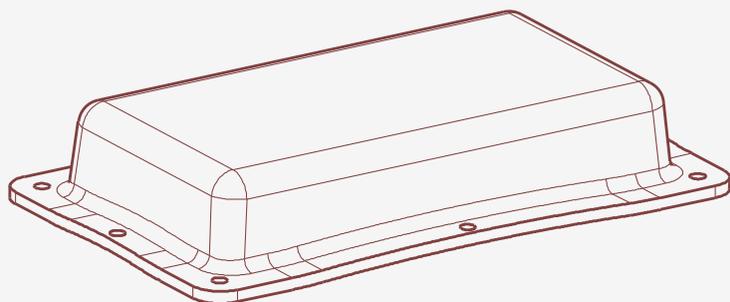
- La référence à la norme **ISO 10579 -NR**,
- Les conditions de mises en contraintes,
- Les contrôles à l'état libre \textcircled{F} ,
- Les conditions dans lesquelles la tolérance géométrique à l'état libre est assurée (gravité, orientation de la pièce, ...).



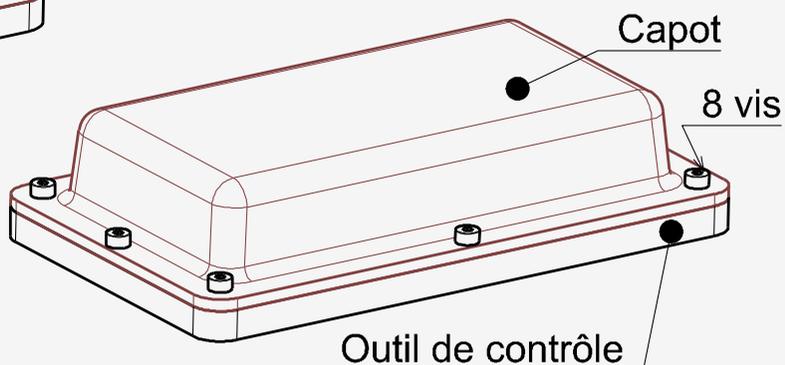
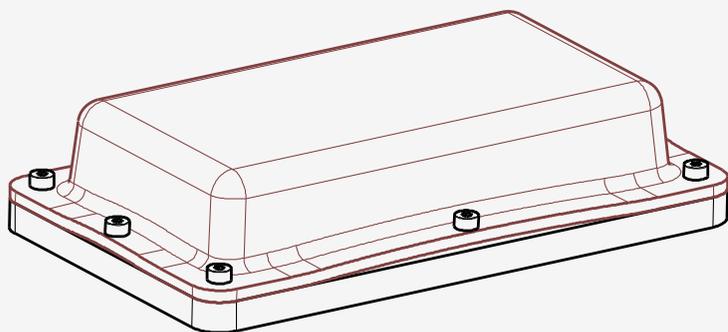
Vue de face



Vue de gauche



La pièce se déforme lors de son démoulage mais se redressera lors de son montage avec les vis



Le modificateur \textcircled{F} permet de vérifier si les déformations, à l'état libre, ne sont pas trop importantes et d'éliminer le risque d'endommager la pièce lors de son assemblage.

Tableau de synthèse des systèmes de références

Le tableau de synthèse définit le tolérancement à effectuer pour assurer la fonction assemblage suivant que l'entité de la référence est primaire, secondaire ou tertiaire en adaptant les noms des références.

A

B

C

Nota : Ce tableau permet de créer plusieurs milliers de systèmes de références.

Exemple : Référence primaire plan →

Référence secondaire cylindre → $\phi 5 \pm \frac{it}{2} \text{E}$

Référence tertiaire groupe de trous → $2 \times \phi 10 \pm \frac{it}{2} \text{E}$

A

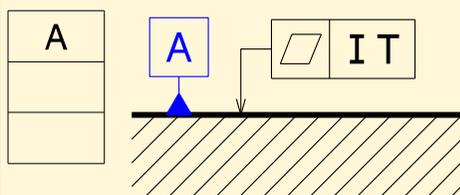
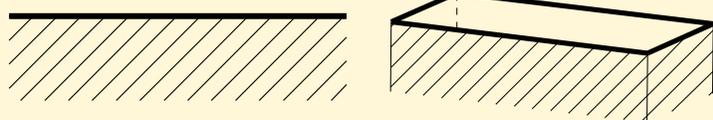
B

C-C

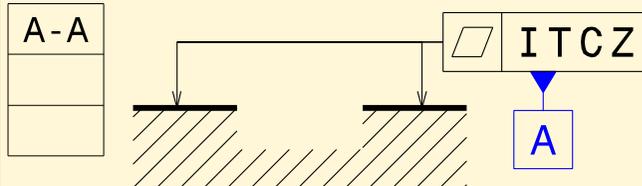
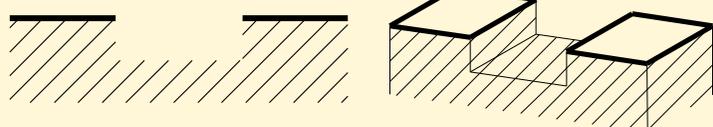
Éléments Surfauques

Références Primaires

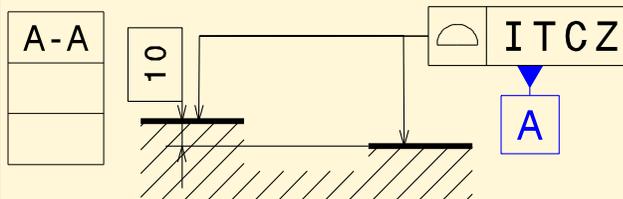
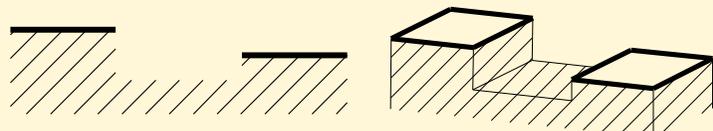
Plan



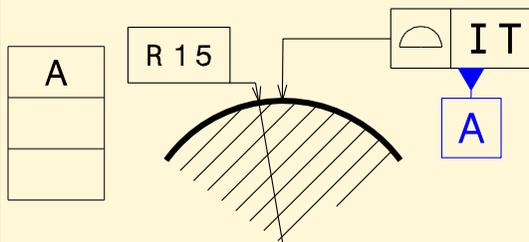
Plans coplanaires



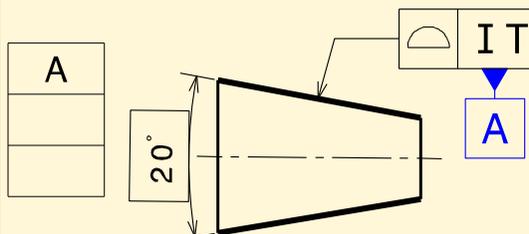
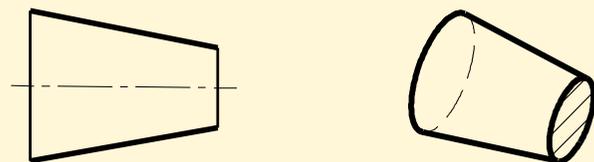
Plans décalés



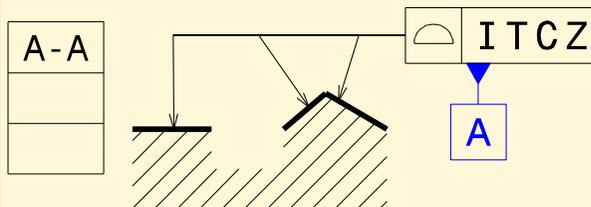
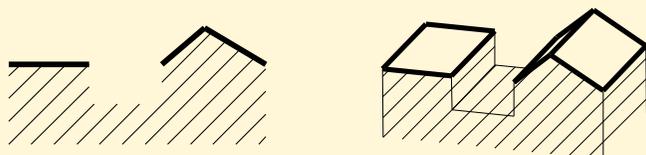
Surface simple (bord sphère, cylindre ... < 180°)



Surface simple cône



Surfaces simples combinées



Nota : Pour les éléments de type Taille avec jeu favorable à l'assemblage, il peut être recommandé de spécifier du maximum de matière M dans la tolérance géométrique (retirer CZ si présent), et de supprimer l'exigence d'enveloppe sur la taille linéaire.

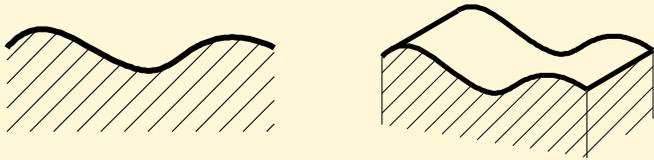
La spécification de position remplace l'orientation si la surface tolérancée est parallèle à une des références ou s'il existe une contrainte de position pour assurer l'assemblage.

IT

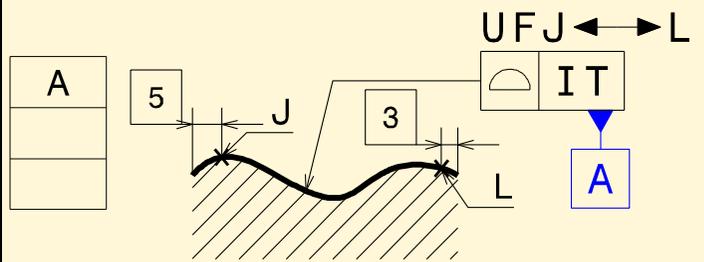
(1)

Références Secondaires		Références Tertiaires	
B		C	
B-B		C-C	
B-B		C-C	
B		C	
B		C	
B-B		C-C	

Surface complexe ou surfaces unifiées

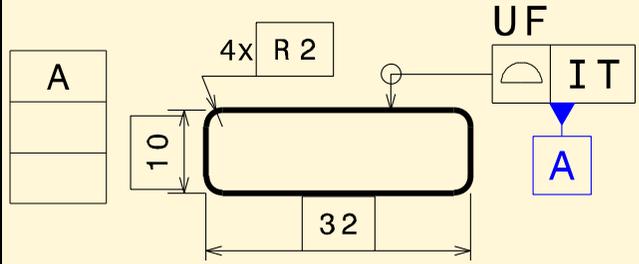


Définition théorique : voir 3D en cote moyenne



Contour fermé

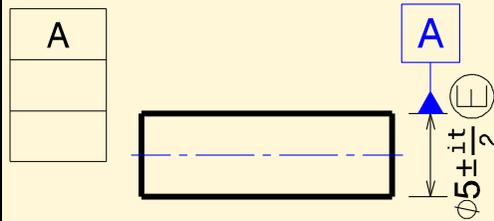
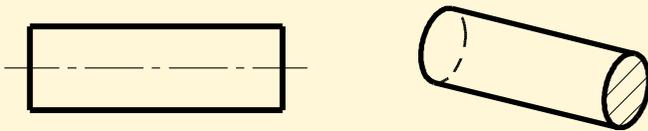
La référence est obtenue sous critère des moindres carrés moyens [GM]



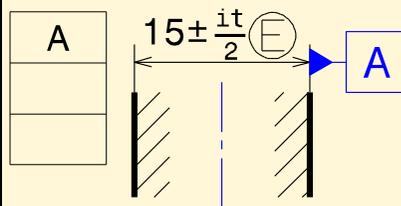
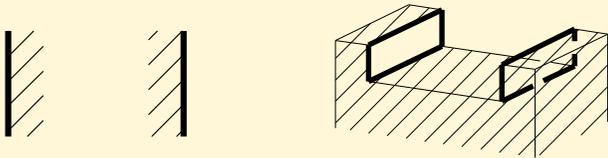
Éléments Tailles

Références Primaires

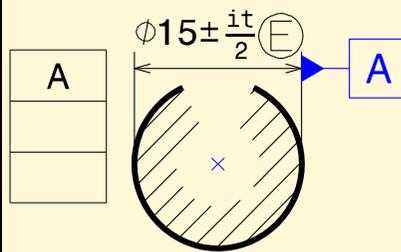
Cylindre ou trou cylindrique



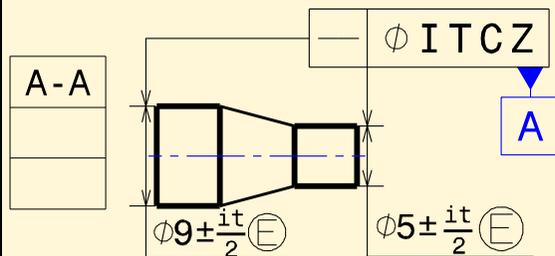
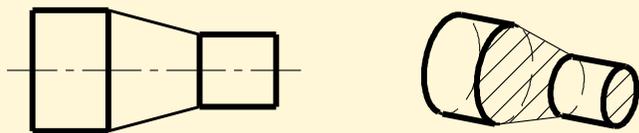
Plans parallèles symétriques ou trou oblong



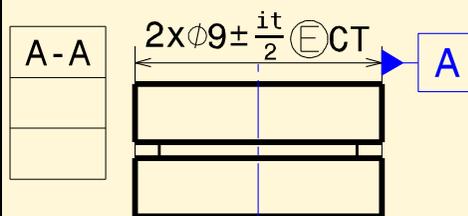
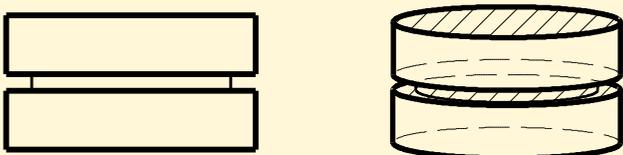
Sphère (>180°)

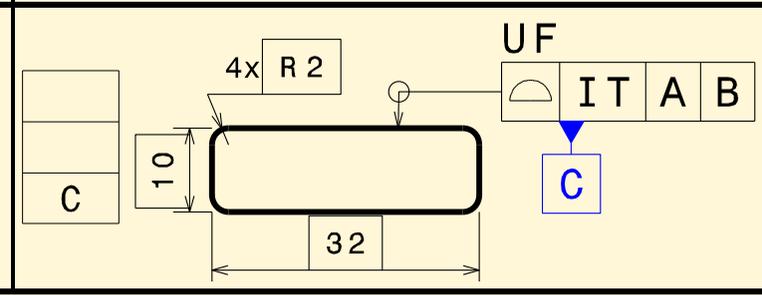
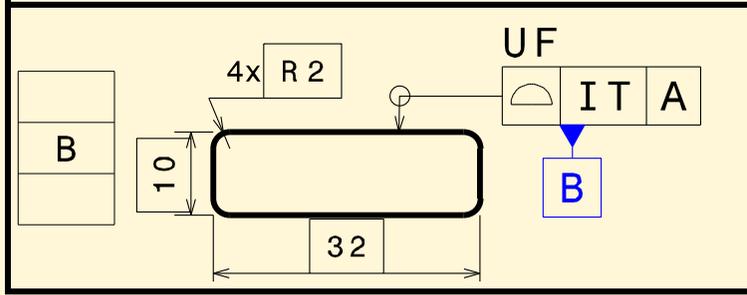
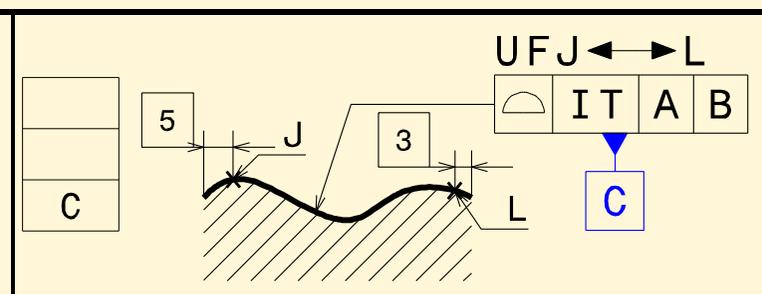
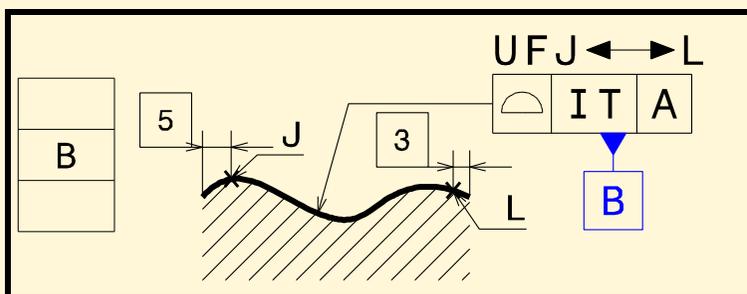


Cylindres coaxiaux espacés



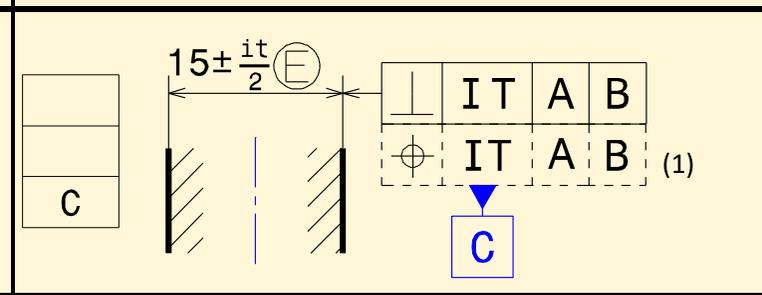
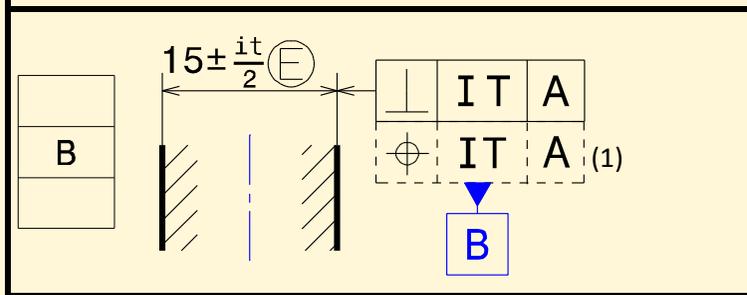
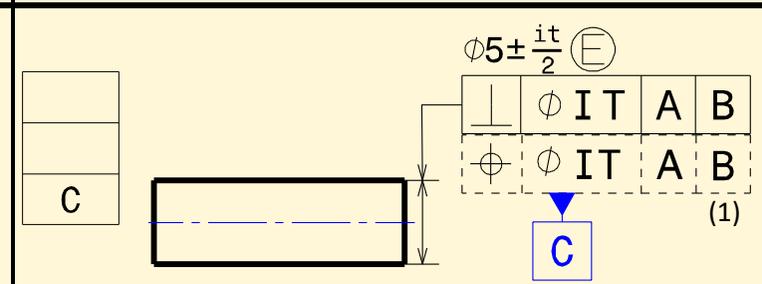
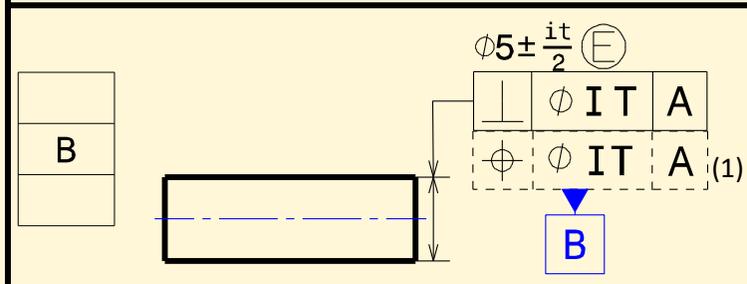
Cylindres coaxiaux rapprochés





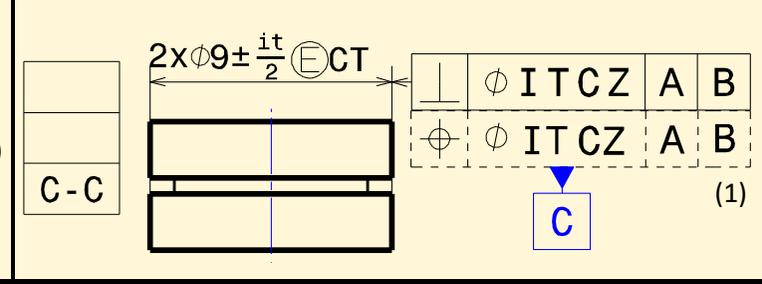
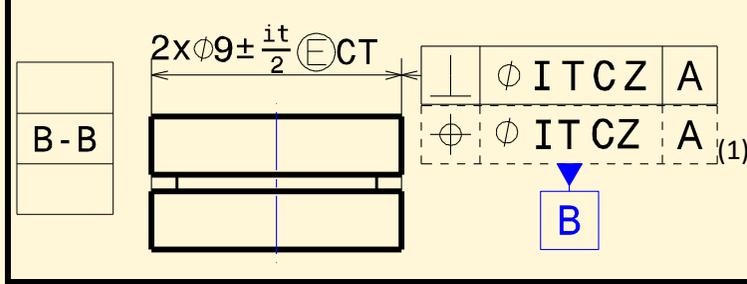
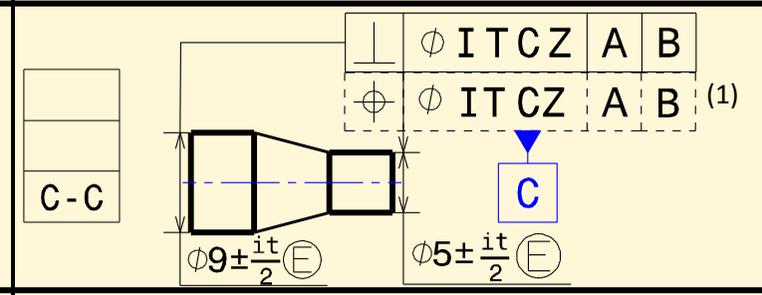
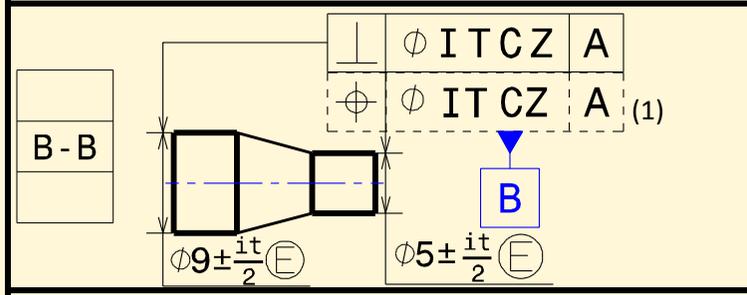
Références Secondaires

Références Tertiaires

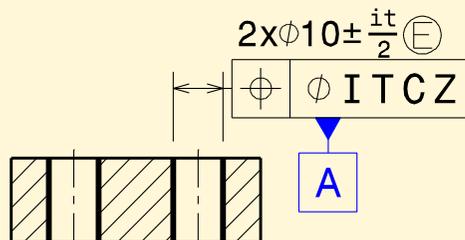
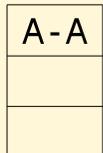
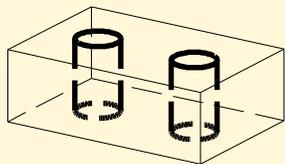
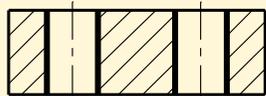


Pas de sphère en référence secondaire

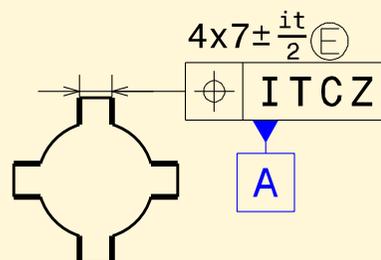
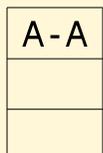
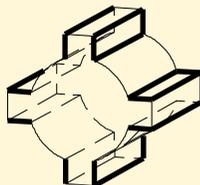
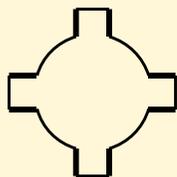
Pas de sphère en référence tertiaire



Groupe de cylindres non coaxiaux



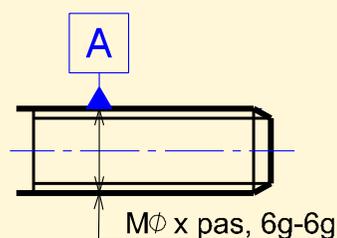
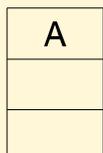
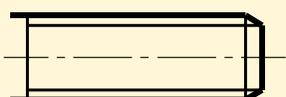
Groupe de plans parallèles symétriques



Eléments Filetages / Taraudages

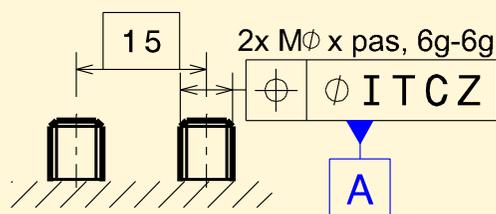
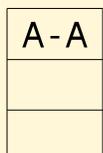
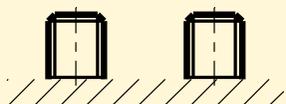
Références Primaires

Filetage

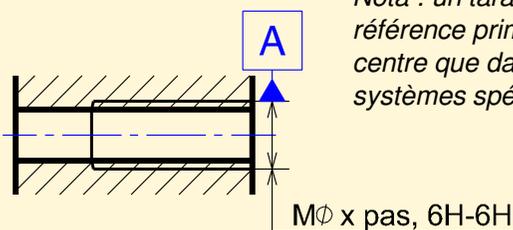
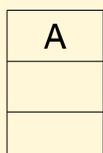
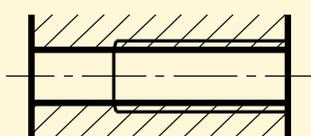


Nota : un filetage en référence primaire ne centre que dans des systèmes spécifiques

Groupe de filetages

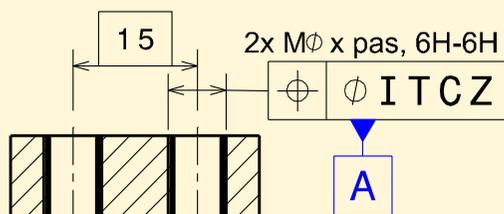
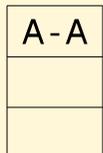


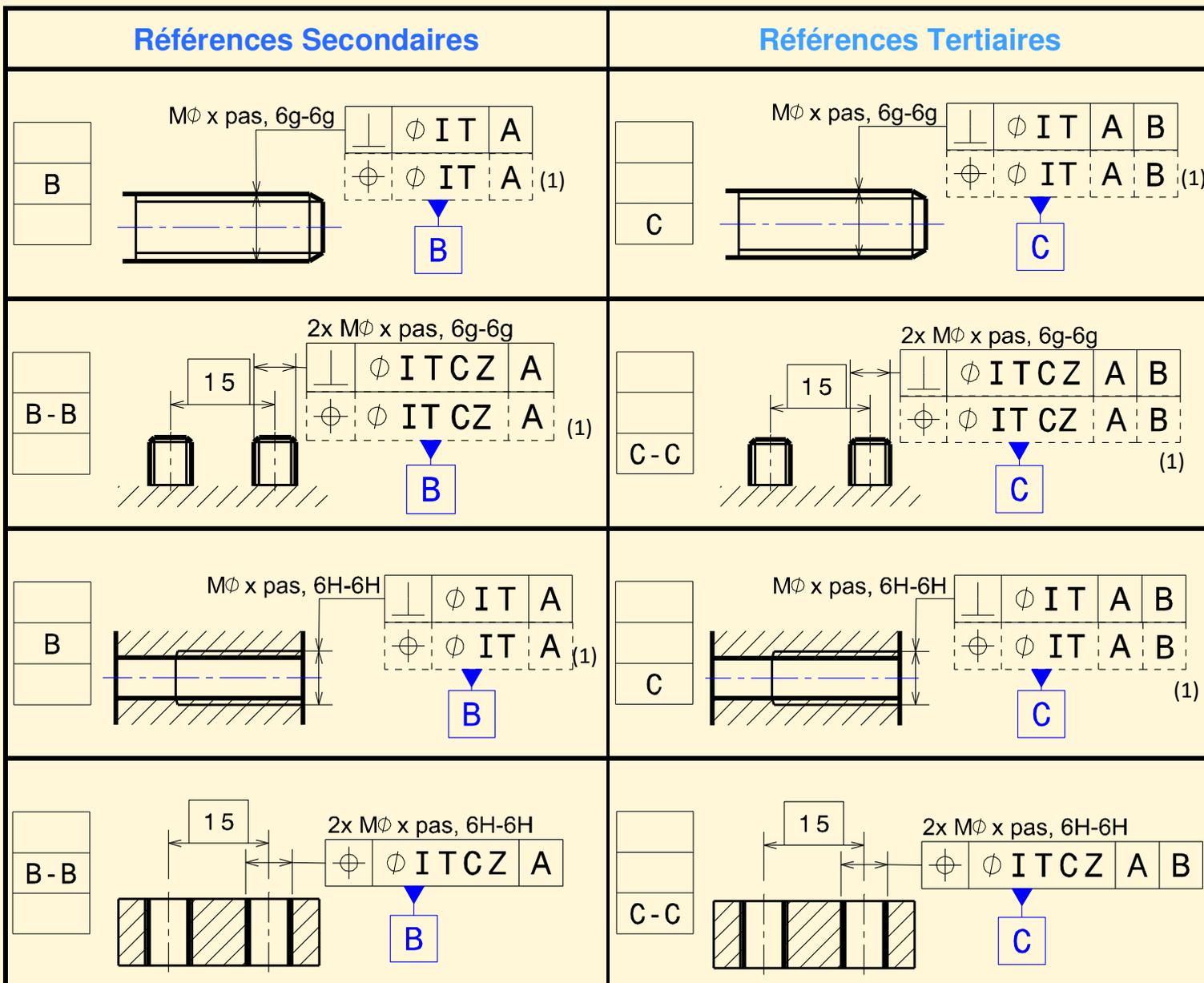
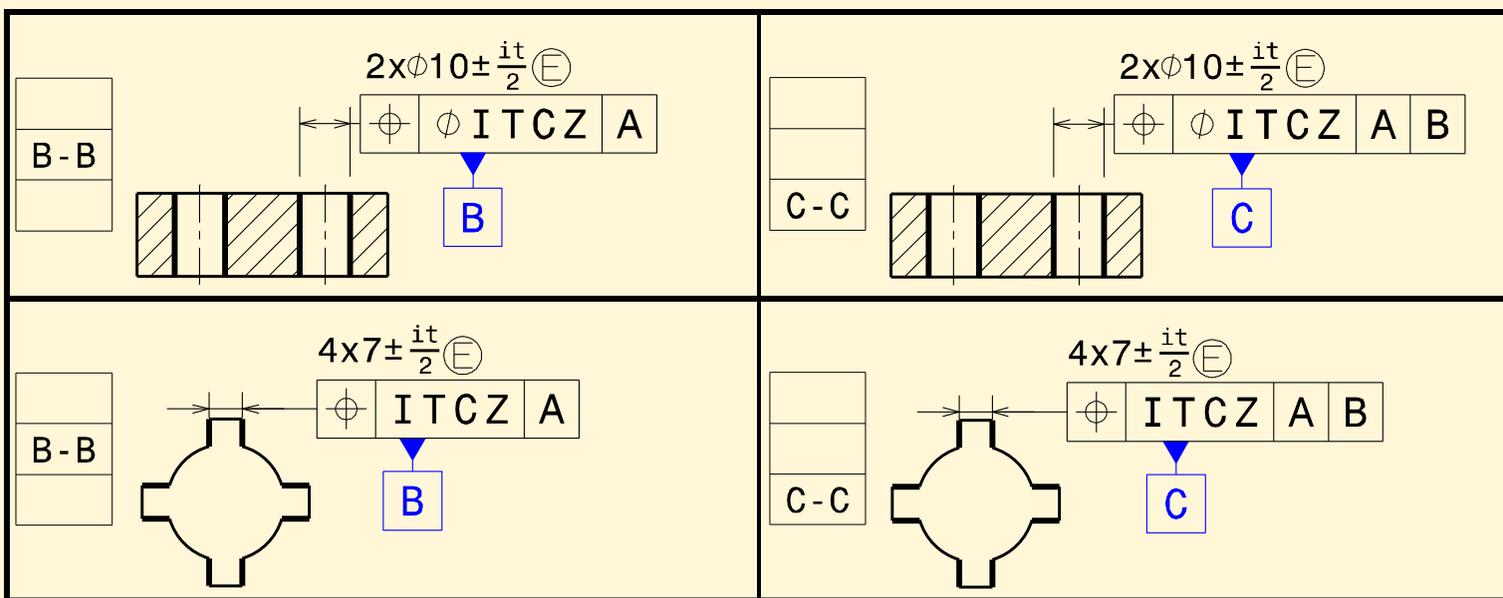
Taraudage



Nota : un taraudage en référence primaire ne centre que dans des systèmes spécifiques

Groupe de taraudages





Check-list : Réalisation de plans

Etape 1 : éléments à connaître

- 3D de la pièce et son environnement (pièces en contact ou liées fonctionnellement)
- La méthode d'assemblage
- Les différents modes de fonctionnement (analyse fonctionnelle si elle existe)

Etape 2 : établir et nommer les fonctions du produit (F01...)

- Assemblage ou Montabilité (à faire en priorité)
- Esthétisme (ex : la constance d'un jeu)
- Etanchéité
- Fonctionnement (manœuvre)
- Résistance (à l'effort, à l'ambiance...)
- Confort-Ergonomie (jeu ressenti, bruit, ...)
- Réglementation ou Sécurité

Etape 3 : établir le système de références principal et son tableau d'isostatisme

Celui-ci représente l'environnement parfait qui a donné la position finale de la pièce dans l'espace pendant son fonctionnement. L'environnement peut être une pièce en contact ou un moyen d'assemblage.

⇒ Si plusieurs phases de vie d'utilisation, il peut y avoir plusieurs systèmes de références principaux

- Limiter le défaut de forme de l'élément de référence primaire (en CZ si plusieurs éléments)
⇒ Inférieur à 1/3 de la plus petite tolérance de position associée à l'élément de référence considéré
⇒ Etablir le lien avec la fonction Montabilité
- Limiter le défaut d'orientation ou de position de la réf. secondaire par rapport à la primaire
⇒ Chaine de cotes d'assemblage + Etablir le lien avec la fonction Montabilité
- Limiter le défaut de position ou d'orientation de la réf. tertiaire / à la primaire et secondaire
⇒ Chaine de cotes d'assemblage + Etablir le lien avec la fonction Montabilité
- Mettre le tableau d'isostatisme proche du cartouche

Etape 4 : établir les systèmes de références d'équipements

Ceux-ci représentent les interfaces des composants assemblés sur la pièce à tolérer

- Limiter le défaut de forme, orientation et position des éléments de références
⇒ Comme pour le système de références principal
⇒ Validation complète des interfaces et des fonctions assemblage
- Nommer chaque système et les écrire au dessus du tableau d'isostatisme

Etape 5 : positionner les équipements et traiter les autres fonctions produit

- Positionner les équipements de façon à obtenir les chaînes de cotes les plus courtes
- Identifier les comportements non-linéaires et restreindre les défauts d'orientation concernés
- Répartir les IT avec $IT = \Sigma(IT)$ ou avec un calcul statistique
- Vérifier leur cohérence par rapport aux normes de tolérances générales des métiers concernés
- Faire le lien avec les fonctions

Etape 6 : Max matière

- Le spécifier sur l'élément tolérancé uniquement pour les fonctions assemblage avec jeu

Etape 7 : tolérances générales

- Spécifier les tolérances générales pour les éléments non fonctionnels
⇒ Soit en appelant une norme métier avec le lien mesure par rapport au système de ref. principal
⇒ Soit avec un tolérance géométrique de profil par rapport au système de ref. principal

Etape 8 : vérifier

- Que chaque équipement est bien positionné par rapport au système de références principal, ou par rapport à un système de références d'équipement
- Que chaque tolérance géométrique respecte l'ordre des systèmes de références établis
- Les cotes "ambiguës"
- Le 3D en cotes moyennes (hors ajustements)

Etape 1 : utiliser les surligneurs

Jaune traits de coupe, Bleu les références, Vert tolérances fonctionnelles

Etape 2 : systèmes de références

Noter tous les systèmes de références mentionnés au plan dans les tolérances géométriques

Vérifier leur cohérence (ex |A|B|C| ou |A|B| ou |A|) (ex |D-E|F|G| ou |D-E|F| ou |D-E|)

Etape 3 : système de références principal

Identifier le système de références principal (tableau d'isostatisme) et méthode d'assemblage

⇒ Correspond à la position de la pièce dans l'espace pendant son fonctionnement

(pour gamme de fabrication, métrologie, assemblage)

- Défaut de forme de l'élément de référence primaire
- Orientation ou position de l'élément de référence secondaire par rapport à la réf. primaire
- Position ou orientation de l'élément de réf. tertiaire par rapport aux ref. primaire et secondaire

Etape 4 : systèmes de références d'équipement (interfaces des composants)

Identifier les systèmes de références d'équipements et essayer de les nommer

Vérifier le défaut de forme, orientation et position des éléments de références des équipements

Vérifier que toutes les interfaces des équipements soient bien positionnées

⇒ Soit par rapport au système de références principal

⇒ Soit par rapport au système de références d'un autre composant

Etape 5 : vérifier

- Les CZ (à réaliser dans la même opération car il n'y a pas de cumul de tolérances)
- Tolérances fonctionnelles (identifier les tolérances difficiles à obtenir en production ou à mesurer)
- Tolérances générales
- Matière, traitement ou revêtement
- Etat libre ou bridé
- 3D en cote moyenne ? Voir fausse cotes ou décentrées
- Etat de surface ?

Etape 6 : établir la gamme de fabrication idéale

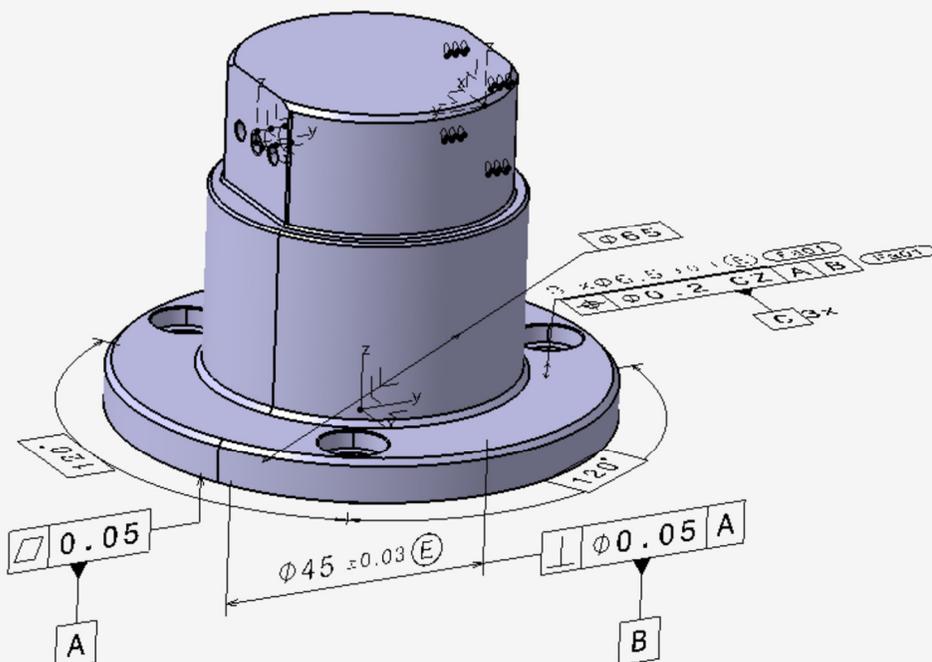
Usiner le système de références principal dans la même opération

Se positionner sur le système de références principal

Usiner chaque système de références d'équipements dans la même opération

⇒ Soit par rapport au système de références principal

⇒ Soit par rapport à un système de références d'un autre composant



F	G						= Récepteur
D	E-E						= Diffuseur
	X	Y	Z	Rx	Ry	Rz	
A			x	x	x		
B	x	x					
C-C							x

CETIM CENTRE- VAL DE LOIRE

3 à 7 rue Charles de Bange

CS 30018

18021 BOURGES CEDEX

Tél : 02-48-48-01-11

Créé par le CETIM Centre Val de Loire, ce livret est complémentaire à la formation COF02 : « Application de la cotation fonctionnelle et du langage ISO/GPS ».

Cette formation permet d'établir une démarche de tolérancement et une démarche de critique de plans industriels.

Ce livret est un outil pratique et synthétique à l'usage de l'industrie mécanique.

Il permet d'aider les concepteurs et les lecteurs à la pratique du langage ISO-GPS sur les plans de définition fonctionnels.

Il n'est pas exhaustif.

Il n'a pas pour vocation de remplacer les normes de dessins techniques et devra être complété par la lecture des normes ISO-GPS.