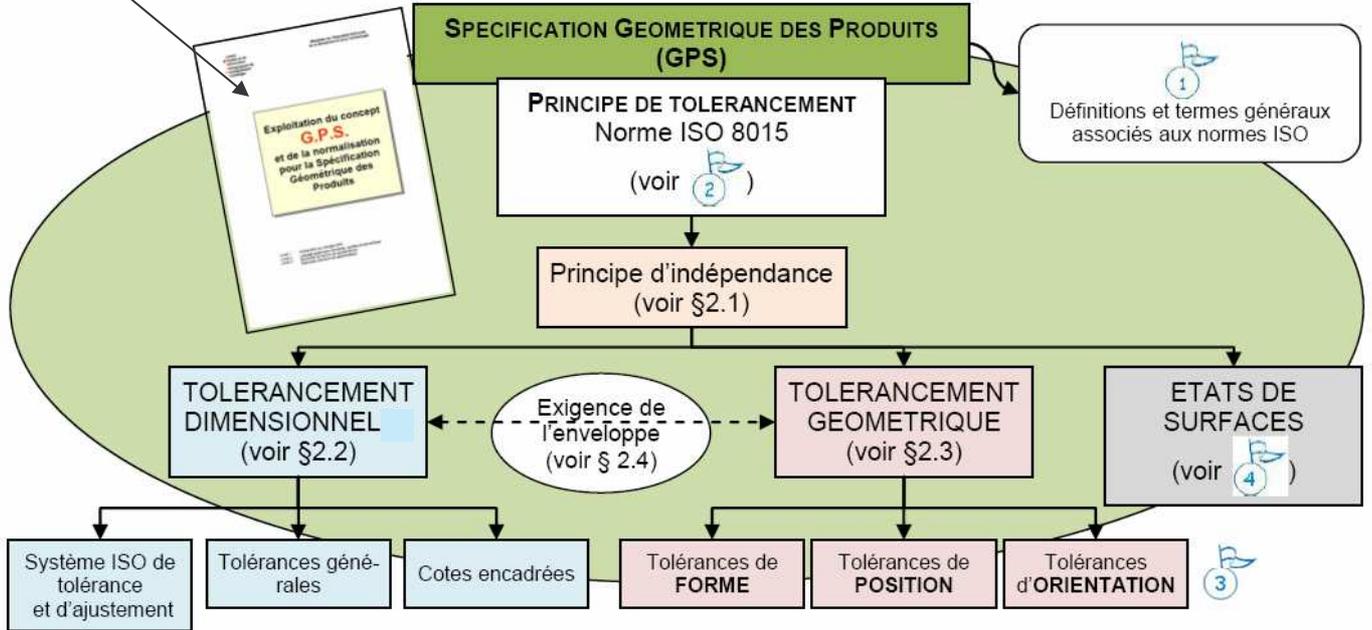


# COTATION GPS (Rappels)

## LES OUTILS DE LA DEFINITION DE PRODUIT

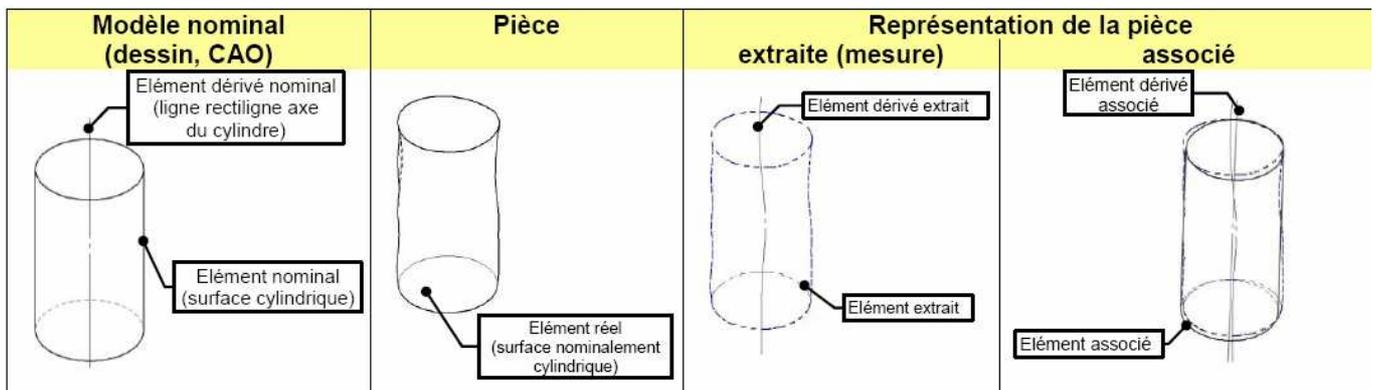
La réalisation d'un modèle de définition répondant aux normes ISO fait appel à de nombreux outils (voir ci-dessous), dont certains sont rappelés de manière succincte dans les pages qui suivent. Pour approfondir ces points, on trouvera plus de précision dans les livrets 1 et 2 sur l'exploitation du concept GPS (téléchargeable au format pdf sur la plateforme GMP)



### 1. DEFINITIONS ET TERMES GENERAUX ASSOCIES AUX NORMES ISO

La norme ISO 14660 donne la définition des éléments géométriques des pièces. Les principaux termes utilisés sont les suivants :

- élément d'une pièce : c'est un point, une ligne ou une surface ;
- élément nominal : c'est l'élément théoriquement exact défini par le dessin technique ;
- élément dérivé nominal : c'est le centre, l'axe, le plan médian d'un élément nominal ;
- élément réel : c'est l'élément réel de la pièce ;
- élément extrait : c'est la représentation de la pièce, constituée d'un nombre fini de points obtenus par la mesure de la pièce réelle ;
- élément dérivé extrait : c'est le centre, l'axe, le plan médian de l'élément extrait.
- élément associé : c'est l'élément de forme géométrique parfaite associé à l'élément extrait ; cette fois encore, cette forme est définie à partir de conventions précisées par la norme.



Représentation des relations entre les éléments géométriques

## 2. PRINCIPE DE TOLERANCEMENT (Norme ISO 8015)

La norme ISO 8015 (E 04-561) définit le principe de la relation entre les tolérances dimensionnelles (linéaires et angulaires) et les tolérances géométriques.

### 2.1) Principe d'indépendance

**Chaque exigence dimensionnelle ou géométrique spécifiée sur un dessin doit être respectée en elle-même, indépendamment des autres exigences. (sauf indication particulière spécifiée)**

Ainsi une tolérance géométrique s'applique sans tenir compte de la dimension de l'élément, et les deux exigences sont traitées indépendamment. Si une relation particulière entre la dimension et la forme, ou la dimension et l'orientation, ou la dimension et la position est exigée, elle doit être spécifiée sur le dessin. Cette interdépendance entre la dimension et la géométrie peut être indiquée par :

- l'exigence de l'enveloppe **(E)** (norme ISO 8015 et 256-1),
- le principe du maximum de matière **(M)** (norme ISO 8015 et 2692).

### 2.2) Tolérance dimensionnelle

Une tolérance linéaire limite uniquement les dimensions locales réelles (distance entre deux points  $d_i = A_i B_i$ ), mais pas ses écarts de forme. Une pièce sera donc conforme si la valeur prise par chacune des dimensions locales  $d_i$  se trouve à l'intérieur de l'intervalle de tolérance.

Remarque : Toutes les cotes liées à un modèle de définition doivent obligatoirement être tolérancées.

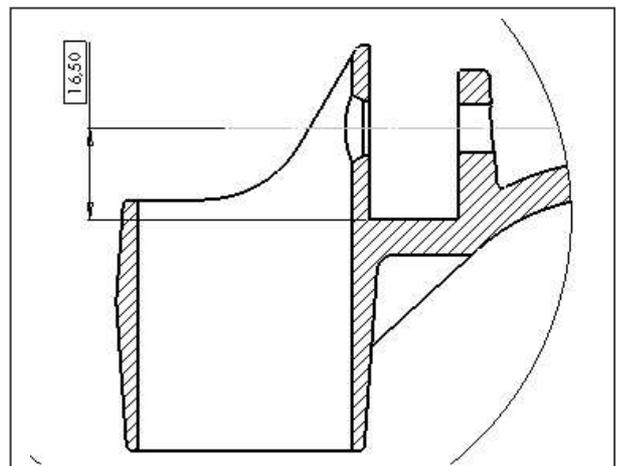
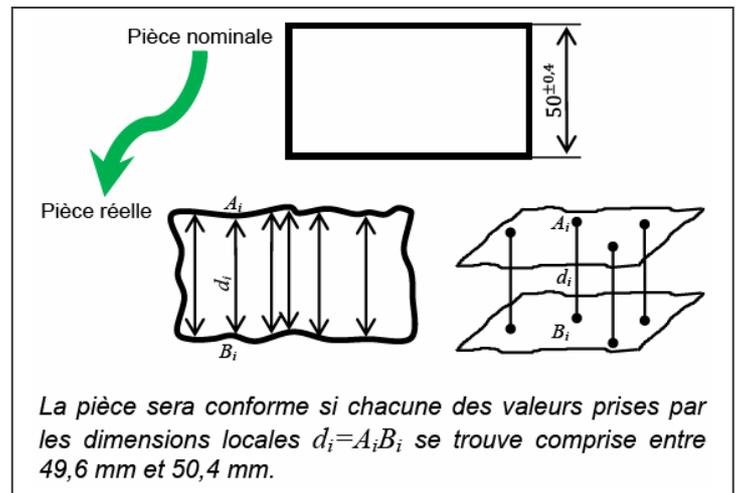
\* **Tolérances générales** : Afin d'éviter l'écriture d'un nombre trop important de spécifications dans un modèle de définition, on utilise des tolérances générales. (Par exemple dans le cadre de pièces usinées la norme utilisée est la norme :

**ISO 2768 mK**

Les tolérances plus élevées ne seront indiquées que si le coût de fabrication est diminué de façon significative.

**Cote encadrée** : Les cotes pour lesquelles il n'existe pas de "bipoint" ("non mesurables avec un pied à coulisse") doivent être encadrées. Une cote encadrée est l'indication graphique d'une « dimension théorique exacte ».

Une cote théorique exacte définit la position, l'orientation ou le profil théorique exact d'un élément et celui-ci sera tolérancé par l'intermédiaire d'une (ou plusieurs) **spécification géométrique**.



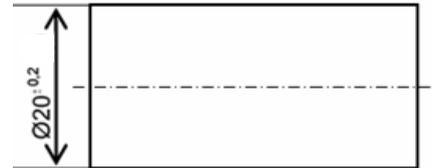
### 2.3) Tolérancement géométrique

Les tolérances géométriques limitent les écarts admissibles de l'élément réel (non idéal) par rapport à sa **FORME**, son **ORIENTATION** et sa **POSITION** en définissant une zone de tolérance à l'intérieur de laquelle l'élément doit être compris. Une tolérance géométrique comporte :

- **des éléments tolérancés** : éléments réels de type ponctuel, linéique ou surfacique ;
- **une zone de tolérance** ;
- **une référence spécifiée** : élément parfait de type point, droite ou plan (ou système de référence).

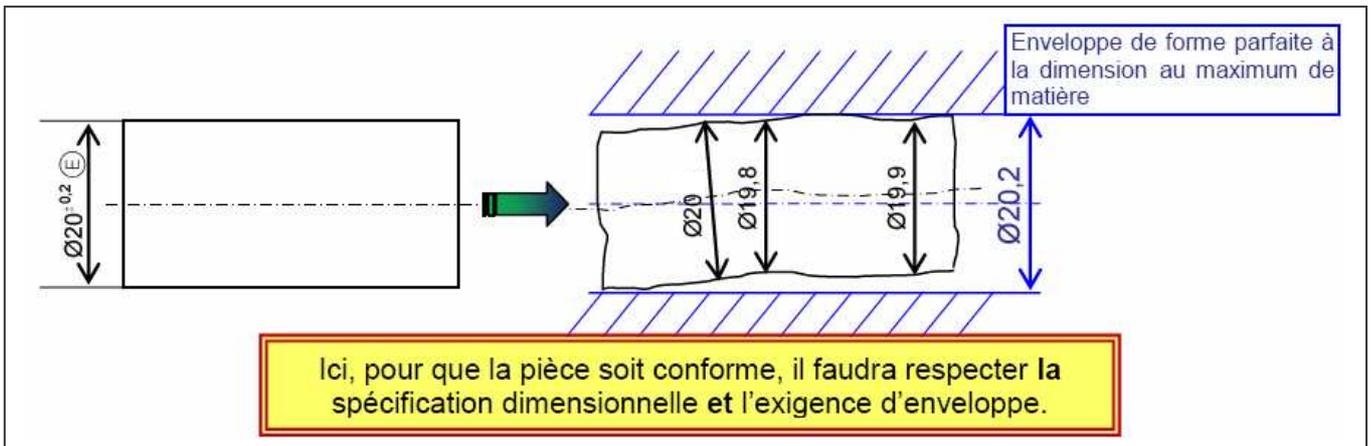
### 2.4) Exigence de l'enveloppe

D'après le principe de l'indépendance, une spécification dimensionnelle ne limite pas le défaut de forme de l'élément spécifié. Sur la figure ci-contre, on voit que la pièce peut être considérée comme bonne du point de vue dimension si toutes les valeurs prises par les dimensions locales (bipoints) se trouvent dans l'intervalle de tolérance, mais que le défaut de forme peut être très grand.



Si l'une des fonctions de cet arbre est de pouvoir se loger dans un alésage, le concepteur du produit pourra donc en plus indiquer sur le dessin de définition qu'il désire limiter le défaut de forme de cet arbre, par une exigence d'enveloppe.

**L'exigence d'enveloppe est indiquée par le symbole  $\textcircled{E}$  à la suite de la tolérance linéaire, et signifie que l'enveloppe parfaite au maximum de matière ne doit pas être dépassée.**



Dans le cas de notre exemple, cela voudra dire que pour que la pièce soit conforme, il faudra que :

- les valeurs prises par les dimensions locales se trouvent dans l'intervalle de tolérance,
- l'arbre spécifié ne devra jamais dépasser un cylindre parfait de diamètre 20,2 (état de l'alésage du calibre considéré au maximum de matière).

## 3. RAPPELS SUR LES TOLERANCES GEOMETRIQUES (norme ISO 1101)

### 3.1) Tolérances de forme

Les spécifications de forme sont intrinsèques à l'élément tolérancé (la planéité d'une surface par exemple est indépendante des autres surfaces de la pièce).

**Elles ne peuvent donc pas faire appel à un ou plusieurs éléments de référence.**

Types	Désignation	Élément tolérancé	Caractéristiques de la zone de tolérance	
			de situation	intrinsèques (écart tolérancé)
—	Rectitude	élément linéique nominalemeent rec-tilligne	aucune	Ø d'un cylindre, distance entre 2 droites ou 2 plans
○	Circularité	élément linéique nominalemeent cir-culaire	aucune	distance entre 2 cercles concentriques
⌒	Forme d'une ligne quel-conque	élément linéique	aucune	distance entre 2 lignes
▭	Planéité	élément surfacique nominalemeent plan	aucune	distance entre 2 plans parallèles
⊘	Cylindricité	élément surfacique nominalemeent cylindrique	aucune	distance entre 2 cylindres coaxiaux
⌒	Forme d'une surface quelconque	élément surfacique	aucune	distance entre 2 surfaces

### 3.2) Tolérances d'orientation

Une tolérance d'orientation d'un élément est donnée obligatoirement par rapport à un autre élément pris comme référence.

SYMBOLE					
SIGNIFICATION	Parallélisme	Perpendicularité	Inclinaison	Profil d'une surface	Profil d'une ligne

Remarque : Pour l'inclinaison, il est nécessaire d'indiquer, en plus, l'angle par rapport à l'élément de référence.

### 3.3) Tolérances de position

La localisation théorique de l'élément est définie, par rapport au système de référence, au moyen de cotes encadrées.

**Remarque** : une cote encadrée est l'indication graphique d'une « **dimension théorique exacte** ». Une dimension théorique exacte définit la position, l'orientation ou le profil théorique exact d'un élément.

La zone de tolérance est répartie également de part et d'autre de cette position théorique exacte.

SYMBOLE					
SIGNIFICATION	Localisation	Coaxialité* Concentricité**	Symétrie	Profil d'une surface	Profil d'une ligne

\* Coaxialité : pour les axes ; \*\*Concentricité : pour les centres

### 3.4) Cadre de tolérance

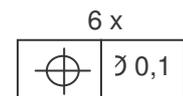
Les exigences sont indiquées dans un cadre rectangulaire divisé en deux cases ou plus (5 maxi). Ces cases contiennent, de gauche à droite, dans l'ordre suivant:

- Le symbole de la caractéristique géométrique,
- La valeur de la tolérance ; cette tolérance est précédée du signe Ø si la zone de tolérance est circulaire ou cylindrique, ou de SØ si la zone de tolérance est sphérique,
- Le cas échéant, la ou les lettres permettant d'identifier la référence ou le système de référence.

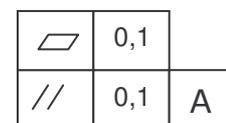
Exemple :

Exigence géométrique sans référence	Exigence géométrique avec référence spécifiée	Zone de tolérance cylindrique avec système de référence	Zone de tolérance cylindrique avec système de référence

Lorsque la tolérance s'applique à un groupe d'éléments tolérancés (collection de 6 éléments par exemple), ceci doit être indiqué au dessus du cadre.



S'il est nécessaire de spécifier plus d'une caractéristique géométrique pour un élément tolérancé, les exigences peuvent être données dans des cadres de tolérance placés l'un au dessous de l'autre.



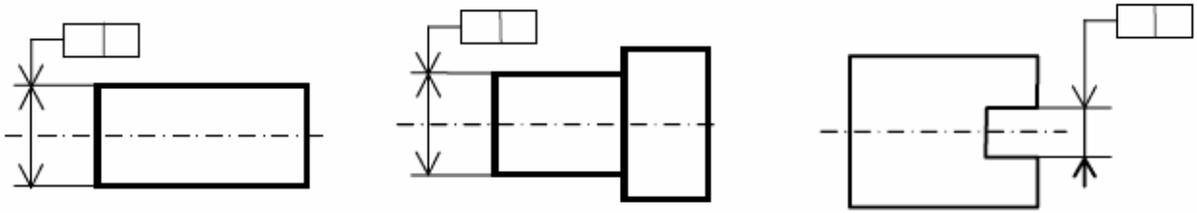
### 3.5) Eléments tolérancés

Sauf cas particuliers, le cadre de tolérance est relié à l'élément tolérancé par une ligne de repère, raccordé à l'un ou l'autre des cotés du cadre et terminé par une flèche qui aboutit :

- sur le contour de l'élément ou sur le prolongement du contour (mais clairement séparé d'une ligne de cote), **si la tolérance s'applique à la ligne ou à la surface elle-même.**



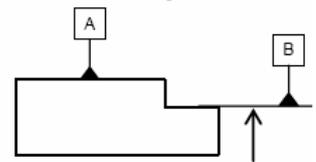
- dans le prolongement de la ligne de cote, **lorsque la tolérance s'applique à l'axe, au plan médian ou au centre** de l'élément.



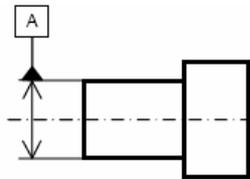
### 3.6) Références spécifiées (norme ISO 5459)

La référence spécifiée est identifiée par une lettre majuscule inscrite dans un cadre relié à un triangle de référence noirci ou non. Le triangle de référence avec la lettre de référence est placé :

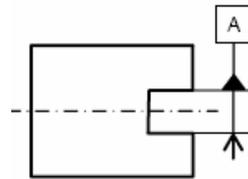
- sur le contour de l'élément ou un prolongement du contour, si l'élément de référence est la ligne ou la surface elle-même.



- dans le prolongement de la ligne de cote lorsque l'élément de référence est l'axe, le plan médian ou le centre de l'élément.



Triangle de référence pour axe ou plan médian sur forme extérieure



Triangle de référence pour axe ou plan médian sur forme intérieure

Une référence spécifiée simple est l'une des 3 formes géométriques théoriquement exactes : **point, droite ou plan** associée à l'élément de référence

On distingue plusieurs types de références :

- Simple 

		A
--	--	---

 point, droite ou plan

- Commune 

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

 point, droite ou plan construit à partir des 2 références A et B

- Système de référence 

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

 La référence secondaire B est en position théorique exacte par rapport à la référence primaire A

- Références partielles 

			<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"><tr><td style="width: 20px; height: 20px; text-align: center;">A</td></tr></table> A1, 2, 3	A
A				

 La référence A est construite à partir des 3 références partielles A1, A2 et A3

**Remarque** : pour plus d'information, se référer au livret sur l'exploitation du concept GPS

### 3.7) Zone de tolérance (norme ISO 1101, 2692, 3040, 5458)

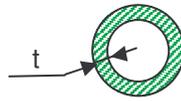
La zone de tolérance est la portion de plan ou de volume à l'intérieur de laquelle doit être compris l'élément tolérancé (élément réel) ou les éléments tolérancés (groupe d'éléments tolérancés)

Elle est limitée par des éléments géométriques idéaux distants de la valeur de la tolérance  $t$  et sa forme dépend du type d'élément tolérancé, du symbole de tolérance et du modificateur se trouvant devant la valeur de la tolérance.

**- Zone de tolérance plane limitée par :**



2 droites // distantes de  $t$



2 cercles concentriques distants de  $t$

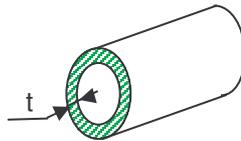


2 lignes distantes de  $t$

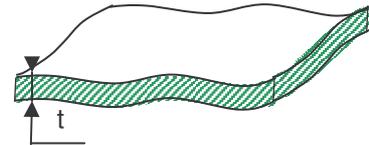
**- Zone de tolérance volumique limitée par :**



2 plans // distants de  $t$

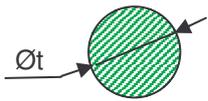


2 cylindres coaxiaux distants de  $t$



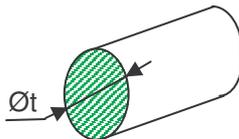
2 surfaces distantes de  $t$

**- Cas de l'inscription  $\varnothing t$ , la zone de tolérance est limitée par :**



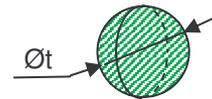
un cercle de  $\varnothing t$

ou



un cylindre de  $\varnothing t$

**- Cas de l'inscription  $S\varnothing t$ , la zone de tolérance est limitée par :**



une sphère de  $\varnothing t$

Dans le cas d'une spécification portant sur **la forme d'un élément**, la zone de tolérance n'est pas contrainte en situation (pas de référence spécifiée).

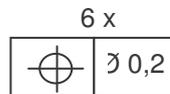
Exemple :



Si la tolérance porte sur un groupe d'éléments, à chaque élément du groupe correspond une zone simple. La situation relative de ces zones est alors contrainte par des dimensions de références implicites et/ou explicites appelées **cotes encadrées**.

Si la tolérance géométrique ne comporte pas de référence, elle n'est pas contrainte en situation.

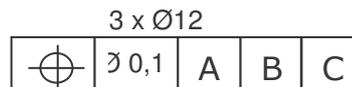
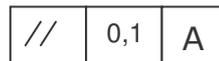
Exemple :



Dans le cas d'une spécification portant sur l'orientation, la position et le battement par rapport à des références, la zone de tolérance est contrainte en situation par des dimensions de références implicites et/ou explicites.

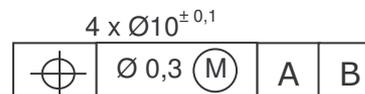
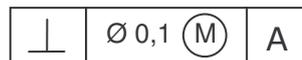
Selon le niveau de ces contraintes, la zone de tolérance présente ou non des degrés de liberté par rapport à la référence spécifiée.

Exemple :



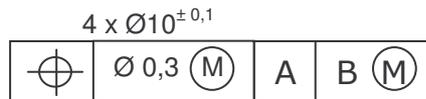
**Dans le cas d'une exigence du maximum de matière sur l'élément tolérancé**, la valeur de la tolérance est augmentée de la différence entre la dimension au maximum de matière de l'élément tolérancé et la dimension réelle de l'élément.

Exemple :



Dans le cas d'une exigence du maximum de matière sur l'élément tolérancé et sur la référence spécifiée, la zone de tolérance composée peut se déplacer par rapport à la référence spécifiée dans les limites de la différence entre la dimension au maximum de matière de l'élément de référence et la dimension réelle de l'élément.

Exemple :

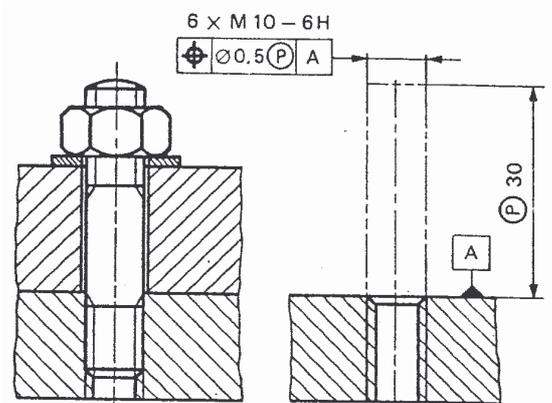


### 3.8) Zone de tolérance projetée (P)

Lorsque 2 pièces sont en liaison encastrement (montage de vis, goujons, goupille, ...), la tolérance géométrique ne s'applique pas à l'élément lui-même mais à son prolongement.

La zone de tolérance projetée est :

- indiquée sur le dessin par le symbole (P) placé devant la cote de longueur de la zone de tolérance projetée
- représentée sur le dessin par un trait mixte fin à 2 tirets
- indiquée dans le cadre de tolérance géométrique par le symbole (P) placé après la valeur de tolérance de l'élément.



Indications suivant la norme ISO 10578

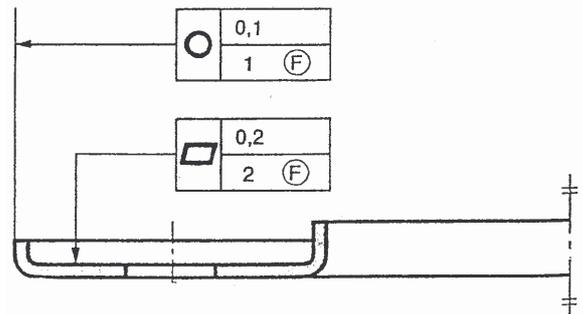
### 3.9) Tolérance des pièces non rigide (F)

Une pièce non rigide est une pièce qui peut se déformer sous certaines contraintes fonctionnelles lors du montage.

Dans le cadre de la tolérance géométrique, on indiquera suivant le cas la tolérance à l'état contraint et (ou) la tolérance à l'état libre suivi du symbole (F).

Dans le cartouche ou à proximité, on indiquera la référence de la norme ISO 10579-NR.

**Remarque:** lors d'un contrôle d'une spécification soumise à un tolérancement de pièce non rigide, il est nécessaire de mettre les éléments de la pièce sous contrainte.

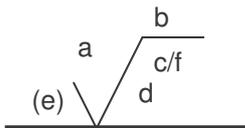


## 4. ETATS DE SURFACE

La plupart des surfaces n'exigent pas une qualité autre que celle obtenue par le procédé de fabrication choisi. Cependant, certains composants (pièce de frottement, d'étanchéité, de précision, montées serrées, travaillant à la fatigue,...) exigent des qualités et des spécifications particulières.

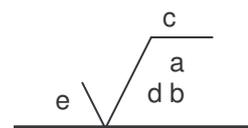
Les principes et les symboles utilisés pour la cotation des états de surface sont normalisés internationalement ISO 1302.

Inscription normalisée avant 2002



- a : valeur de rugosité Ra
- b : procédé de fabrication, traitement,...
- c : longueur de base, paramètre lié au motif R, Rz..
- d : stries de surface et orientation
- e : surépaisseur d'usinage
- f : paramètre lié au motif W et autres

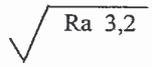
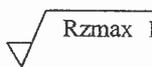
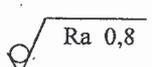
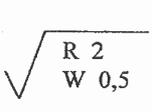
Inscription normalisée après 2002



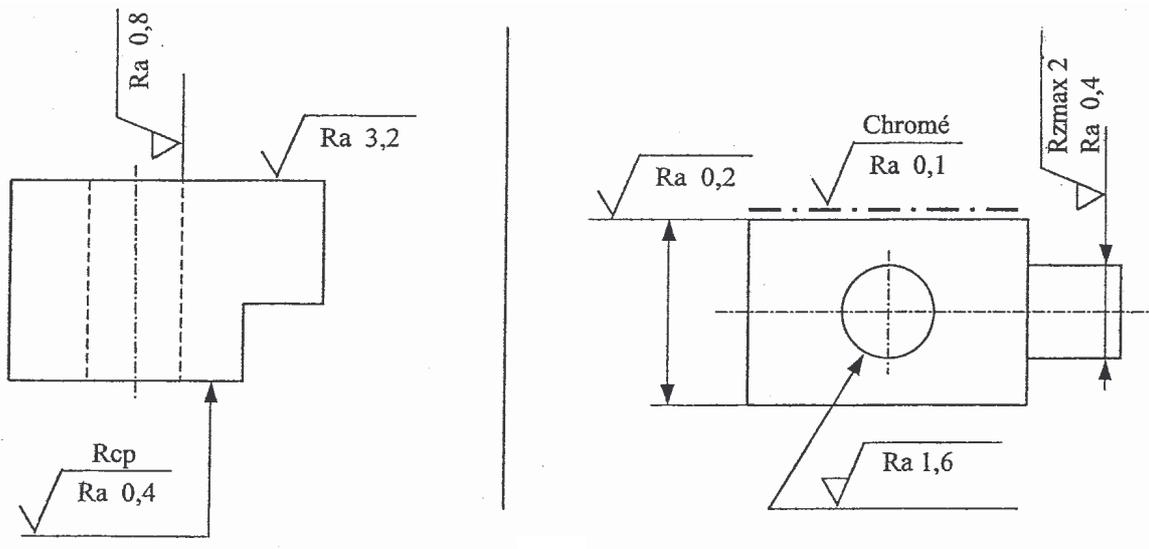
- a : une seule exigence d'état de surface
- a et b : plusieurs exigences d'état de surface
- c : procédé de fabrication, traitement,...
- d : stries de surface et orientation
- e : surépaisseur d'usinage

**Inscription normalisées (2002)**

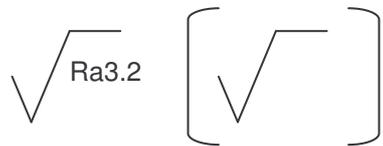
Symbole de base : 

Symbole	Signification
	Ecart moyen arithmétique de rugosité de la surface indiquée: 3,2 µm quelque soit le procédé de fabrication.
	Hauteur maximale de rugosité de la surface indiquée: 1 µm la surface doit être obtenu par enlèvement de matière.
	Ecart moyen arithmétique de rugosité de la surface indiquée: 0,8 µm la surface doit être obtenue sans enlèvement de matière.
	L'état de surface doit respecter 2 paramètres: -profondeur moyenne du motif de rugosité: 2 µm -profondeur moyenne du motif d'ondulation : 0,5 µm quelque soit le procédé de fabrication.
	Symbole indiquant que l'état de surface est le même pour tout le contour de la pièce.

**Exemples d'inscription sur le dessin**

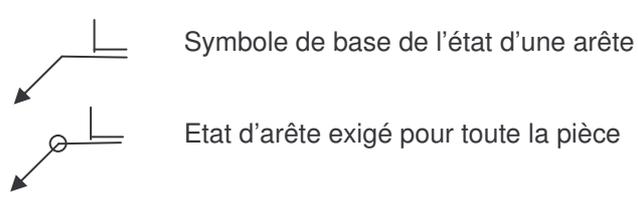


Indication de la tolérance générale d'état de surface sur le dessin à proximité du cartouche :



**5. ARETES**

Les pièces mécaniques sont représentées sur les dessins par des formes géométriques parfaites, sans aucun écart, donc l'état général des arêtes n'est pas pris en considération. Cependant, pour certaines applications, il est nécessaire d'indiquer la forme des arêtes extérieures, avec ou sans bavures, ainsi que des arêtes intérieures, dégagement ou raccordements. Les limites de ces bavures ou dégagements, réalisées par les procédés de fabrication, sont clairement spécifiées sur le dessin. (ISO 13715)



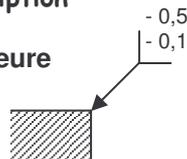
Application sur Pro-E

## Dimension de l'arête sur le symbole de base

Symbole	Interprétation	
	Arête extérieure	Arête intérieure
+	Bavure admise	Raccordement admis
-	Dégagement admis, bavure non admise	Dégagement admis, raccordement non admis
±	Bavure ou dégagement admis	Raccordement ou dégagement admis

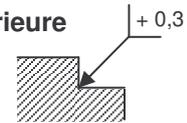
### Exemples d'inscription

#### Arête extérieure

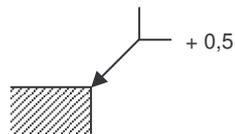


Arête extérieure sans bavure, dégagement à l'intérieur d'une zone de 0,1 à 0,5 mm.

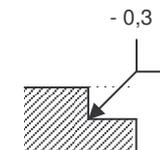
#### Arête intérieure



Arête intérieure avec raccordement jusqu'à 0,3 mm



Arête extérieure avec bavure horizontale acceptable jusqu'à 0,5 mm.



Arête intérieure avec dégagement vertical acceptable jusqu'à 0,3.

Indication de la tolérance générale d'état des arêtes sur le dessin à proximité du cartouche:



## BIBLIOGRAPHIE

- Spécification géométrique des produits (GPS) AFNOR/UMN
- Exploitation du concept G.P.S. et de la normalisation pour la Spécification Géométrique des Produits, publié par le CERPET et le Ministère de l'Education Nationale de la Recherche et de la Technologie.
- Précis CONSTRUCTION MECANIQUE – tome 1 – projets-études, composants, normalisation. Auteurs : R. QUATREMER, J.P. TROTIGNON, M. DEJANS, H. LEHU. Editions Nathan/Afnor.
- Le Guide du dessinateur industriel (Gdl), de CHEVALIER paru aux éditions Hachette Technique.
- Divers articles parus dans la revue « TECHNOLOGIE ».

2.4 Parallélisme

La tolérance générale de parallélisme est égale, en valeur numérique, à la tolérance dimensionnelle ou à la tolérance de planéité/rectitude. Le plus long des deux éléments doit être pris comme référence.

2.5 Perpendicularité

Classe de tolérance	Valeurs en millimètres			
	Tolérances générales de perpendicularité pour des plages de longueurs nominales des côtés les plus courts			
	jusqu'à 100	au-delà de 100 jusqu'à 300	au-delà de 300 jusqu'à 1 000	au-delà de 1 000 jusqu'à 3 000
H	0,2	0,3	0,4	0,5
K	0,4	0,6	0,8	1
L	0,6	1	1,5	2

Les tolérances de perpendicularité sont données dans le tableau. Le plus long des deux côtés formant l'angle droit doit être pris comme référence.

2.6 Symétrie

Classe de tolérance	Valeurs en millimètres			
	Tolérances générales de symétrie pour des plages de longueurs nominales			
	jusqu'à 100	au-delà de 100 jusqu'à 300	au-delà de 300 jusqu'à 1 000	au-delà de 1 000 jusqu'à 3 000
H	0,5	0,5	0,8	1
K	0,6	1	1,5	2
L	0,6	1	1,5	2

Les tolérances de symétrie sont données dans le tableau. L'élément le plus long doit être pris comme référence.

2.7 Coaxialité

Des tolérances générales de coaxialité ne sont pas prescrites.

2.8 Battement circulaire

Classe de tolérance	Valeurs en millimètres	
	Tolérances de battement circulaire	
H	0,1	
K	0,2	
L	0,5	

Pour les tolérances générales de battement, les surfaces portantes doivent être prises comme référence spécifiée si elles sont désignées comme telles. Dans le cas contraire, l'élément le plus long doit être pris comme référence spécifiée.

3 Indications sur les dessins

Les indications suivantes doivent apparaître dans ou près du cartouche:

ISO 2768-mK

ISO 2768-K si les tolérances dimensionnelles ne s'appliquent pas.

ISO 2768-mK-E si l'exigence de l'enveloppe s'applique à tous les éléments.

Tolérances générales ISO 2768

1 Tolérances dimensionnelles

1.1 Dimensions linéaires

Classe de tolérance	Écarts admissibles pour des plages de dimensions nominales							
	0,5 <sup>1)</sup> jusqu'à 3	au-delà de 3 jusqu'à 6	au-delà de 6 jusqu'à 30	au-delà de 30 jusqu'à 120	au-delà de 120 jusqu'à 400	au-delà de 400 jusqu'à 1 000	au-delà de 1 000 jusqu'à 2 000	au-delà de 2 000 jusqu'à 4 000
f	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	—	—
m	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±2
c	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2	±3	±4
v	—	±0,5	±1	±1,5	±2,5	±4	±6	±8

1) Pour les dimensions nominales inférieures à 0,5 mm, l'écart doit figurer à la suite de la dimension nominale.

1.2 Dimensions angulaires

Classe de tolérance	Écarts admissibles en fonction de plages de longueurs, en millimètres, du côté le plus court de l'angle considéré				
	jusqu'à 10	au-delà de 10 jusqu'à 50	au-delà de 50 jusqu'à 120	au-delà de 120 jusqu'à 400	au-delà de 400
f	±1°	±0°30'	±0°20'	±0°10'	±0°5'
m	±1°30'	±1°	±0°30'	±0°15'	±0°10'
c	±3°	±2°	±1°	±0°30'	±0°20'

2 Tolérances géométriques

Les tolérances géométriques générales portent sur toutes les caractéristiques géométriques tolérancées, à l'exclusion des tolérances de cylindricité, de forme d'une ligne ou d'une surface quelconque, d'inclinaison, de coaxialité, de localisation et de battement total.

2.1 Rectitude et planéité

Classe de tolérance	Valeurs en millimètres			
	Tolérances générales de rectitude et de planéité pour des plages de longueurs nominales			
	au-delà de 10 jusqu'à 30	au-delà de 30 jusqu'à 100	au-delà de 100 jusqu'à 300	au-delà de 300 jusqu'à 1 000
H	0,02	0,06	0,1	0,2
K	0,05	0,1	0,2	0,4
L	0,1	0,2	0,4	0,8

Dans le cas de la planéité, la tolérance est basée sur la dimension latérale la plus grande.

2.2 Circularité

La tolérance générale de circularité est égale, en valeur numérique, à la tolérance sur le diamètre, mais elle ne doit en aucun cas être supérieure à la valeur correspondant de la tolérance de battement circulaire radiale.

2.3 Cylindricité

Des tolérances générales de cylindricité ne sont pas prescrites.

# Norme XP E 04-562 : Surfaces complexes, prismatiques et de révolution, Spécification sur les dessins

## 1) Notion de classe d'invariance

On distingue 7 classes d'éléments selon la propriété d'invariance :

Complexe, prismatique, de révolution, hélicoïdale, cylindrique, plane et sphérique.

Chaque classe est caractérisée par des degrés de liberté (DDL) qui laissent invariant l'élément géométrique et des éléments de situation (EDS). Les éléments de situation peuvent être considérés comme l'assemblage minimal, équivalent à l'élément, composé d'un point, d'une droite et d'un plan, la classe hélicoïdale faisant exception.

	Complexe	Prismatique	De révolution	Hélicoïdale	Cylindrique	Plane	Sphérique
DDL	ni translation ni rotation	1 translation	1 rotation	1 translation 1 rotation combinées	1 translation 1 rotation	2 translations 1 rotation perpendiculaire	3 rotations
EDS							

DDL : degré de liberté, EDS : éléments de situation

### 7 classes d'invariances des éléments géométriques

Toute association rigide de deux éléments donne un élément qui appartient à l'une des sept classes. On parle de reclassement (voir Annexe 1).

## 2) Tolérances géométriques pour les surfaces complexes, prismatiques et de révolution

La norme française expérimentale **XP E 04-562 12/2000** précise maintenant cette syntaxe.

Forme	FRM
Orientation	ORI
Position	LOC

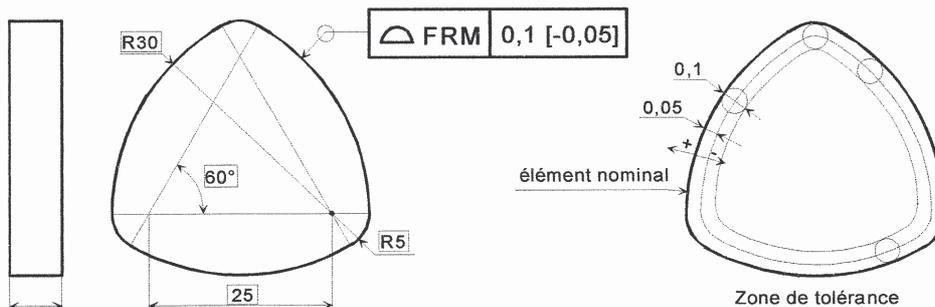
Les éléments concernés par la tolérance géométrique de forme quelconque sont les éléments appartenant aux classes d'invariance complexe, prismatique et de révolution.

Il est prévu d'inscrire dans le cadre de tolérance géométrique à droite du symbole de tolérance de forme quelconque l'aspect tolérancé (position, orientation ou forme).

## 3) Forme de la zone de tolérance

### a) Épaisseur

La norme **XP E 04-562** autorise la maîtrise de la forme de la zone de tolérance et sa position par rapport à l'élément nominal : *La zone de tolérance est définie par rapport à la forme théorique de l'élément tolérancé. C'est un volume limité par deux surfaces, lieux géométriques des extrémités du diamètre d'une sphère, normal à la forme théorique. Ce diamètre est constant ou variable, et la position du centre de la sphère par rapport à la forme théorique est constant ou variable.*



#### Application :

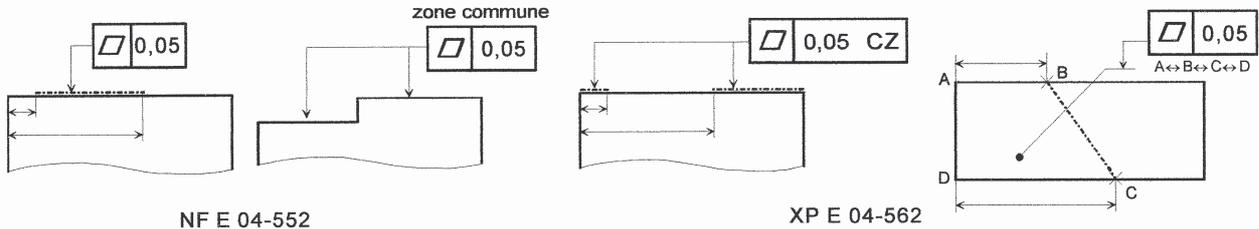
La zone de tolérance est un volume de hauteur égale à l'épaisseur de la pièce. La largeur de la zone de tolérance est donnée par la première valeur (0,1), la distance du support de la zone à l'élément nominal (décalage) est donnée par la valeur algébrique entre crochets

[-0,05]. Par convention, un décalage positif se fait vers l'extérieur de la matière. La valeur de la tolérance et le décalage peuvent être variables et leurs lois de variation doivent être explicitement définies.

Le cercle sur la flèche du cadre de tolérance indique que la tolérance s'applique à tous les éléments du contour. Dans le cas où la tolérance s'appliquerait à tous les éléments de la pièce, le centre du cercle serait rehaussé par un point.

### b) Étendue

La norme **XP E 04-562** précise l'indication de zone restreinte.

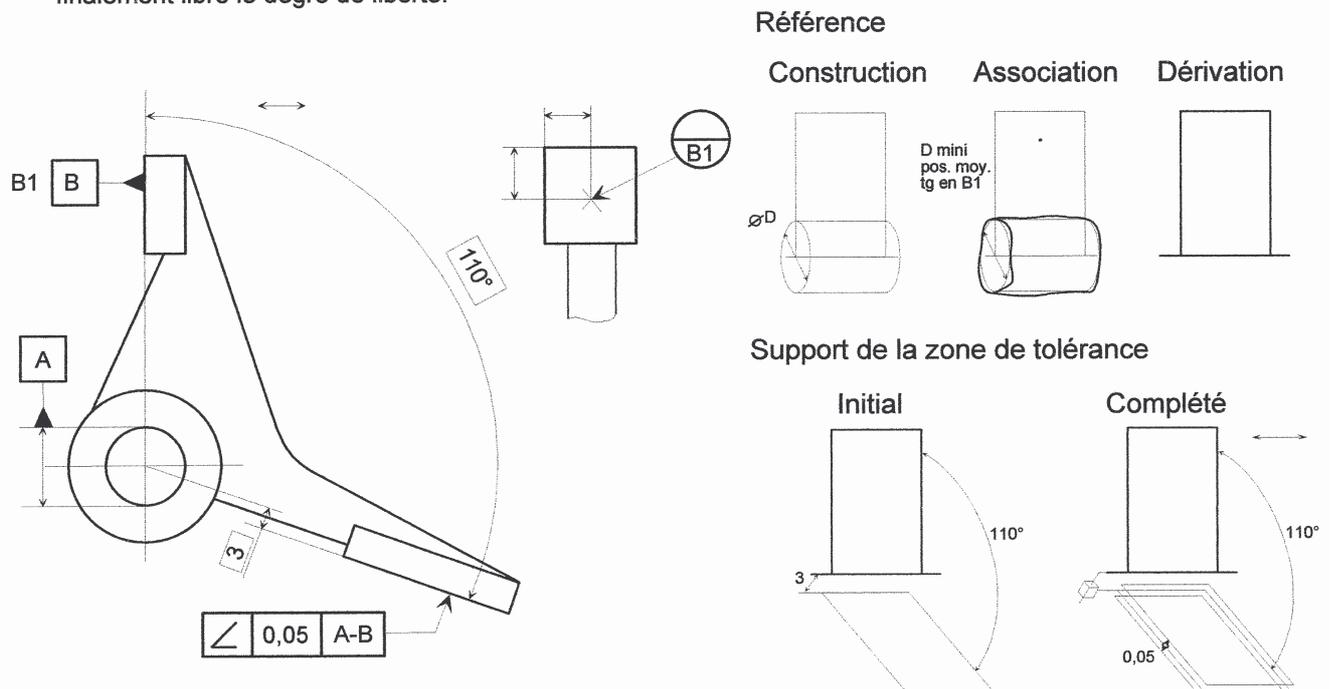


#### Exemples d'écritures de zones particulières (applicables aussi aux références)

La norme **XP E 04-562 12/2000** indique que le trait mixte est fort. L'étendue peut aussi être définie par des points repérés limitant la portion d'élément tolérancé.

### 4) Position et libertés du support de la zone de tolérance

- **Détermination des degrés de liberté que peut éliminer la référence** : les éléments de situation de la référence peuvent éliminer des degrés de liberté uniquement suivant les directions pour lesquelles la référence ne reste pas invariante. Les degrés de liberté s'expriment suivant les directions principales des éléments de situation.
- **Détermination des degrés de liberté concernant le support** : les degrés de liberté du support ne peuvent être éliminés que suivant des directions pour lesquelles il ne reste pas invariant.
- **Détermination des degrés de liberté qu'on peut éliminer entre la référence et le support** : cette opération peut s'effectuer en utilisant le tableau de l'Annexe 2 qui prévoit tous les cas possibles. En règle générale, pour des directions identiques entre le support et la référence, un degré de liberté sera éliminé si le support et la référence ne sont pas invariants suivant cette direction. Les cas particuliers viennent lorsque les directions sont différentes, ou qu'il existe des positions particulières entre le support et la référence. Pour identifier les directions des degrés de liberté, il est commode de se référer à un repère bâti à partir des directions principales des éléments de situation et de l'élément support.
- **Détermination des degrés de liberté que peut éliminer la tolérance géométrique** : s'il s'agit d'une tolérance géométrique de position, le support est contraint par rapport aux éléments de situation suivant tous les degrés de liberté éliminés entre le support et la référence. Si la tolérance géométrique est d'orientation, les degrés de liberté en translation qu'on pourrait éliminer restent libres.
- **Détermination des degrés de liberté que peut éliminer le paramétrage** : à chaque degré de liberté qu'on peut éliminer doit correspondre un paramétrage géométrique à base de cotes nominales, encadrées ou implicites. Une annotation de type « position angulaire indifférente » ou l'absence de paramètres laisse finalement libre le degré de liberté.



### 5) Annexe 1 : Classe d'invariance SATT's

Ce tableau est issu de la théorie des SATTs<sup>1</sup>. Très succinctement, les surfaces ont une structure de groupe par rapport à la propriété d'être globalement invariantes suite à un déplacement. Par exemple, les surfaces globalement invariantes pour une translation forment le groupe des surfaces prismatiques.

Il existe de cette manière 7 groupes distincts. Toute surface appartient à l'un des groupes. Lorsqu'on combine des surfaces entre elles, la surface résultante appartient forcément à l'un des 7 groupes. L'opération de détermination du groupe d'appartenance s'appelle un «reclassement». Le résultat du reclassement dépend des positions relatives des surfaces, parallèle, perpendiculaire, coaxiale....

	Complexe	Prismatique	Révolution	Cylindrique	Plane	Sphérique
Complexe						
Prismatique						
Révolution						
Cylindrique						
Plane						
Sphérique						

Le groupe «surface hélicoïdale» n'est pas représenté dans le tableau.

Les symboles //, ⊥, ⊙ sont à comprendre dans leur sens géométrique et non tolérancement.

<sup>1</sup> Surfaces associées technologiquement et topologiquement (A. CLÉMENT)

## 6) Annexe 2 : Degrés de liberté éliminés entre deux classes d'invariance SATT's

La norme XP E 04-562 2000 utilise la partie du tableau concernant les éléments de nature complexe, prismatique et de révolution.

Degrés de liberté éliminés	Complexe P2 D2 O2 	Prismatique P2 D2 	Révolution D2 O2 	Cylindrique D2 	Plane P2 	Sphérique O2 •
Complexe P1 D1 O1 	3 T 3 R	2 T 3 R	3 T 2 R	2 T 2 R	1 T 2 R	3 T 0 R
Prismatique P1 D1 	2 T 3 R	D1//D2 2 T 3 R 1 T 3 R	2 T 2 R	D1//D2 2 T 2 R 1 T 2 R	D1//P2 1 T 2 R 0 T 2 R	2 T 0 R
Révolution D1 O1 	3 T 2 R	2 T 2 R	D1=D2 3 T 2 R D1//D2 2 T 2 R D1?D2 2 T 2 R 3 T 1 R	D1=D2 2 T 2 R D1//D2 1 T 2 R D1?D2 2 T 2 R 2 T 1 R	D1⊥P2 1 T 2 R 1 T 1 R	D1⊙O2 3 T 0 R 2 T 0 R
Cylindrique D1 	2 T 2 R	D1//D2 2 T 2 R 1 T 2 R	D1=D2 2 T 2 R D1//D2 1 T 2 R D1?D2 2 T 2 R 2 T 1 R	D1=D2 2 T 2 R D1//D2 1 T 2 R D1?D2 2 T 2 R 1 T 1 R	D1//P2 1 T 1 R D1⊥P2 0 T 2 R 0 T 1 R	D1⊙O2 2 T 0 R 1 T 0 R
Plane P1 	1 T 2 R	P1//D2 1 T 2 R 0 T 2 R	P1⊥D2 1 T 2 R 1 T 1 R	P1//D2 1 T 1 R P1⊥D2 0 T 2 R 0 T 1 R	P1//P2 1 T 2 R 0 T 1 R	1 T 0 R
Sphérique O1 •	3 T 0 R	2 T 0 R	O1⊙D2 3 T 0 R 2 T 0 R	O1⊙D2 2 T 0 R 1 T 0 R	1 T 0 R	O1⊙O2 3 T 0 R 1 T 0 R

T : Translation, R : Rotation

P : Plan, D : Droite, O : Point

Le nombre de degrés de liberté éliminés est quantitatif.

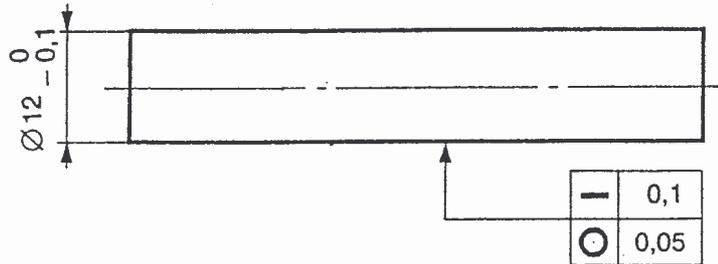
Les directions des degrés de liberté s'expriment dans un repère « judicieusement » bâti à partir des deux classes d'invariances considérées.

Les symboles //, ⊥, ⊙ sont à comprendre dans leur sens géométrique et non tolérancement.

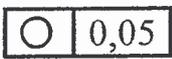
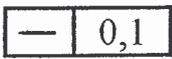
## TD1 : Principe de l'indépendance, exigence de l'enveloppe

### Application 1

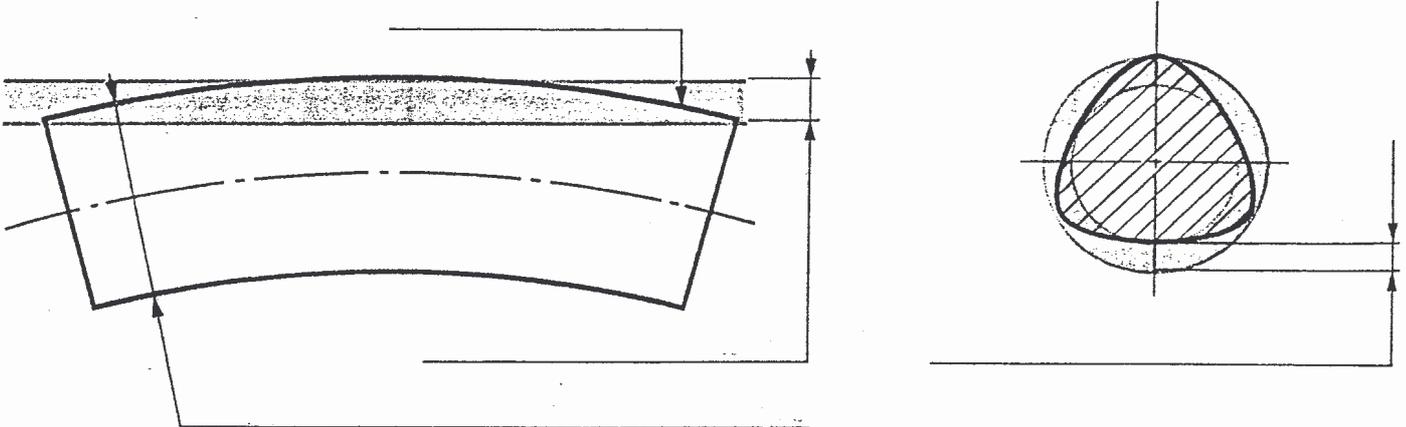
En appliquant le principe de l'indépendance, interpréter la cotation ci-dessous.



$\text{Ø } 12 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0,1 \end{smallmatrix}$  :

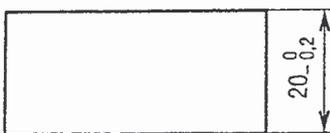


Compléter l'interprétation des figures ci-dessous en indiquant les valeurs limites



### Application 2

En appliquant le principe de l'indépendance, interpréter la cotation ci-dessous.

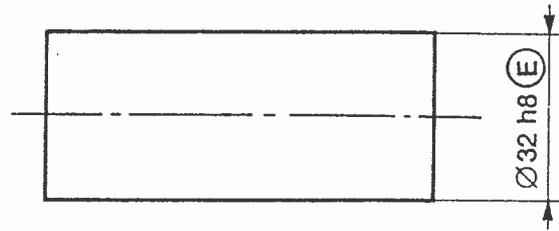


spécifications dessin

### Application 3

En appliquant l'exigence de l'enveloppe, interpréter la cotation ci-dessous.

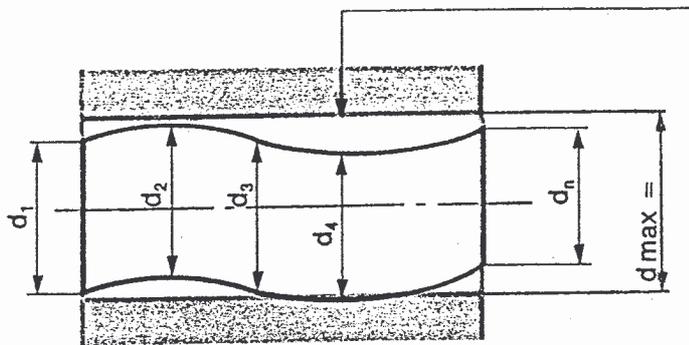
32 h8	$\begin{matrix} 0 \\ -0,039 \end{matrix}$
-------	---



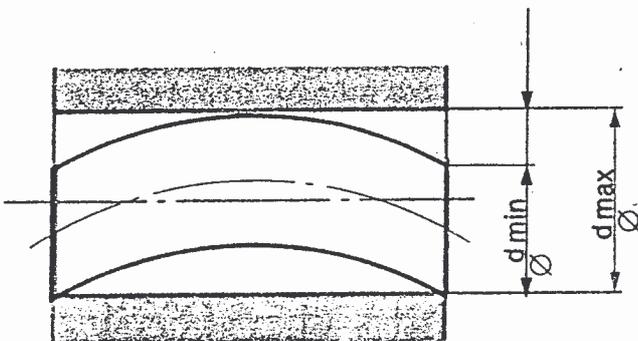
Ø 32 h8 (E) :

Compléter l'interprétation des figures ci-dessous en indiquant les valeurs limites

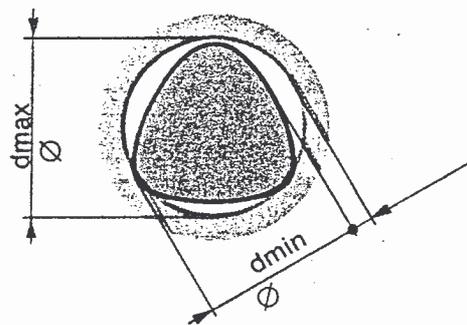
Les dimensions locales  $d_1, d_2, \dots, d_n$  sont comprises entre .....



Ecart maximal de rectitude

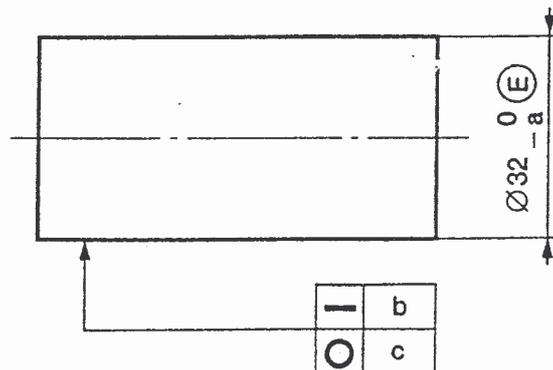


Ecart maximal de circularité



**Remarque:** tolérance de forme restrictive à l'exigence de l'enveloppe à appliquer suite à des conditions fonctionnelles.

Que peut on conclure sur les valeurs des tolérances a, b, c dans ce cas ?



## CONSEIL POUR LA LECTURE DES SPECIFICATIONS

Pour analyser de manière méthodique les spécifications géométriques qui sont portées sur le dessin de définition d'une pièce, on pourra s'aider du tableau dénommé « Grille de traitement », dont on donne une illustration ci-dessous. Cette grille est issue du livret sur l'exploitation du concept GPS.

Après avoir recopiée la spécification avec toutes les exigences et les indications qui s'y rapportent, **les points à étudier sont:**

- Type de la tolérance géométrique et contexte de spécification
- Identification du ou des éléments réels tolérancés (filtrage, partition, collection))
- Élaboration de l'élément tolérancé
- Identification du ou des éléments réels dont sera tiré la référence ou le système de références (filtrage, partition, collection)
- Définition de la référence ou du système de références.
  - Construction d'un modèle idéal (modèle géométrique de définition, élément de situation). Identifier les paramètres fixes et variables (mobilités cinématiques, dimensions).
  - Association du modèle idéal aux éléments réels (ordre d'association, particularités, exigence sur la référence)
- Détermination de l'élément support de la zone de tolérance (modèle géométrique de définition, décalage, élément de situation).
- Détermination des libertés du support de la zone de tolérance par rapport à la pièce
- Degrés de liberté entre le support et la référence (combinaison entre éléments de situation, type de tolérance, paramétrage).
- Degrés de liberté entre la référence et la pièce
- Sans exigence
  - Construction de la zone de tolérance, en position par rapport au nominal, en épaisseur et en étendue et en notant ses libertés dimensionnelles
- Avec exigence au maximum ou au minimum de matière
  - Détermination de la frontière ne devant pas être dépassée (état virtuel pour l'élément tolérancé + état de forme parfaite au maximum de matière pour les éléments de référence si spécifié)
- Application de la condition de conformité (inclusion de l'élément dans la zone de tolérance ou non dépassement de la frontière pour les exigences au maximum ou au minimum de matière).

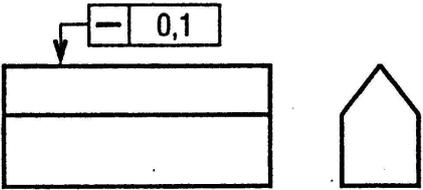
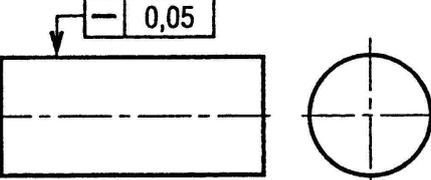
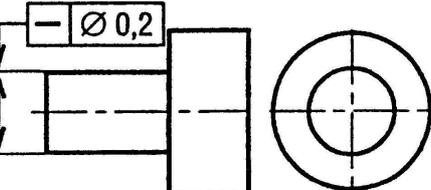
## TD2 : Interprétation des tolérances géométriques

Pour chaque spécification, faire un croquis 3D représentant suivant le cas :

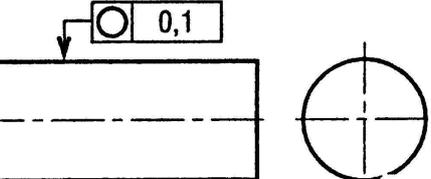
- la référence ou le référentiel,
- l'élément tolérancé,
- la zone de tolérance et
- la situation de la zone de tolérance par rapport à la référence

### Tolérance de forme

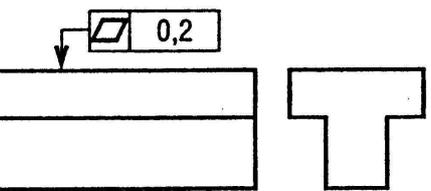
#### Rectitude

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		L'arête considérée doit être comprise entre 2 droites parallèles distantes de 0,1
		Chaque génératrice doit être comprise entre 2 droites parallèles distantes de 0,05
		L'axe du cylindre considéré doit être compris dans un cylindre de $\varnothing 0,2$

#### Circularité

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		Chaque cercle considéré doit être compris entre 2 cercles concentriques distants de 0,1

#### Planéité

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		Le plan considéré doit être compris entre 2 plans parallèles distants de 0,2

### Cylindricité

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		Le cylindre considéré doit être compris entre 2 cylindres coaxiaux distants de 0,1 ( dont la différence de rayon vaut 0,1 )=

### Profil d'une ligne

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		Chaque ligne considérée doit être comprise entre 2 lignes enveloppes distantes de 0,2 ; chacune de ces lignes enveloppes est distante de 0,1 du rayon R théorique (cote encadrée).

### Profil d'une surface

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		La surface considérée doit être comprise entre 2 surfaces enveloppes distantes de 0,4 ; chacune de ces surfaces enveloppes est distante de 0,2 de la surface théorique définie par les cotes encadrées

*Remarque* : La tolérance de forme de ligne ou de surface quelconque, (ligne ou surface autre que droite, cercle, point, plan ou cylindre) associée à une référence ou un système de référence, devient une tolérance d'orientation ou de position.

## Tolérance d'orientation

### Parallélisme

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		Le plan considéré doit être compris entre 2 plans distants de 0,1 parallèles à la référence A.
		L'axe de l'alésage considéré doit être compris dans un cylindre de $\varnothing$ 0,2 dont l'axe est parallèle à la référence A.

*Remarque* : La zone de tolérance d'orientation n'est pas totalement contrainte en situation.

## Perpendicularité

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		Le plan considéré doit être compris entre 2 plans distants de 0,15 perpendiculaires à la de référence A.
		L'axe du cylindre considéré doit être compris dans un cylindre de Ø0,05 dont l'axe est perpendiculaire à la référence A.
		L'axe de symétrie du prisme doit être compris dans un parallélépipède de section 2 x 1 perpendiculaire à la référence A

## Inclinaison

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		Le plan considéré doit être compris entre 2 plans distants de 0,3 inclinés de 30° théorique par rapport à la référence A.
		L'axe du trou considéré doit être compris dans un cylindre de Ø 0,1 dont l'axe est incliné de 70° théorique par rapport au plan de référence A (suivant la vue en coupe) et perpendiculaire à la référence A (suivant l'autre vue).

## Tolérance de position

### Coaxialité

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		L'axe du cylindre considéré doit être compris dans un cylindre de Ø 0,1 dont l'axe est coaxial à la référence A.

		<p>L'axe du cylindre considéré doit être compris dans un cylindre de <math>\varnothing 0,08</math> dont l'axe est coaxial à la référence commune A-B.</p>
--	--	---

## Symétrie

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		<p>Le plan médian du tenon doit être compris entre 2 plans distants de 0,05 disposés symétriquement par rapport à la référence A.</p>
		<p>L'axe de l'alésage doit être compris dans un parallélépipède de section 0.2 x 0.1 disposé symétriquement par rapport à la référence commune A-B et par rapport à la référence C</p>

## Localisation

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		<p>Chacun des axes des 2 trous doivent être compris dans un cylindre de <math>\varnothing 0,05</math> dont les axes sont perpendiculaires à la référence primaire A et positionnés par les cotes 12, 12 et 20 théoriques par rapports aux références secondaire B et tertiaire C.</p>
		<p>Le plan considéré doit être compris entre 2 plans distants de 0,1 inclinés de 110° théorique par rapport à la référence primaire A et disposés symétriquement à la cote de 65 théorique par rapport à la référence secondaire B.</p>

## Tolérance de battement

### Battement circulaire

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
<p>radial</p>		Le battement radial ne doit pas dépasser 0,05 dans chaque plan de mesurage pendant un tour complet autour de l'axe de référence A.
<p>axial</p>		Le battement axial ne doit pas dépasser 0,1 en chaque position de mesurage pendant un tour complet autour de l'axe de référence A.
<p>oblique</p>		Le battement oblique sur chaque cône de mesurage ne doit pas dépasser 0,2 pendant un tour complet autour de l'axe de référence A.

### Battement total

Exemple	Zone de tolérance	Interprétation
		Le battement total radial ne doit pas dépasser 0,1 en chaque point de la surface spécifiée durant plusieurs tours de rotation autour de l'axe de référence commune A-B, l'instrument de mesure doit se déplacer suivant une ligne parallèle à l'axe de référence.
		Le battement total axial ne doit pas dépasser 0,1 en chaque point de la surface spécifiée durant plusieurs tours de rotation autour de l'axe de référence D, l'instrument de mesure doit se déplacer suivant une ligne perpendiculaire à l'axe de référence.
		Le battement total oblique ne doit pas dépasser 0,2 en chaque point de la surface spécifiée durant plusieurs tours de rotation autour de l'axe de référence A, l'instrument de mesure doit se déplacer suivant une ligne inclinée de 20° théorique par rapport à l'axe de référence.

Sur le dessin de la bride couvercle (page suivante), donner la signification de toutes les spécifications.  
Faire un croquis 3D pour les spécifications géométriques



## TD3 : Cotation au maximum de matière

A partir des spécifications ci-dessous, indiquer pour chaque cas les dimensions au maximum et au minimum de matière.

Spécification dessin	Au maximum de matière	Au minimum de matière
(pièces mâles) 		
 (pièces femelles)		

### Principe du maximum de matière

Utilisée avec les tolérances géométriques, la condition au maximum de matière établit une **dépendance** entre la tolérance dimensionnelle (IT) et la tolérance géométrique. Elle permet de transférer la portion de l'IT non utilisé sur la tolérance géométrique.

La dimension virtuelle correspond à la dimension du calibre ou de la jauge de contrôle.

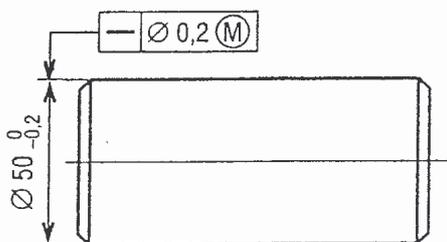
**Dimension virtuelle du calibre pour pièce mâle =**  
dimension au maximum de matière + tolérance géométrique

**Dimension virtuelle du calibre pour pièce femelle =**  
dimension au maximum de matière - tolérance géométrique

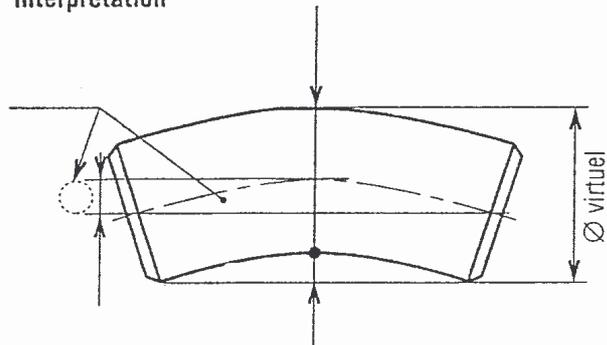
### Application 1

Interpréter les spécifications du dessin et compléter la figure d'interprétation

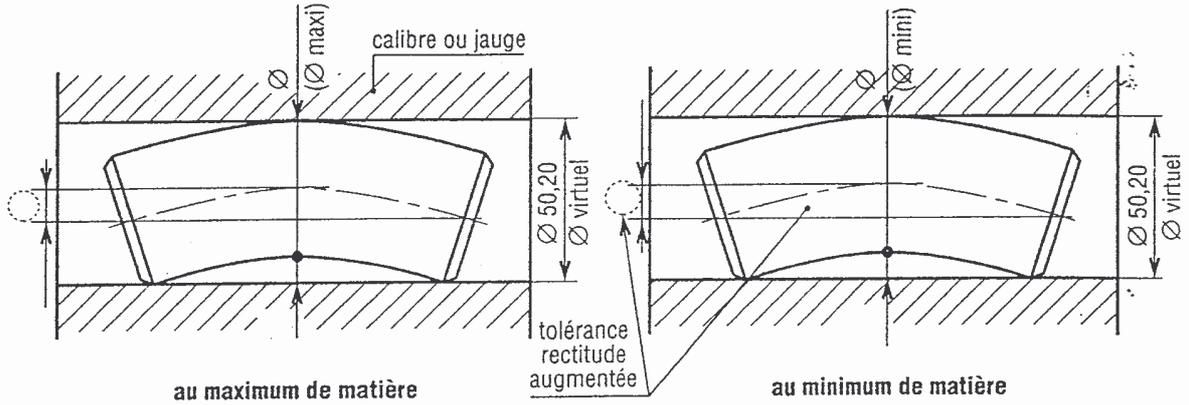
spécifications dessin



interprétation



Compléter les dimensions dans les deux cas ci-dessous.

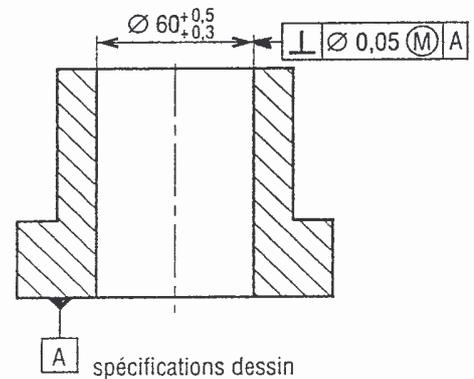


Compléter le tableau en fonction des diamètres réalisés

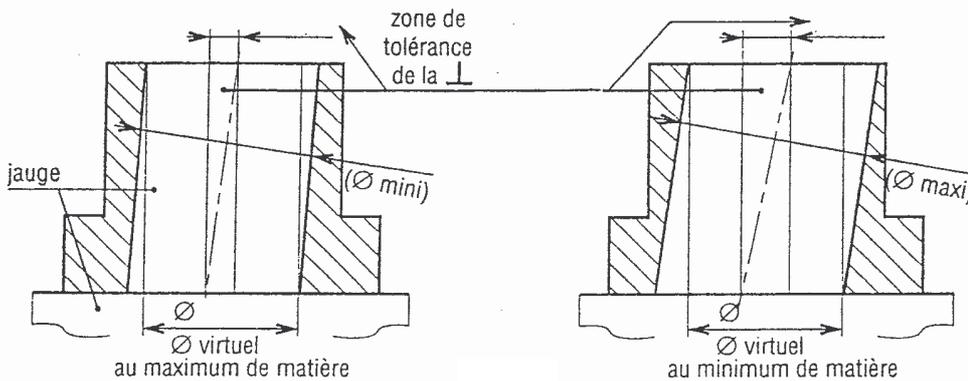
Diamètre réalisé	Gain de tolérance géométrique obtenu	Nouvelle tolérance de rectitude	Diamètre virtuel
50,00	0	0,2	50,20
49,95			
49,90			
49,83			
49,80			

### Application 2

Interpréter les spécifications du dessin



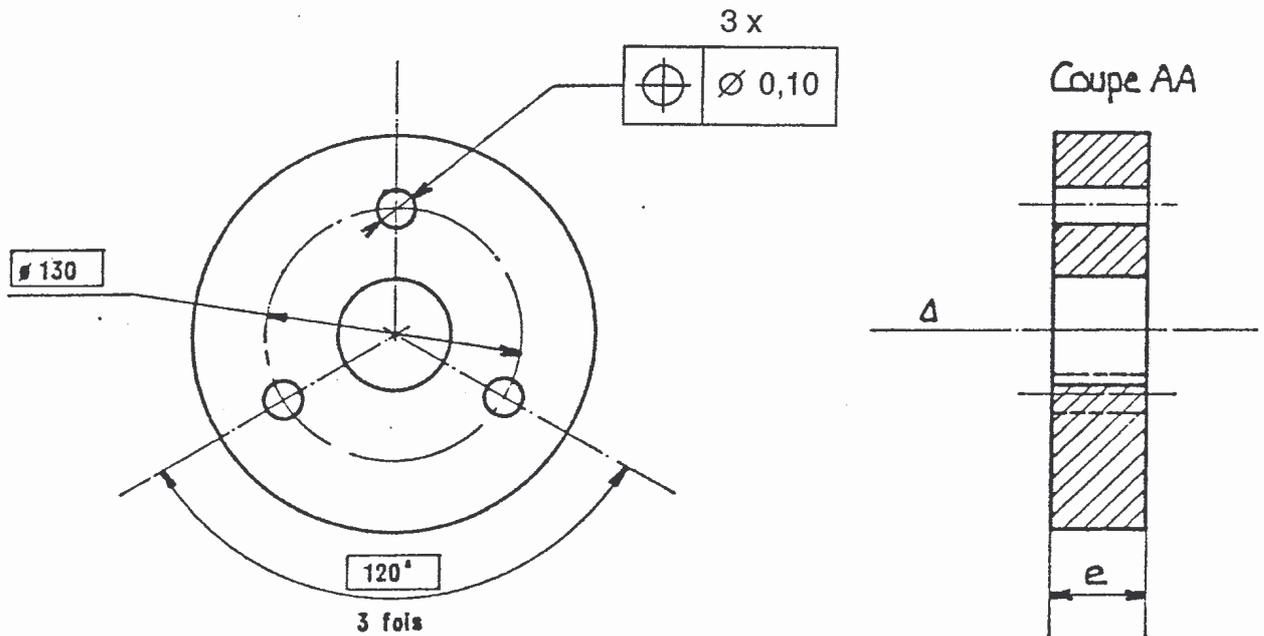
Compléter les dimensions dans les deux cas ci-dessous.



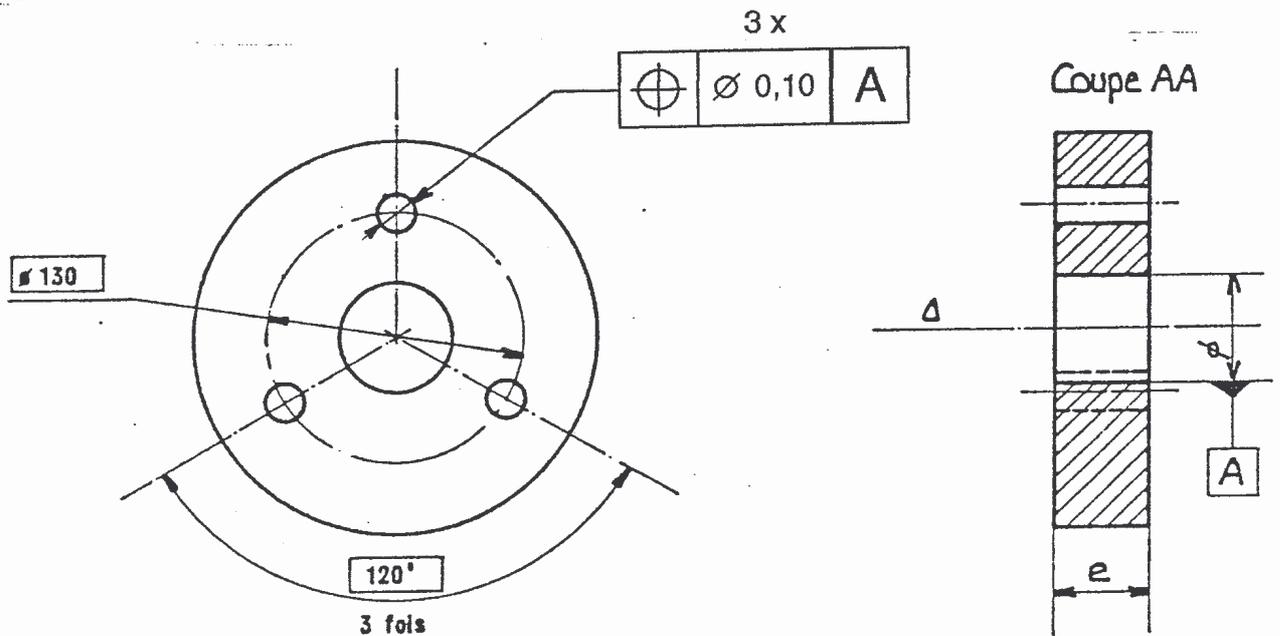
### Application 3

Pour chaque cas, analyser et interpréter la spécification géométrique de localisation.

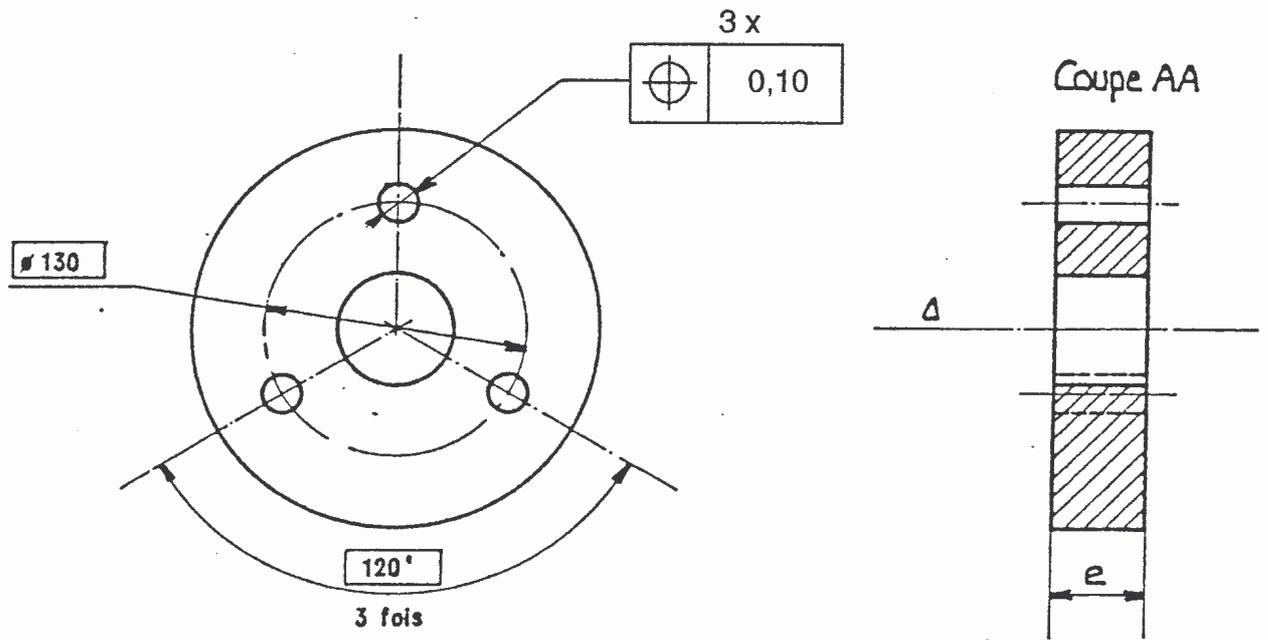
#### 1) Localisation sans référence



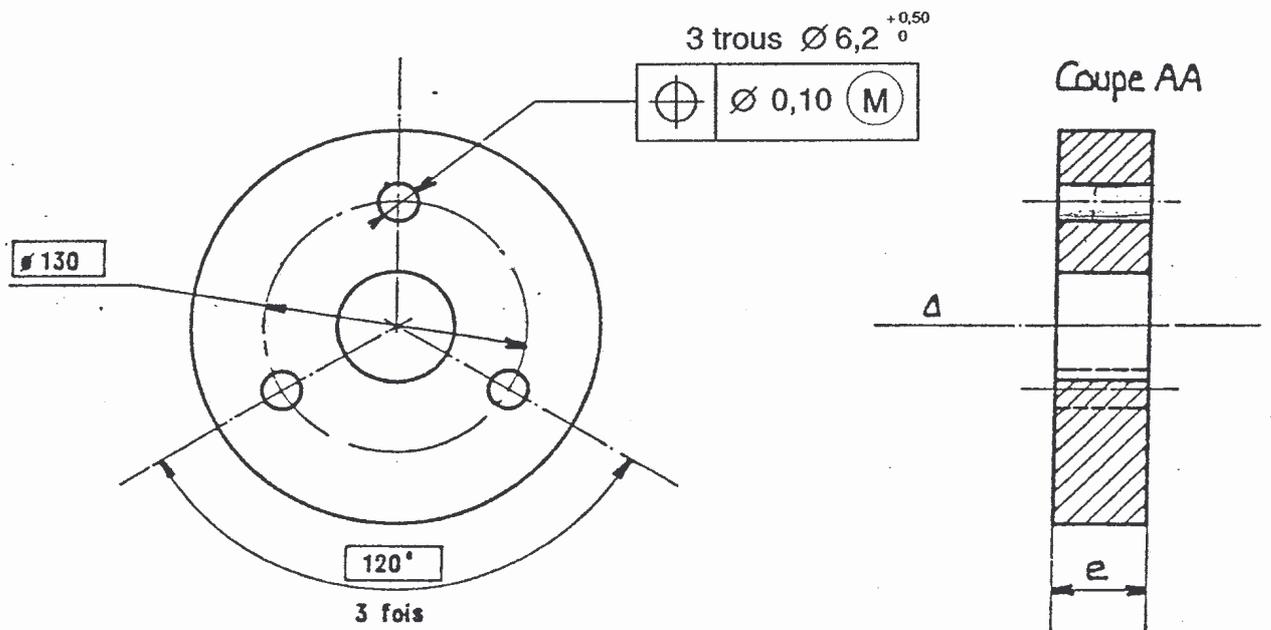
#### 2) Localisation avec référence



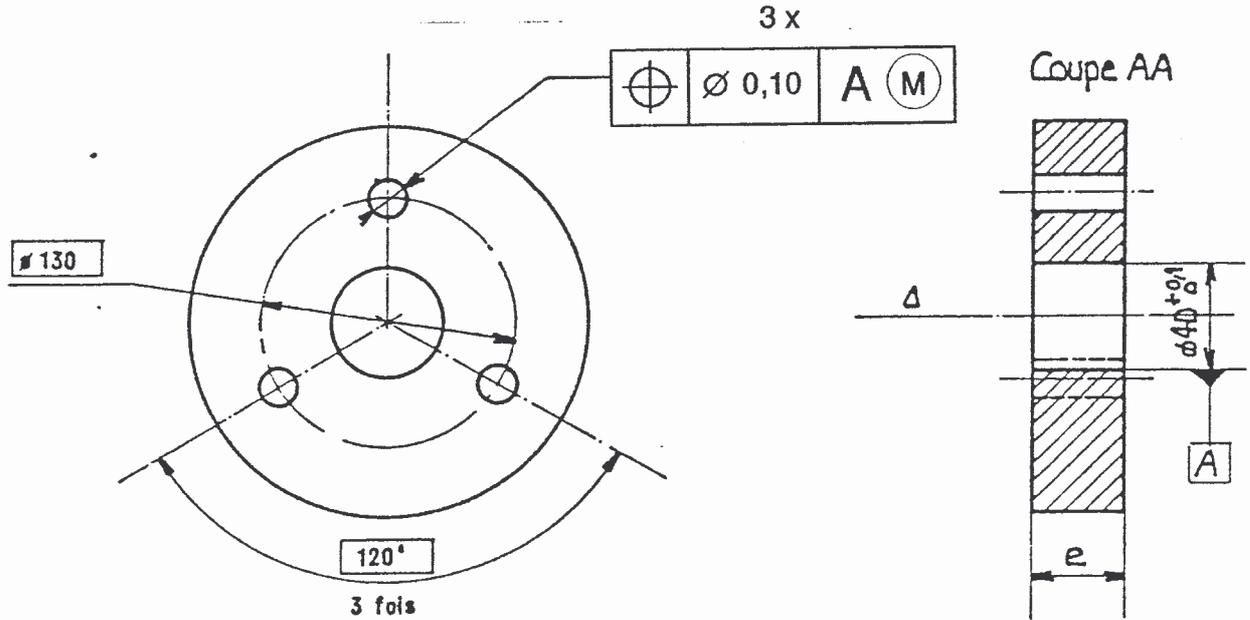
3) Localisation sans référence



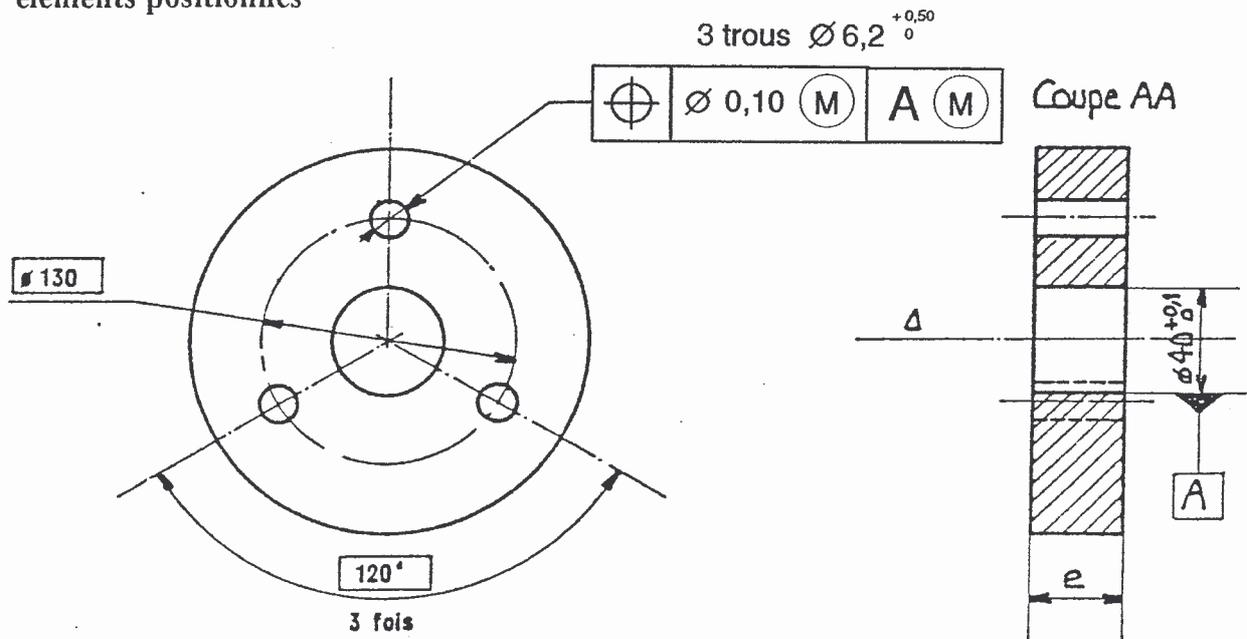
4) Localisation sans référence avec maximum de matière sur les éléments positionnés



5) Localisation avec maximum de matière sur la référence

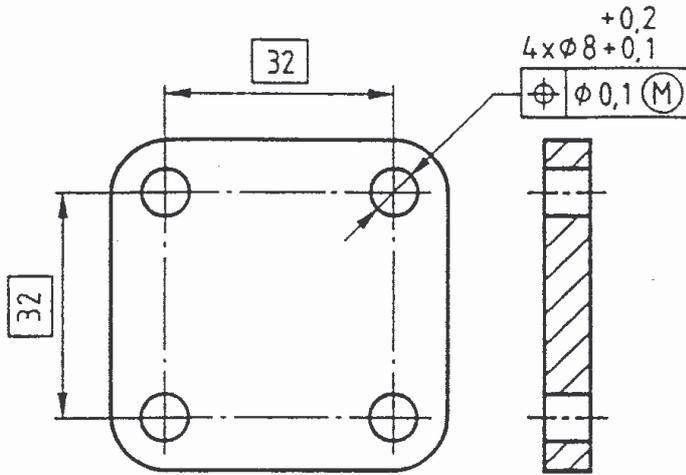


6) Localisation avec maximum de matière sur la référence et avec maximum de matière sur les éléments positionnés

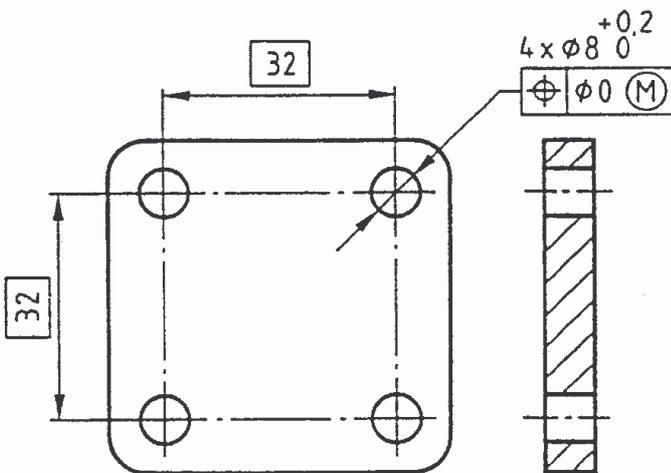


## Remarque : tolérancement géométrique zéro

Exemple: tolérance de localisation de 4 alésages les uns par rapport aux autres.



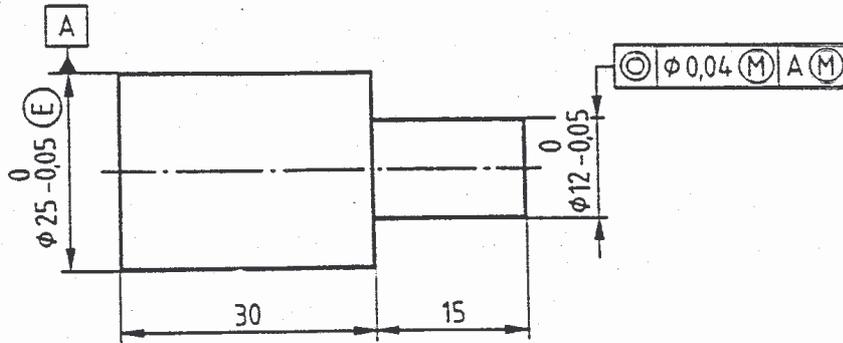
Cotation avec tolérancement géométrique zéro



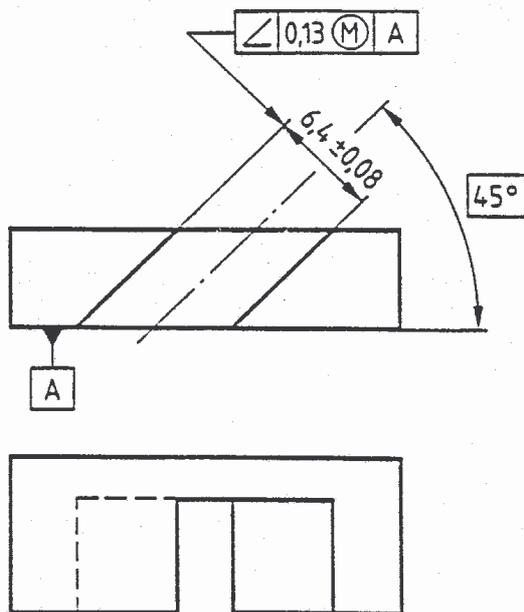
## Application 4

Pour chaque cas, analyser et interpréter la spécification géométrique.

### Tolérance de coaxialité

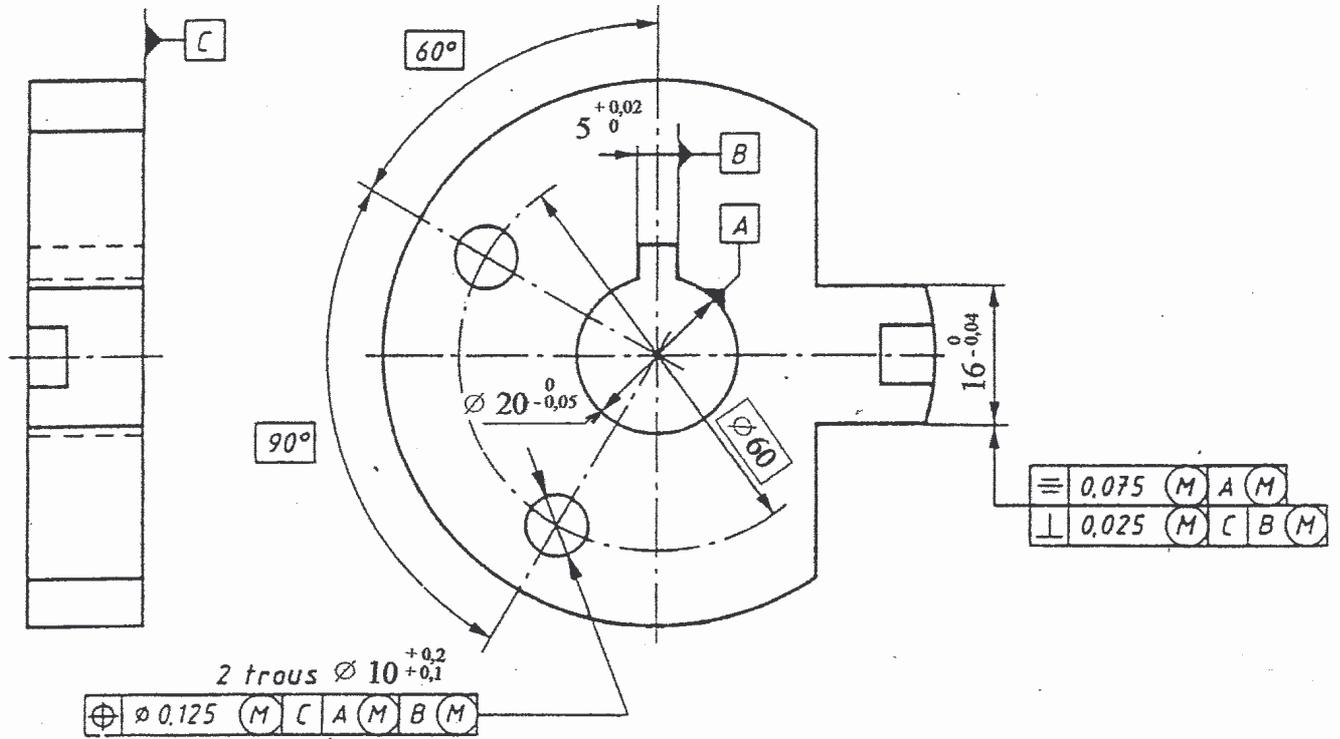


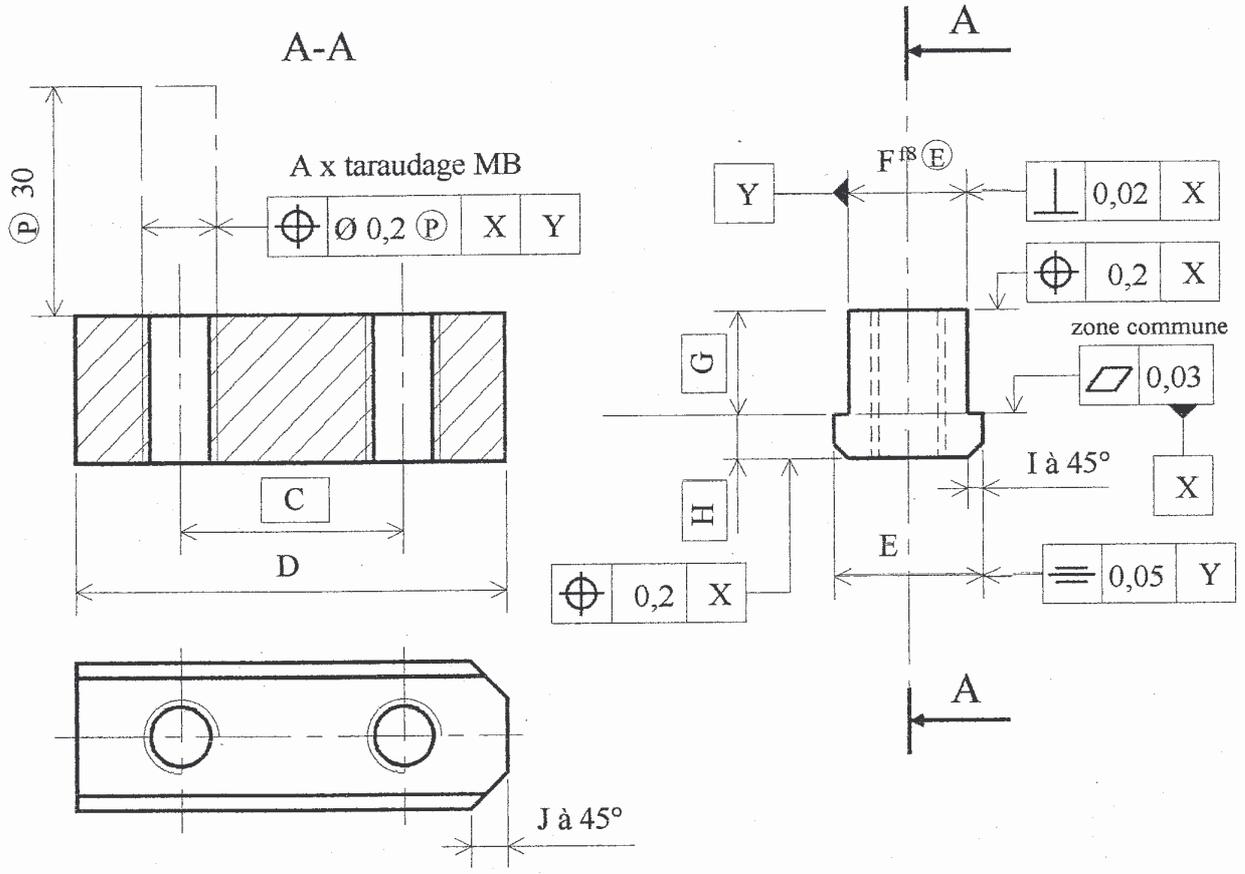
### Tolérance d'inclinaison



## Application 5

Analyser et interpréter les spécifications géométriques.





Nbre taraudage M...

Variante	A	B	C	D	E	F <sup>h8</sup> (E)	G	H	I	J
1: TCN1	2	8	22	48	14	11	9	5,5	1	
2: TCN2	2	10	20	36.5	17.47	12	11	7.5	3	5.5

TG: ISO 2768 mK

**TASSEAU**