

Cotation fonctionnelle des pièces mécaniques

Méthode CLIC :

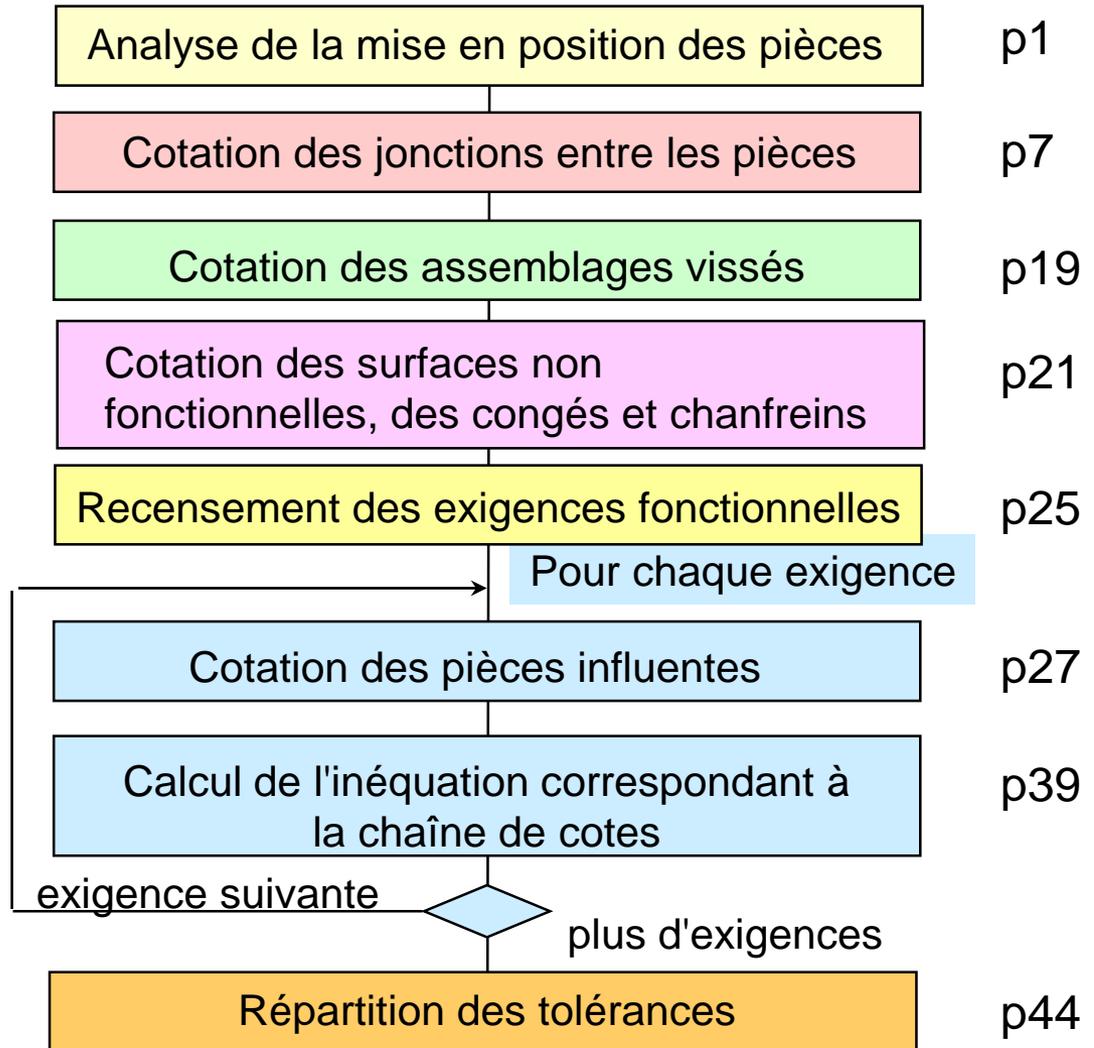
Cotation en
Localisation avec
Influence des
Contacts

Bernard ANSELMETTI

Professeur à l'IUT de Cachan
9 avenue de la division Leclerc,
94234 Cachan Cedex
Tel : 01 41 24 11 73
bernard.anselmetti@u-psud.fr

Laboratoire Universitaire de Recherche
en Production Automatisée
Ecole Normale Supérieure de CACHAN
61 avenue du Président WILSON,
94235 Cachan cedex
Tel : 01 47 40 29 71

version juin 2017



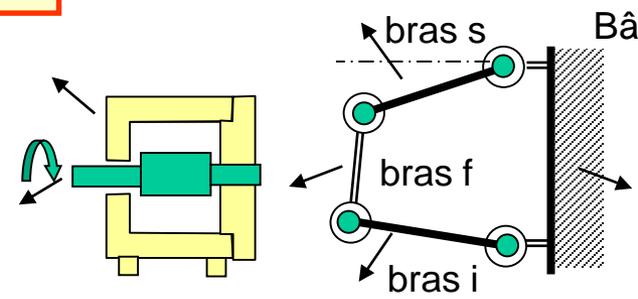
Principales notions des normes ISO de cotation

p49

DECOMPOSITION EN SOUS-ENSEMBLES

Niveau 1 : Décomposition en blocs cinématiques

Sous-ensembles constitués de pièces solidaires en liaisons complètes, reliés entre eux par des liaisons laissant des mobilités permettant le fonctionnement du mécanisme.



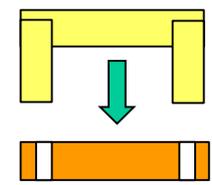
Niveau 2 : Décomposition en sous-ensembles achetés

Sous-ensembles achetés ou réalisés par des entités différentes et livrés montés sur les lignes d'assemblage



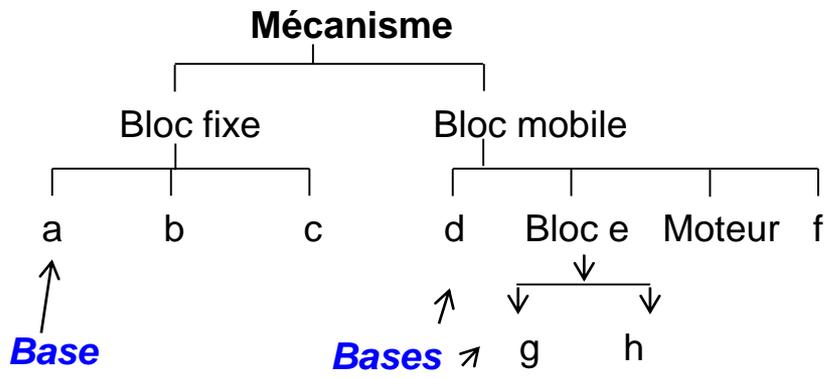
Niveau 3 : Décomposition méthodologique

Sous-ensembles en liaisons complètes réalisés préalablement lors l'assemblage d'un bloc.



Graphe d'un mécanisme sur plusieurs niveaux

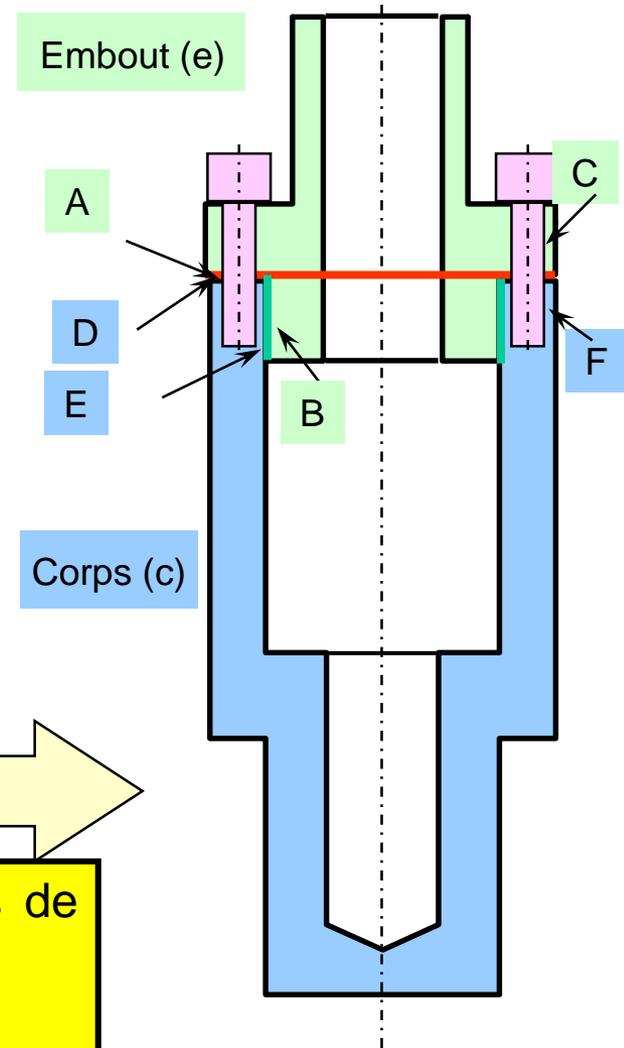
Le graphe décrit la décomposition en sous-ensembles et l'ordre de mise en position des pièces : Chaque pièce est mise en position sur des pièces ou des sous-ensembles situées à sa gauche



La pièce b est mise en position sur a
La pièce c est mise en position sur des surfaces appartenant à la pièce a ou à la pièce b.
Une exigence est traitée au sein du bloc le plus élevé contenant toutes les surfaces terminales.
Un maillon d'un bloc devient une exigence au sein du bloc au niveau inférieur.

TABLEAU DE MISE EN POSITION

	Pièce ou bloc :		Repère :		Etat :		Auteur :	
1. Nom de la pièce	Embout		e		1		Martin	
2. Type d'entité de liaison	Plan		Cylindre		4 trous parallèles			
3. Surface de mise en position	A	e	B	e	C	e		
4. Type d'interface	contact		jeu		jeu vis M4 serrage			
5. Type d'entité de liaison	Plan		Cylindre		4 taraudages			
6. Surface d'appui	D	c	E	c	F	c		
Pièce d'appui	Primaire		Secondaire		Tertiaire			



La surface prépondérante est celle qui impose le plus de degrés de liberté en rotation dans la mise en position, (sauf la sphère qui doit être placée en premier).

Les liaisons élémentaires sont sphérique, plane, cylindrique, révolution, prismatique ou complète (pas de ponctuelle, ni de linéique, ni de linéaire annulaire).

Une liaison ne peut pas supprimer uniquement des degrés de liberté déjà supprimés par les liaisons prépondérantes.

Mettre A, B, C sur la 3eme ligne et D, E, F sur la 5eme ligne
Mettre "ME" (milieu extérieur) sur la dernière ligne pour le bâti d'un mécanisme.

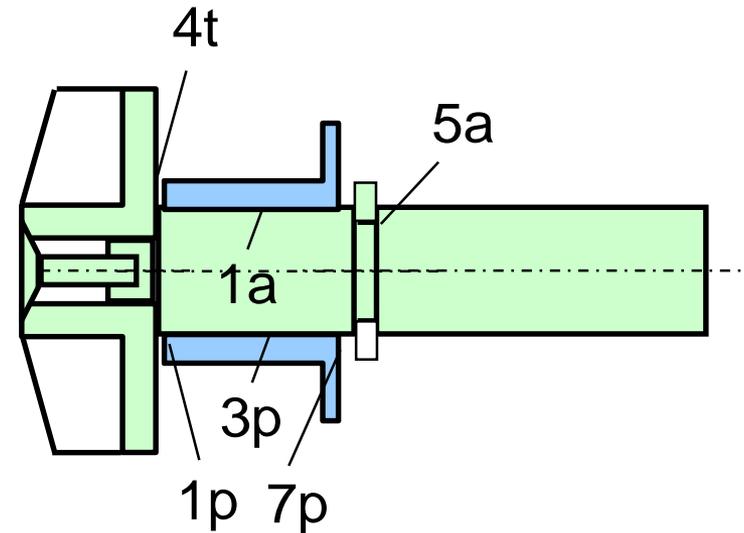
DEFINITION D'UN BLOC

Lorsqu'il n'est pas possible de définir la mise en position complète d'une pièce isolée par rapport au reste du mécanisme, il faut constituer un bloc composé de plusieurs pièces. Chaque pièce est caractérisée par un tableau de mise en position dans le bloc. La mise en position d'un bloc est également définie par un tableau.

Pièce ou bloc : Repère : Etat : Auteur :

Bloc tournant		bt	1	Martin
type	Cylindre		Plans // symétriques	
surface	A	1a	B	4t , 5a
interface	Jeu		jeu circlips $1,5 \pm 0,1$ contact	
surface	Cylindre		Plans // symétriques	
	D	3p	E	1p , 7p
	Primaire		Secondaire	
			Tertiaire	

Schéma de la jonction



Dans le tableau d'un bloc, les surfaces de la troisième ligne n'appartiennent pas à la même pièce.

La base d'un bloc (première pièce sur laquelle sont posées les autres pièces du bloc) n'a pas de tableau de mise en position : mettre "base" sur la 2eme ligne du tableau.

Le graphe indique à quel bloc appartient chaque pièce.

PRINCIPALES ENTITES DE POSITIONNEMENT

Plan



Plans
coplanaires



Plans
décalés



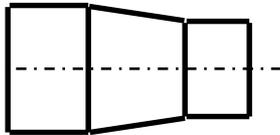
Plans
parallèles
symétriques



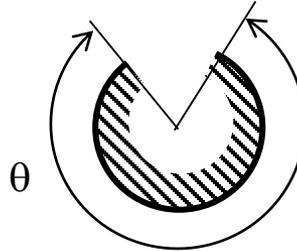
Cylindre



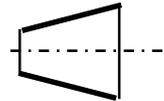
Cylindres
coaxiaux



Sphère
($\theta > 180^\circ$)



Cône



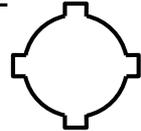
Surface
simple



Surface
unifiée



Groupe de Plans
parallèles
symétriques



Groupe de
cylindres
parallèles



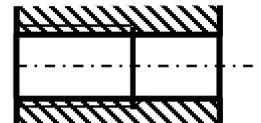
Groupe de
taraudages
parallèles



Filetage



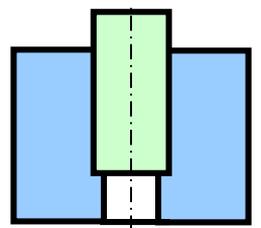
Taroudage



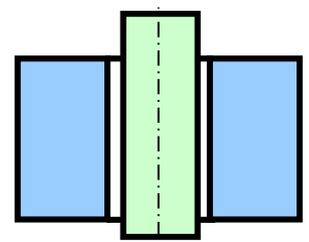
TYPES D'INTERFACE

Ajustements

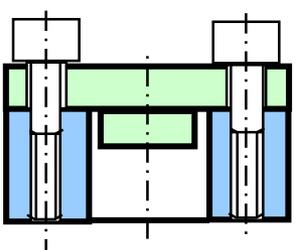
Serrage



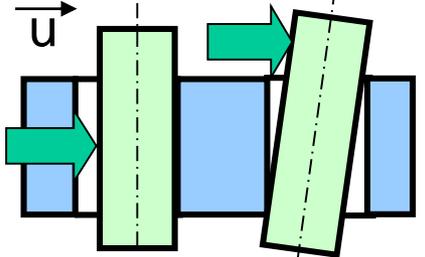
Jeu (libre)



Jeu bloqué



Jeu forcé

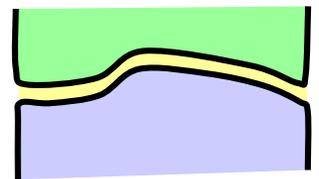


Surfaces

Contact

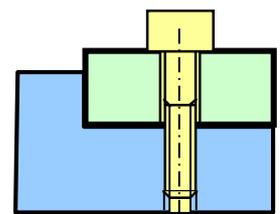


Colle, joint..

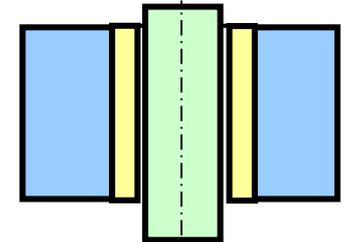


Composants

Vis

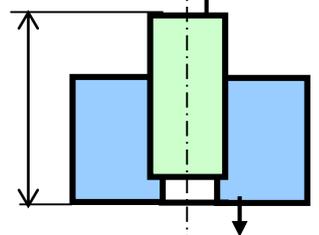


Coussinet

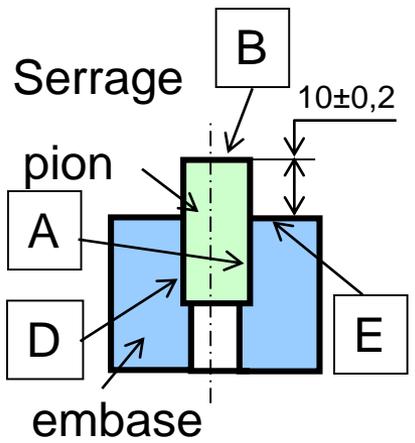
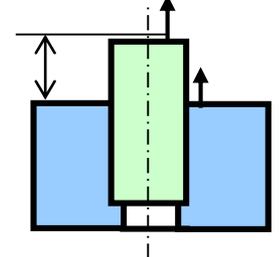


Réglage

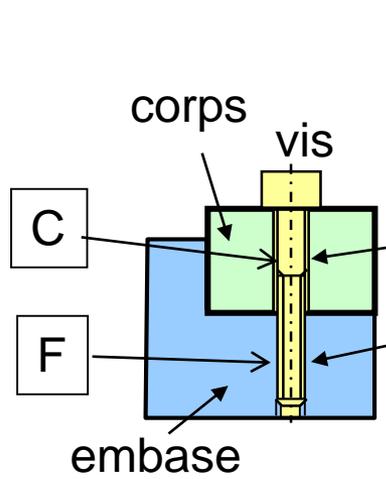
Cote



Décalage



Pion		p	
cylindre		plan	
A	p	B	p
serrage		décalage	
		10 ±0,2	
cylindre		plan	
D	e	E	e



Corps	
cylindre	
C	c
jeu	
Vis M6	
serrage	
taroudage	
F	e

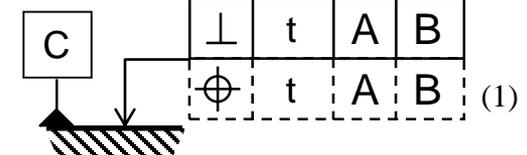
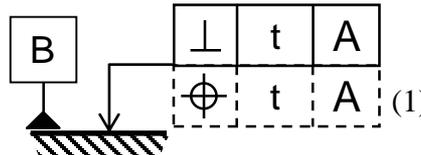
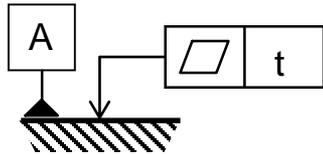
COTATION DES ENTITES

Entité primaire

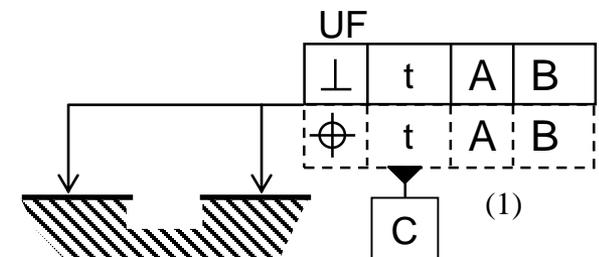
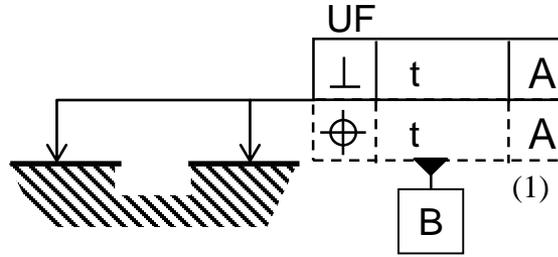
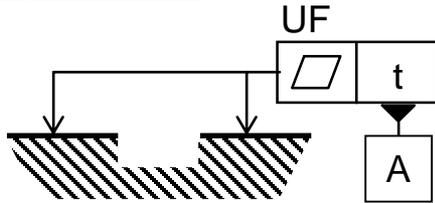
Entité secondaire

Entité tertiaire

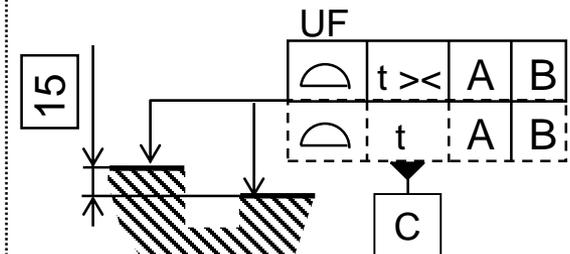
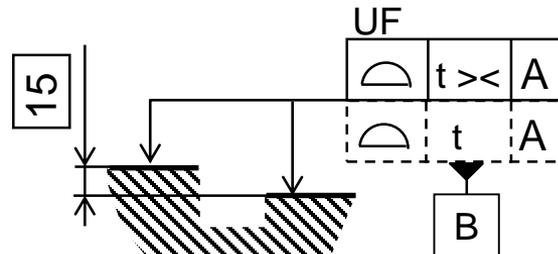
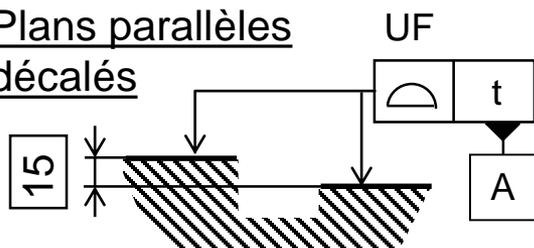
Plan



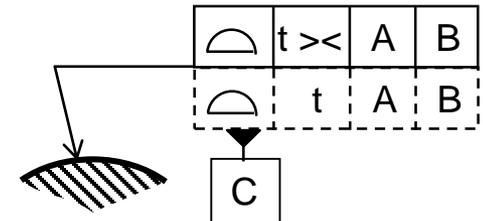
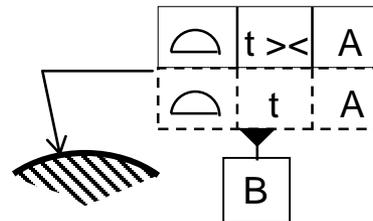
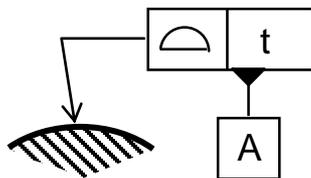
Plans coplanaires



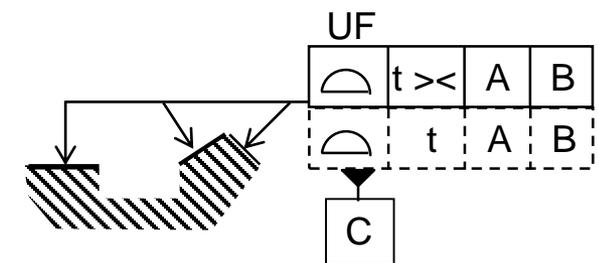
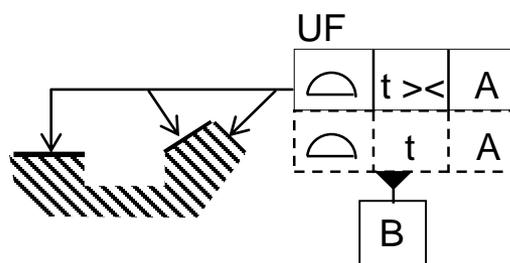
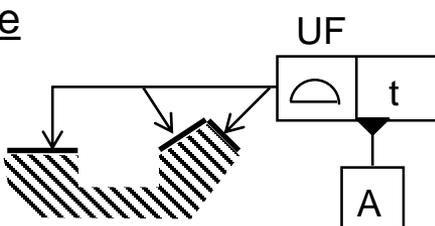
Plans parallèles décalés



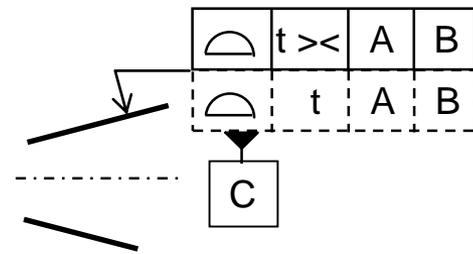
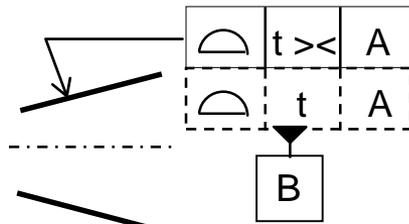
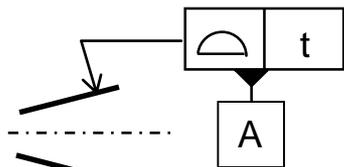
Surface simple



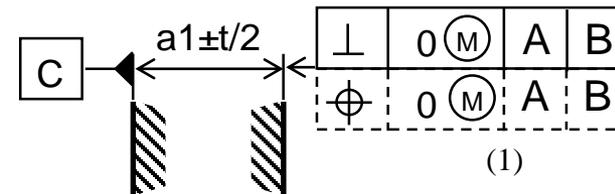
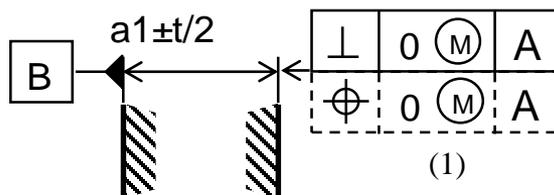
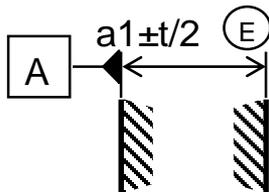
Surface unifiée



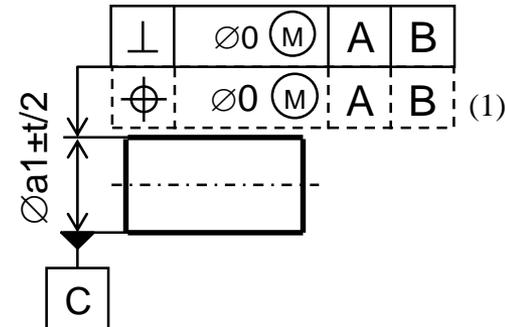
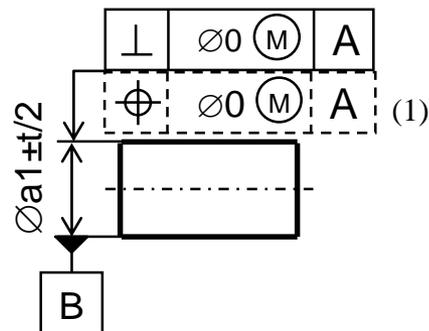
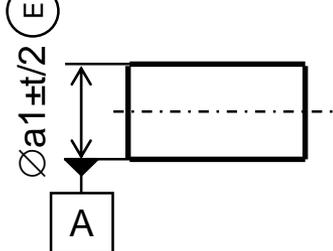
Cône



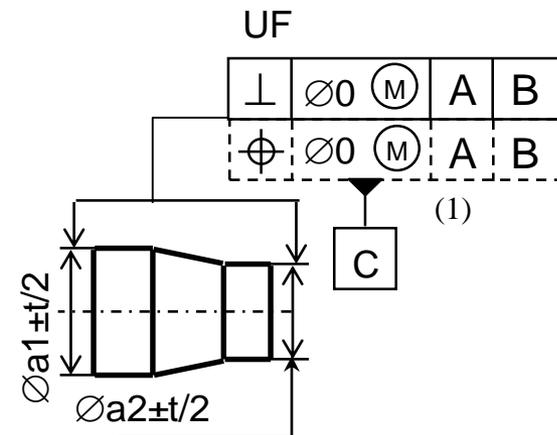
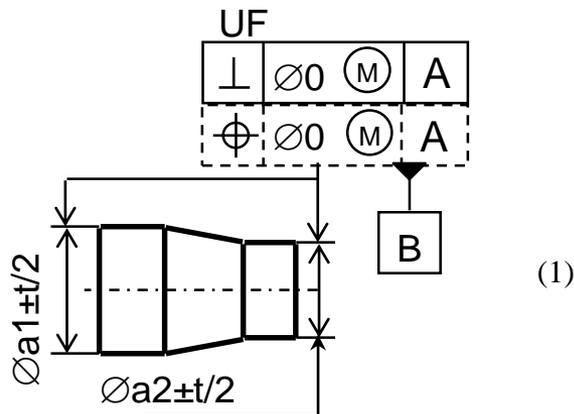
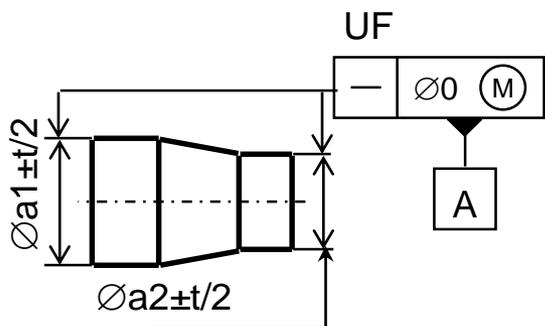
Plans parallèles symétriques



Cylindre

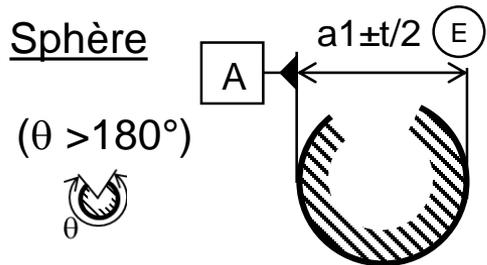


Cylindres coaxiaux



(1) La localisation remplace l'orientation si on peut placer une cote encadrée entre la surface tolérancée et la référence primaire ou secondaire

Entité primaire



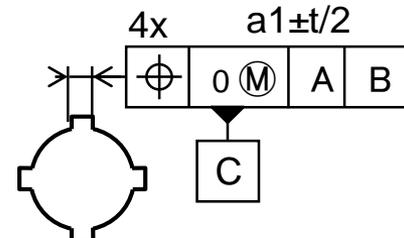
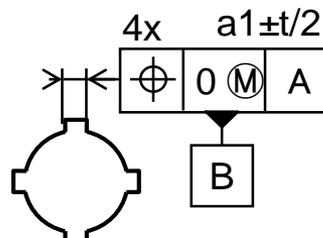
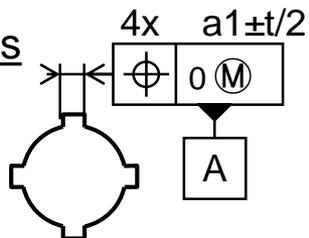
Entité secondaire

*pas de
sphère en
secondaire*

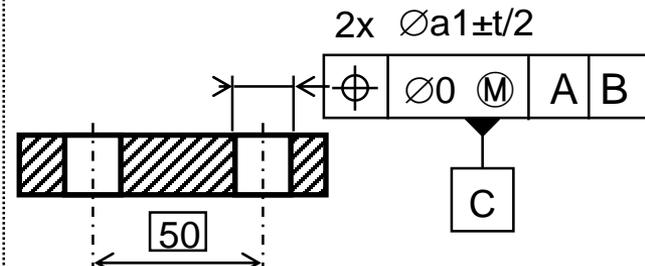
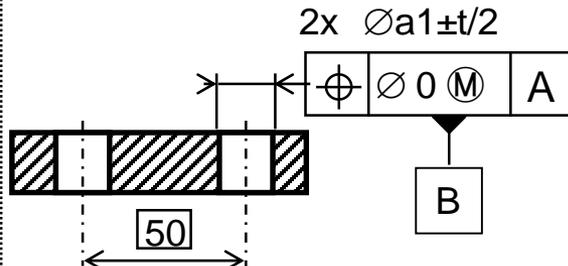
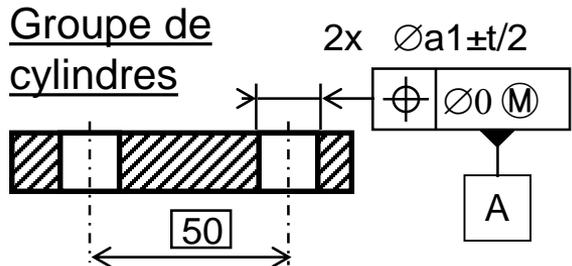
Entité tertiaire

*pas de
sphère en
tertiaire*

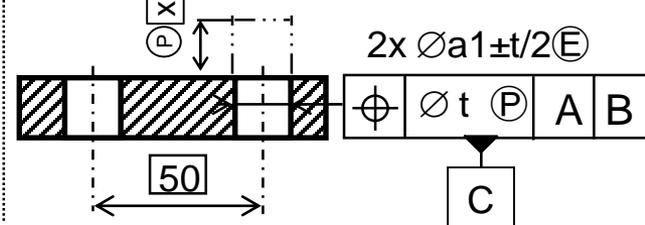
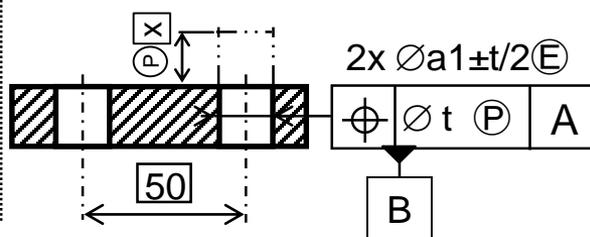
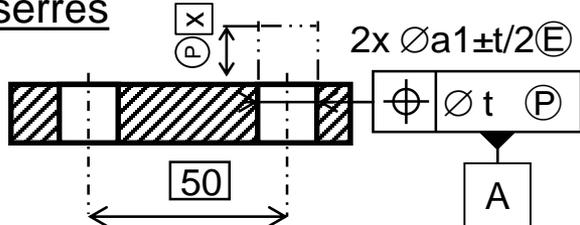
Groupe de Plans
parallèles
symétriques



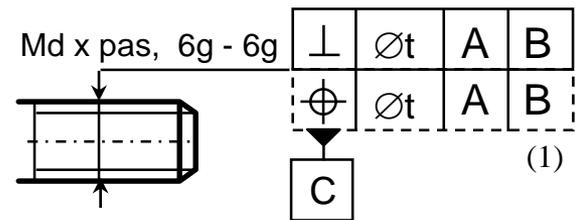
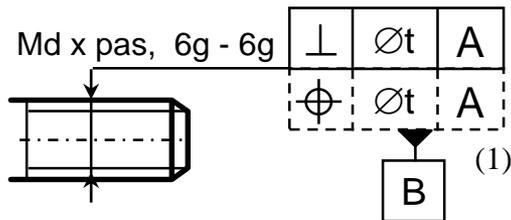
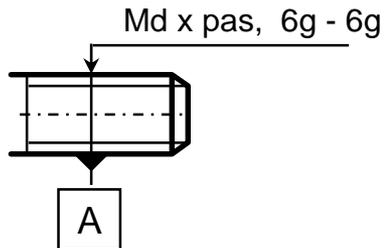
Groupe de
cylindres



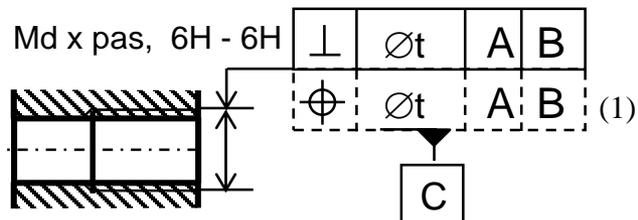
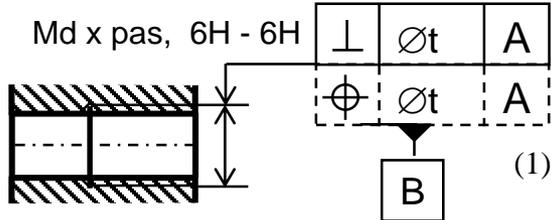
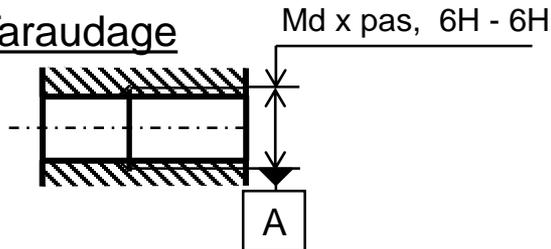
Avec pions
serrés



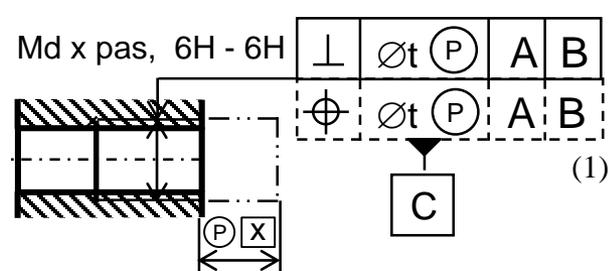
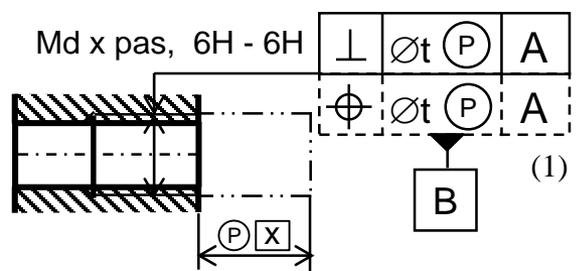
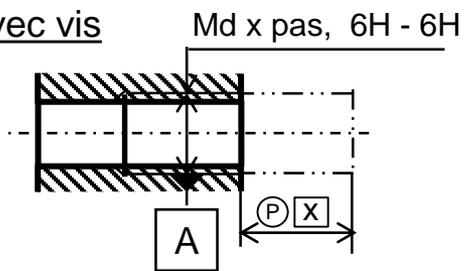
Filetage



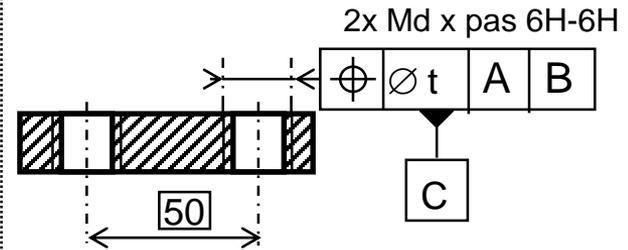
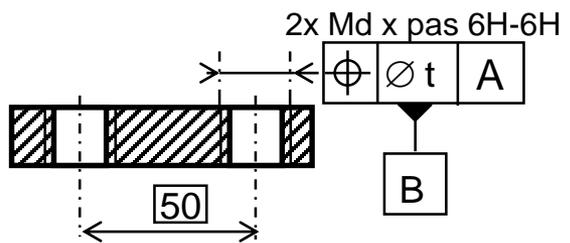
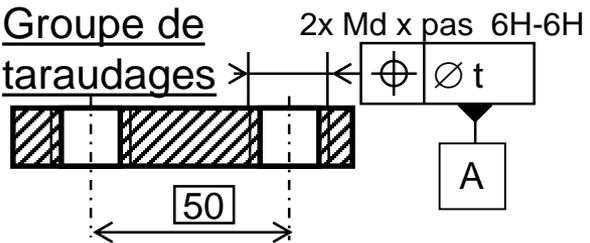
Taraudage



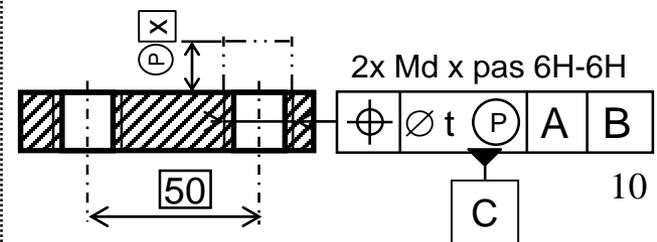
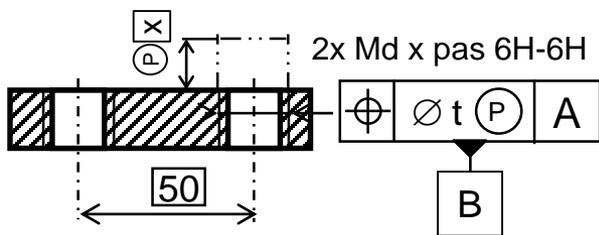
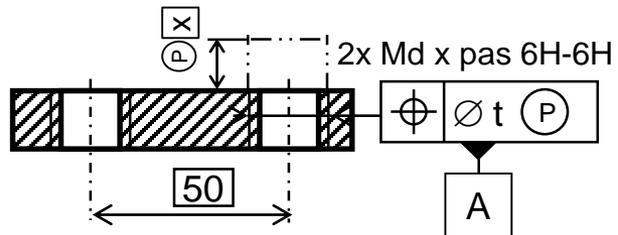
Avec vis



Groupe de taraudages



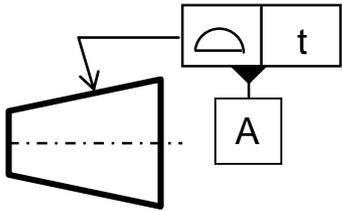
Avec vis



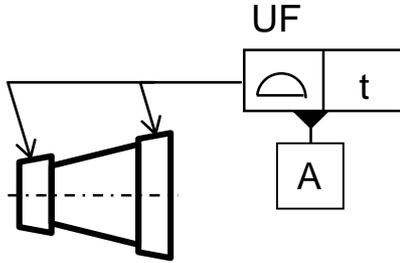
REGLE 1 : ETENDUE DE LA SURFACE SPECIFIEE

UF associe toutes les surfaces de l'entité en une seule surface désignée par une lettre.

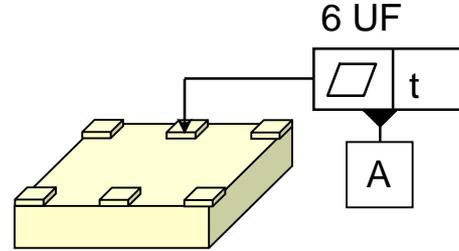
Une surface



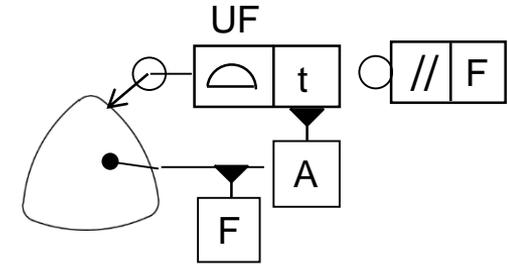
Plusieurs surfaces



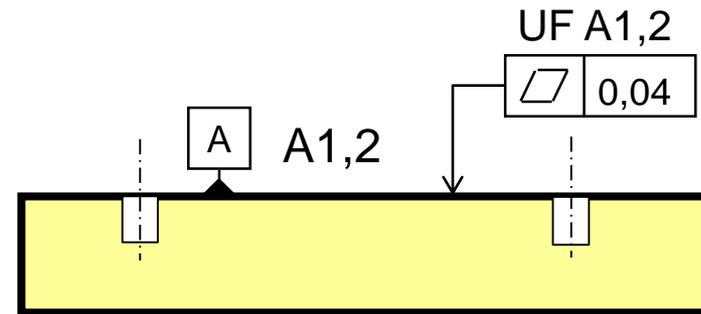
Grand nombre de surfaces



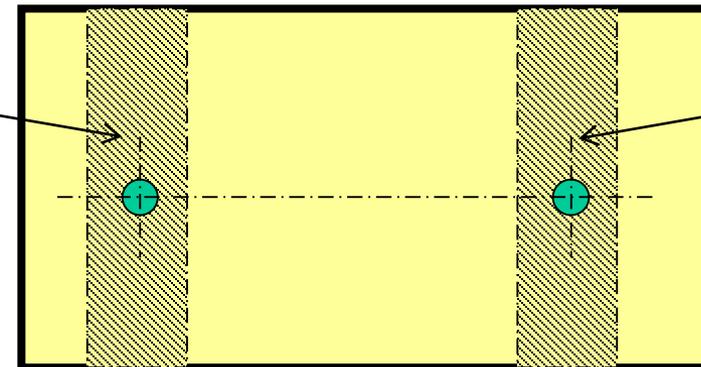
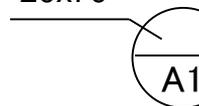
Tout le contour



Les zones partielles décrivent les portions de surfaces réellement en contact avec la pièce en vis-à-vis.



20x70



20x70

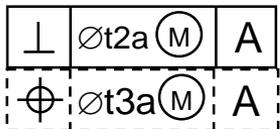
REGLE 2 : CRITERE D'ASSOCIATION DES REFERENCES



Fonctions	Critère	Exemples
Contact surfacique	[CE] Chebyshev (=minimax) [GE] Gauss	Extérieur matière
Contact ou assemblage avec serrage ou contraintes	[GM] moindres carrés moyen	
Liaison avec jeu	(M) Jeu favorable (L) Jeu défavorable	
Liaison avec le prolongement d'un pion serré	(P) Serrage ∅t (P) Jeu favorable ∅t (P)(L) Jeu défavorable	
Liaison avec une bague serrée	(G) Serrage ∅t (G) Jeu favorable ∅t (G)(L) Jeu défavorable	

Pas de modificateur pour une référence sur un filetage

REGLE 3 : ORIENTATION OU POSITION



La spécification de position remplace l'orientation s'il est possible de mettre une cote encadrée par rapport à une des références

pas de cote encadrée

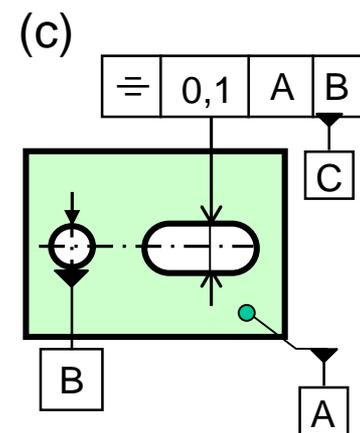
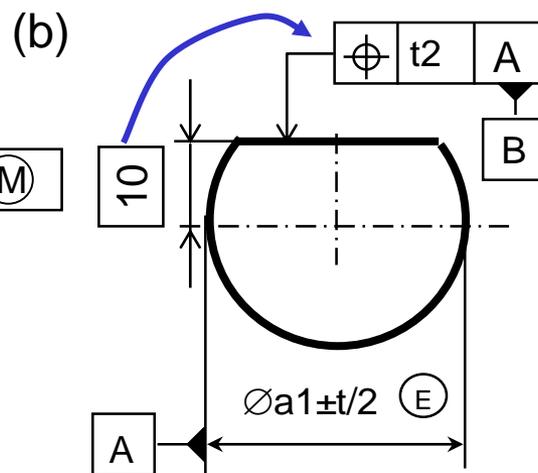
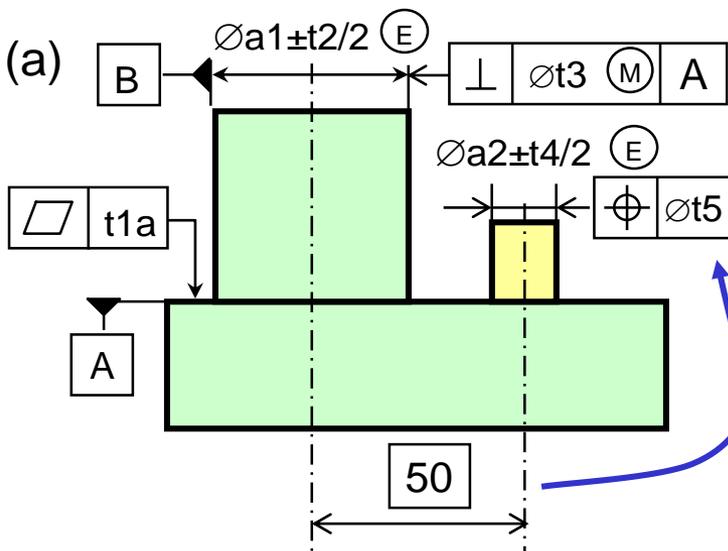
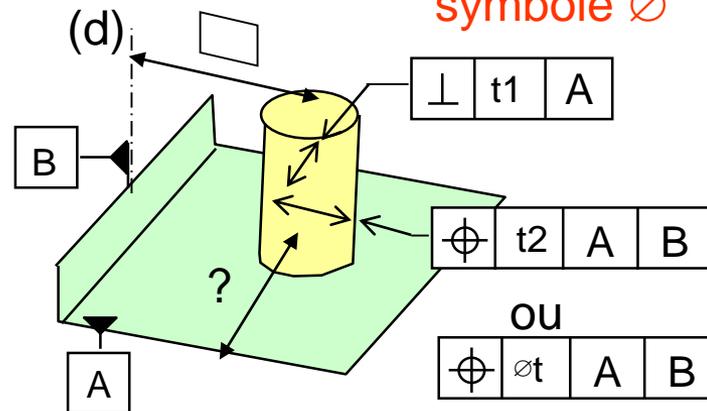
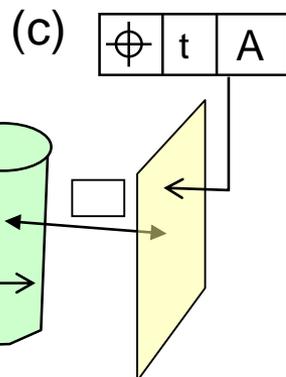
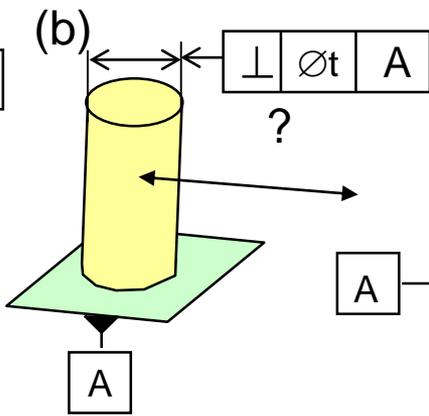
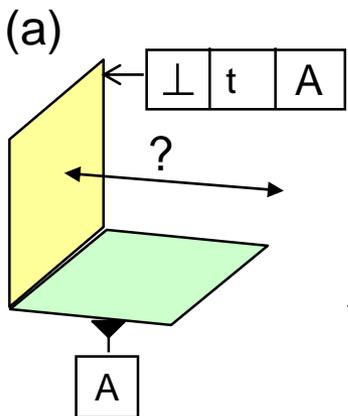
=> orientation

cote encadrée

=> position

cas mixte

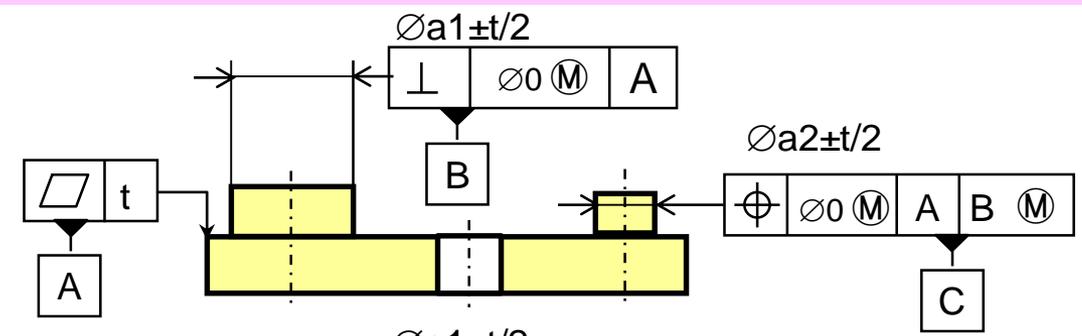
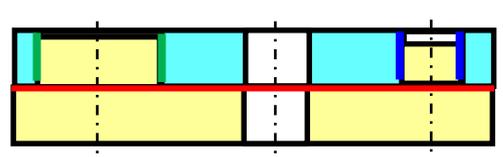
pas de symbole \varnothing



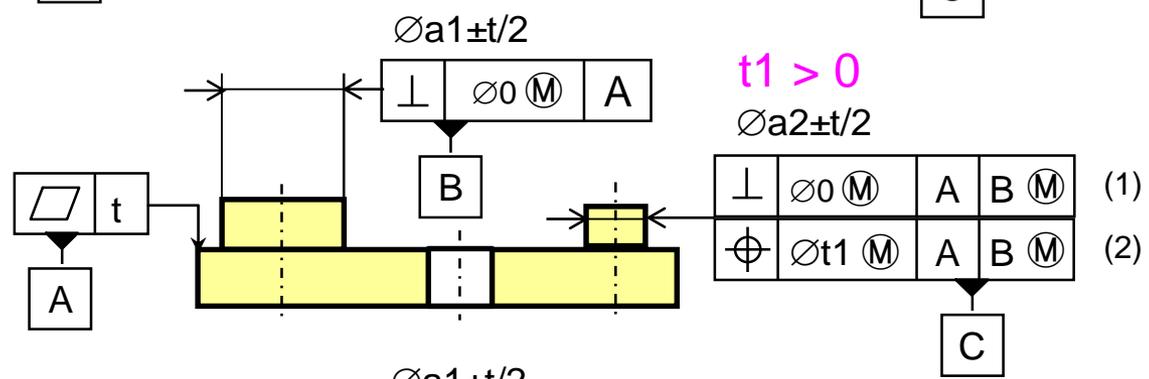
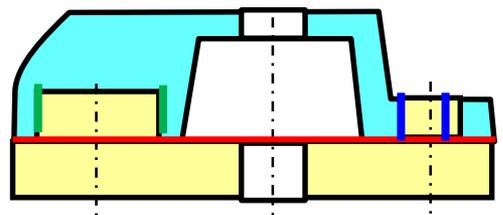
cote implicite "0"

La tolérance de position peut-être large, si la pièce d'appui laisse de la mobilité. Il faut alors conserver la spécification d'orientation.

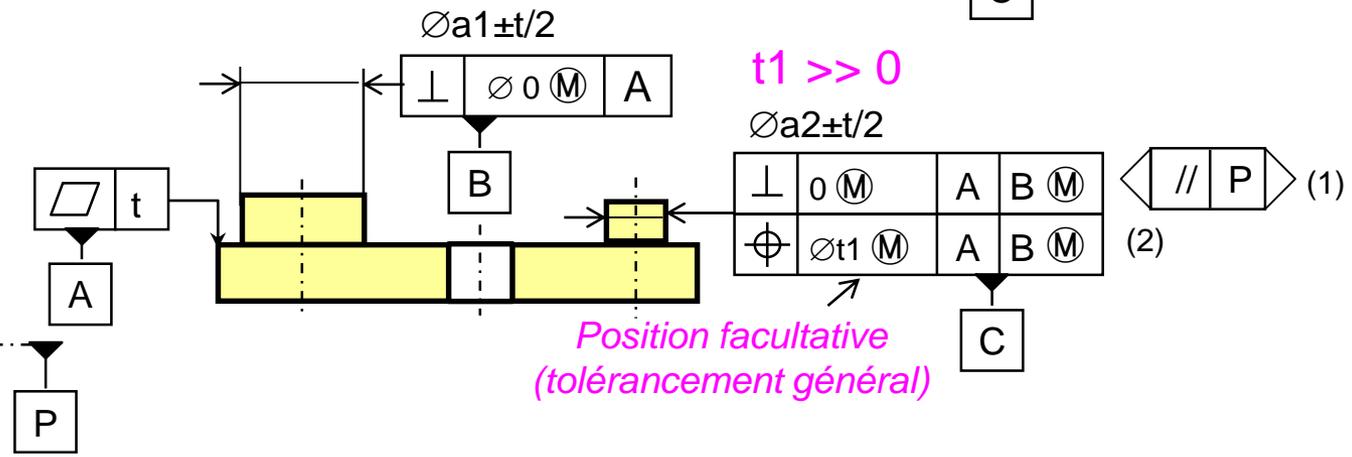
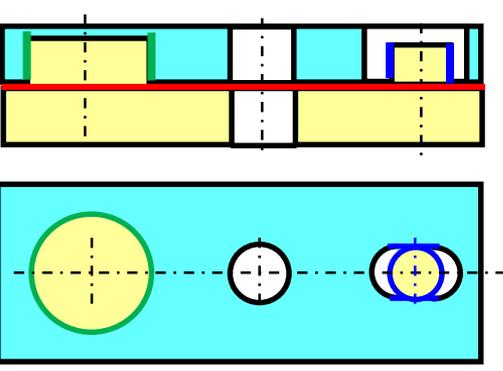
a) Pièce rigide



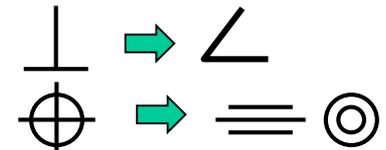
b) Pièce déformable



c) Pièce avec lumière



Adapter le symbole selon la position relative de la surface tolérancée par rapport aux références

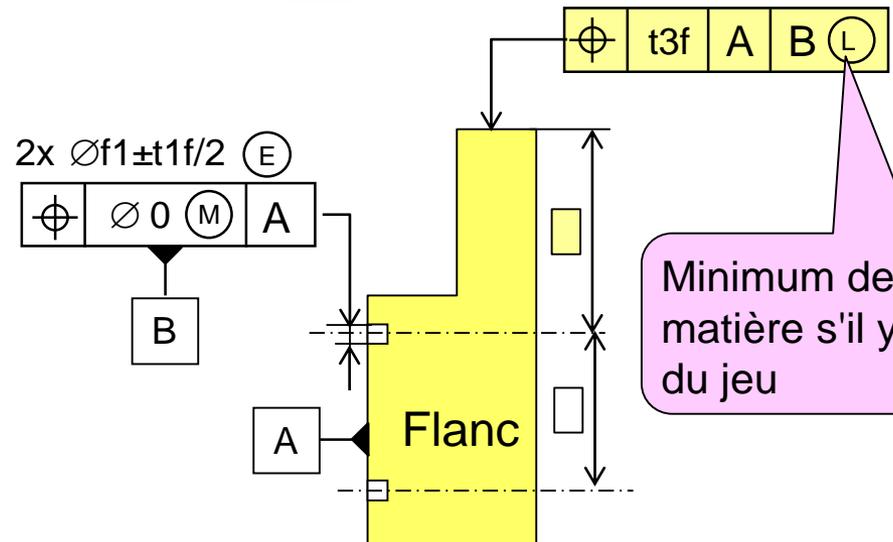
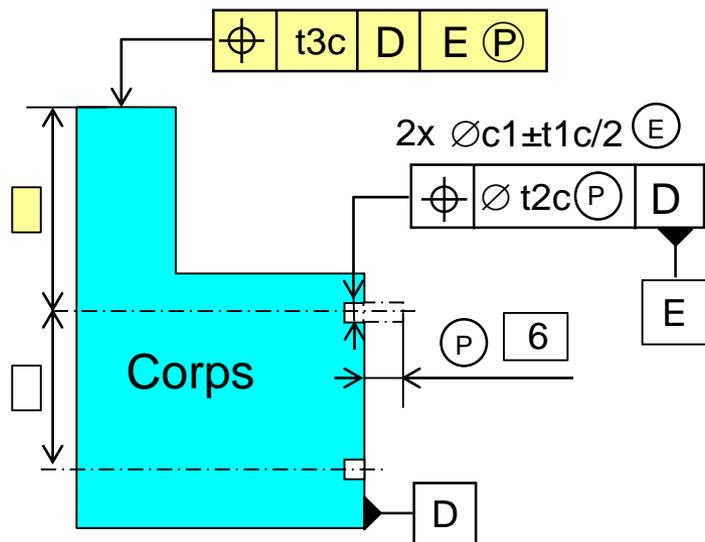
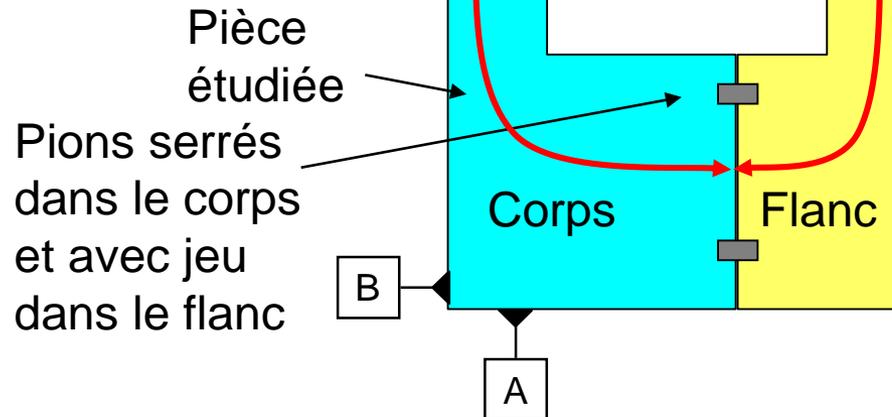
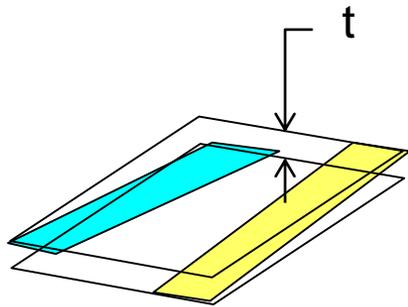


ENTITE FRACTIONNEE SUR 2 PIECES DIFFERENTES

La pièce étudiée comporte une partie d'une entité de liaison

La surface est localisée par rapport au système de références sur lequel est accrochée l'autre partie de l'entité

Ecart de planéité

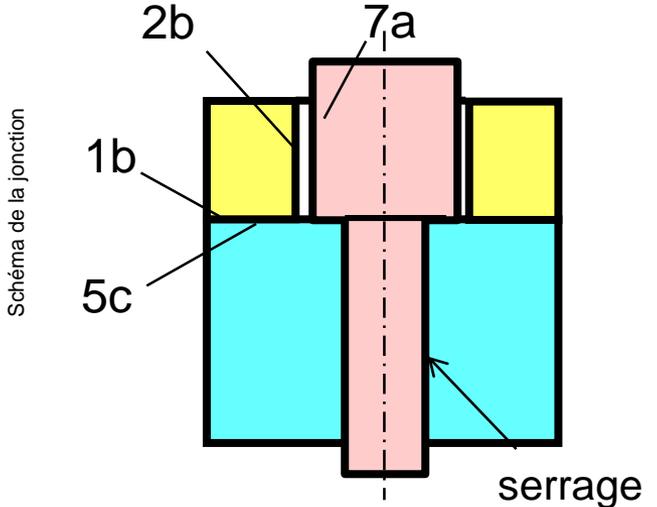


Minimum de matière s'il y a du jeu

SYSTÈME DE REFERENCES FRACTIONNE

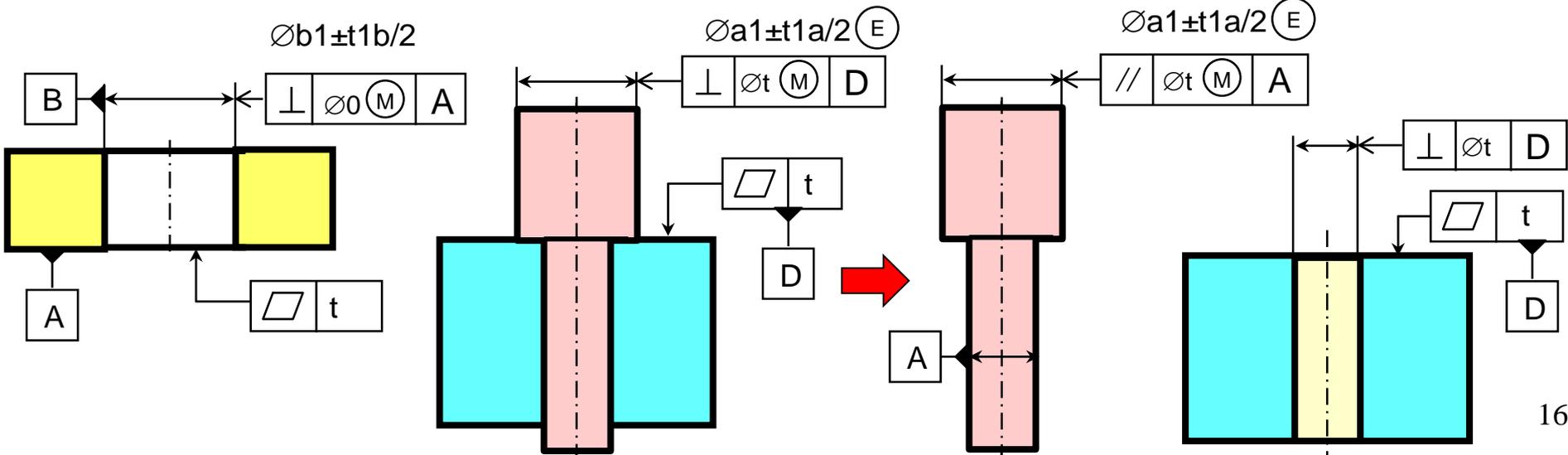
Les surfaces de la 5^{ème} ligne n'appartiennent pas à la même pièce →

Pièce ou bloc :		Repère :		Etat :	Auteur :
Bague		b	1		Martin
Plan		Cylindre			
A	1b	B	2b		
contact		jeu			
Plan		Cylindre			
D	5c	E	7a		
Primaire		Secondaire		Tertiaire	



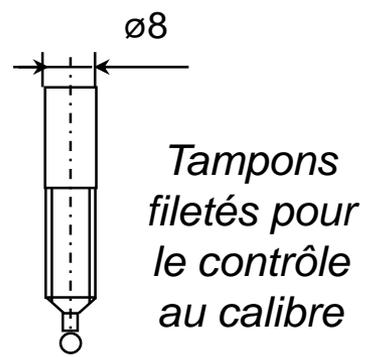
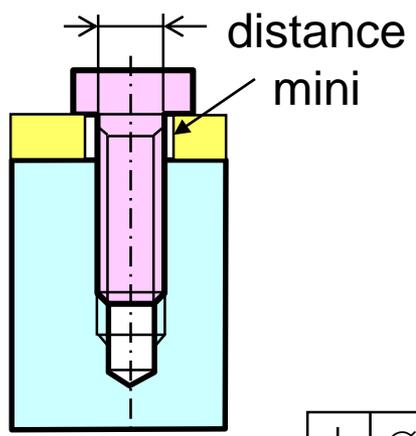
La cotation est définie en considérant que les pièces d'appui sont "soudées"

Dans un second temps, les spécifications relatives à des pièces différentes sont traitées comme des exigences à l'aide d'une chaîne de cotes.



COTATION DES ASSEMBLAGES VISSÉS

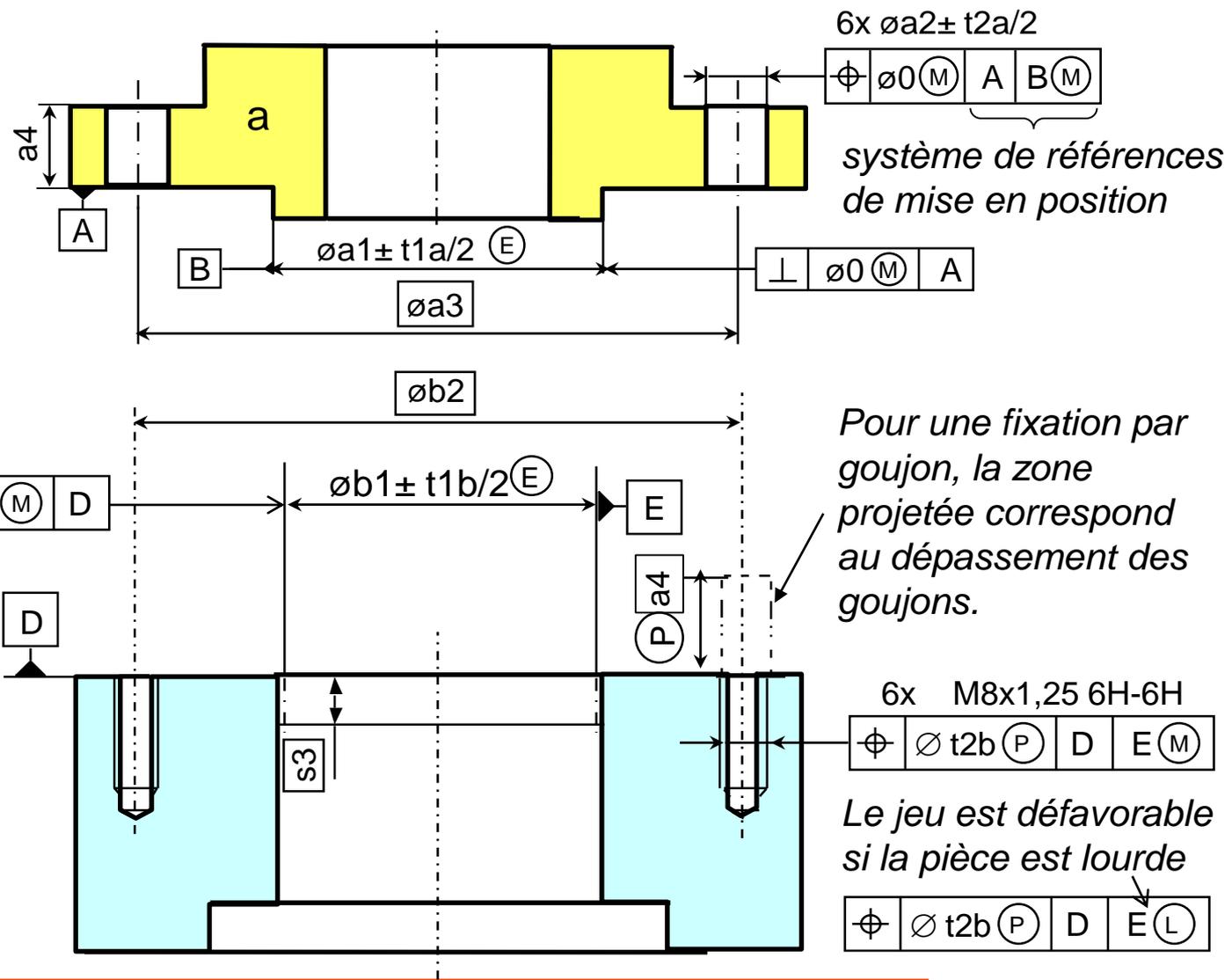
D_{vis} = diamètre maxi du corps de la vis



Condition de montabilité des vis

$$\text{Jeu mini} = 2 \times \text{distance mini} = a_2 - t_{2a/2} - D_{vis} - t_{2b}$$

(au rayon)

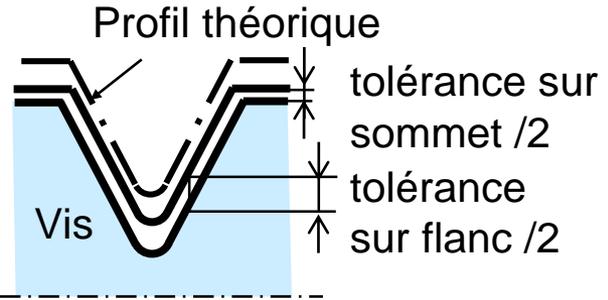


TOLERANCES SUR FILETAGES

Ecart et tolérances au diamètre

Filetage métrique
 Tolérance sur sommet
 Tolérance sur flanc
M8x1,25 6H-6H
 Diamètre nominal
 Pas

d moyen = d nominal
 - 0,6495.pas
 d intérieur = d nominal
 - 1,0825.pas



** : Ecart supérieur pour la vis classe h, es = 0

Ecart inférieur pour le taraudage classe H, EI = 0

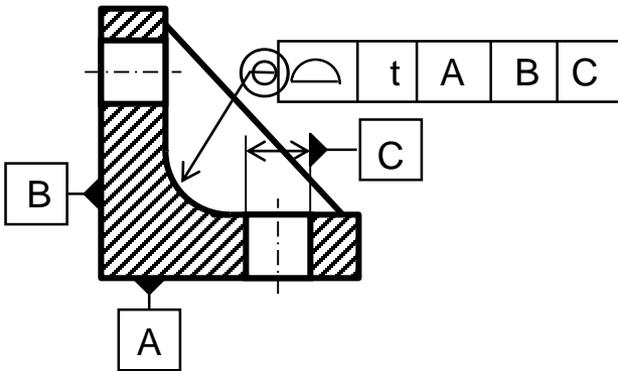
TOLERANCES FONDAMENTALES						ECART FONDAMENTAUX				
Numéro de tolérance						PAS P en mm	Ecart supérieur es**			Ecart inf. EI**
4	6	8	4	6	7		VIS			TARAUD.
VIS			TARAUDAGE				g	f	e	G
Tolérance T _d (µm)			Tolérance T _{D1} (µm)							
36	56	-	38	-	-	0,2	17	-	-	17
42	67	-	45	-	-	0,25	18	-	-	18
48	75	-	53	85	-	0,3	18	-	-	18
53	85	-	63	100	-	0,35	19	34	-	19
60	95	-	71	112	-	0,4	19	34	-	19
63	100	-	80	125	-	0,45	20	35	-	20
67	106	-	90	140	180	0,5	20	36	50	20
80	125	-	100	160	200	0,6	21	36	53	21
90	140	-	112	180	224	0,7	22	38	56	22
90	140	-	118	190	236	0,75	22	38	56	22
95	150	236	125	200	250	0,8	24	38	60	24
112	180	280	150	236	300	1	26	40	60	26
132	212	335	170	265	335	1,25	28	42	63	28
150	236	375	190	300	375	1,5	32	45	67	32
170	265	425	212	335	425	1,75	34	48	71	34
180	280	450	236	375	475	2	38	52	71	38
212	335	530	280	450	560	2,5	42	58	80	42
236	375	600	315	500	630	3	48	63	85	48
275	425	670	355	560	710	3,5	53	70	90	53
300	475	750	375	600	750	4	60	75	95	60
315	500	800	425	670	850	4,5	63	80	100	63
335	530	850	450	710	900	5	71	85	106	71
355	560	900	475	750	950	5,5	75	90	112	75
375	600	950	500	800	1000	6	80	95	118	80

COTATION DES SURFACES NON FONCTIONNELLES

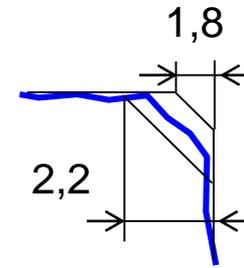
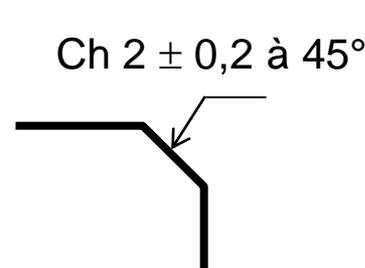
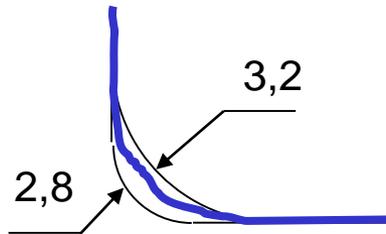
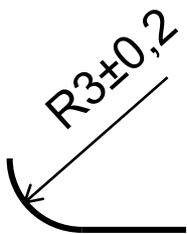
Les surfaces non fonctionnelles du mécanisme sont caractérisées par une spécification de position d'une surface quelconque par rapport au système de références principal de la pièce.

En CAO 3D, les positions nominales sont données par le modèle

En 2D, définir les surfaces nominales par des cotes encadrées par rapport a système de références



Rayons et chanfreins avec cotation classique



Ne pas mentionner simplement la norme de tolérance générale 2768 dans le cartouche. Lire la valeur recommandée dans la norme et indiquer la tolérance dans la spécification désirée.

CHOIX PAR DEFAUT DES TOLERANCES

Valeurs de base utilisables par des étudiants :

Type spécification	Qualité du mécanisme		
	Précise	Moyenne	Large
Forme	0,005	0,01	0,04
Dimension locale	0,02	0,04	0,16
Orientation	0,03	0,06	0,3
Position et battement	0,05	0,2	0,8

Remarque : Pour un maxi matière, mettre 0 (M) ou 0 (L) en prenant la précaution d'augmenter la tolérance sur la dimension de la tolérance prévue sur l'orientation ou la position au maximum de matière.

Les autres valeurs peuvent être extraites des normes de tolérances générales, mais les valeurs doivent être impérativement reportées sur les spécifications ISO du dessin.

RESULTANTE DES EXIGENCES DE JONCTION

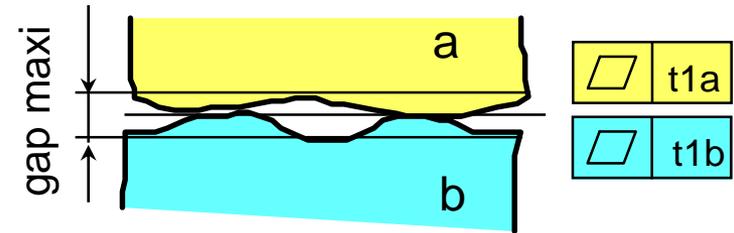
Arbre	a	1	Martin

Montabilité et qualité des contacts

- primaires
- secondaire
- tertiaire

Gap = Distance maximale entre les surfaces en contact

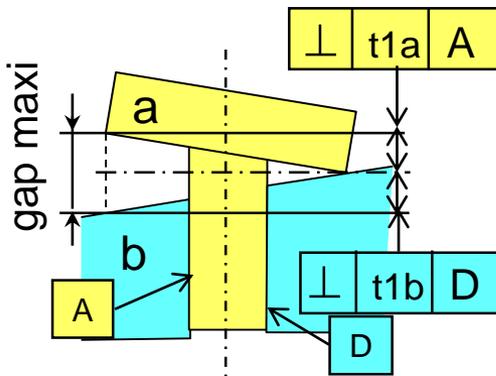
Gap primaire : Somme des tolérances de forme



$$t1a + t1b \leq \text{gap maxi}$$

Gap secondaire ou tertiaire : Somme des tolérances d'orientation

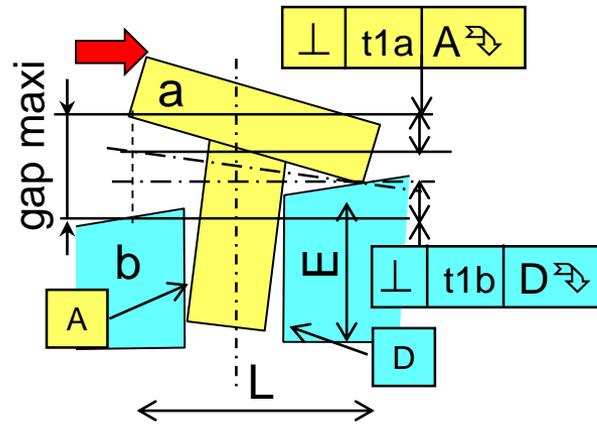
Avec serrage



$$t1a + t1b \leq \text{gap}$$

Avec jeu défavorable

Les efforts peuvent "écarter" les surfaces.

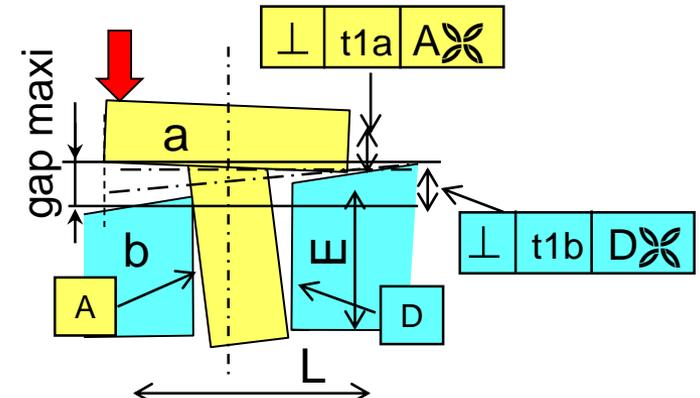


$$t1a + t1b + JM.L/E \leq \text{gap}$$

Jeu maxi

Avec jeu favorable

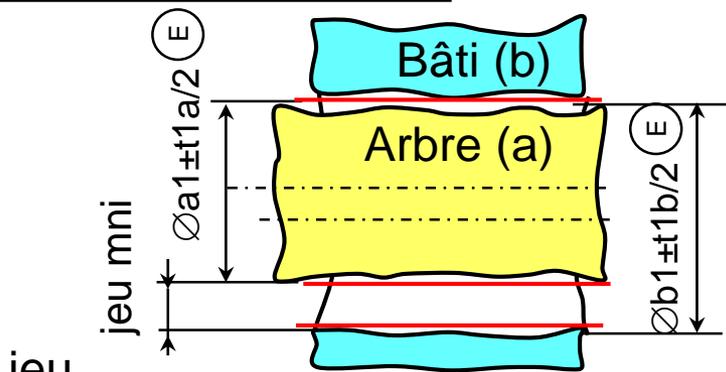
Les efforts "rapprochent" toujours les surfaces



$$t1a + t1b - Jm.L/E \leq \text{gap}$$

Jeu mini

Jeu ou serrage



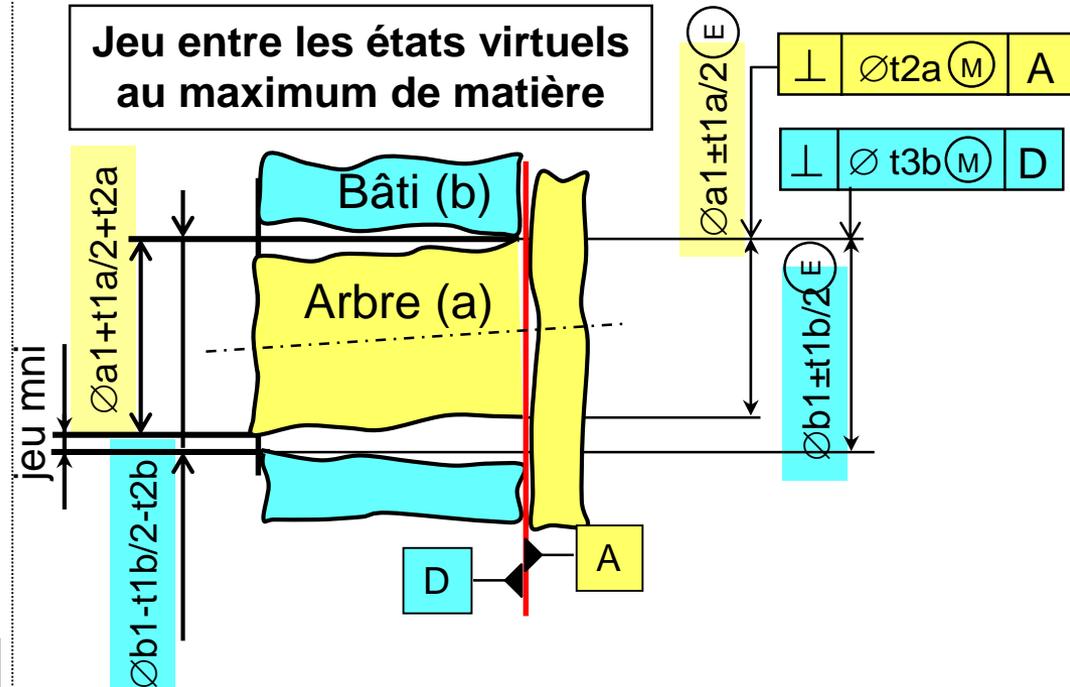
$$b1 - a1 - (t1a+t1b)/2 \geq \text{jeu mini}$$

serrage

$$a1 - b1 + (t1a+t1b)/2 \leq \text{serrage maxi}$$

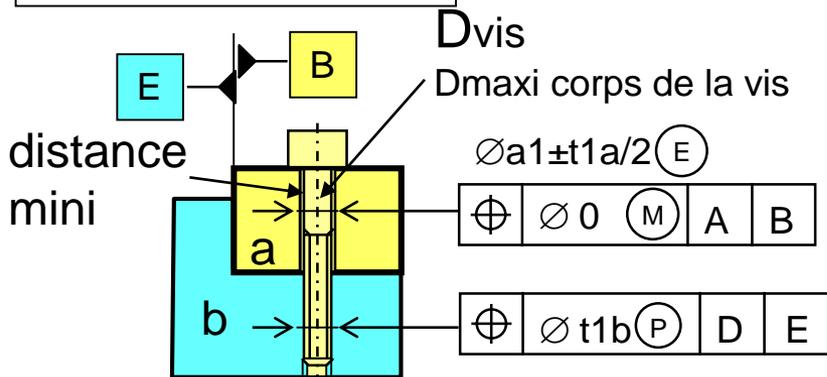
$$a1 - b1 - (t1a+t1b)/2 \geq \text{serrage mini}$$

Jeu entre les états virtuels au maximum de matière



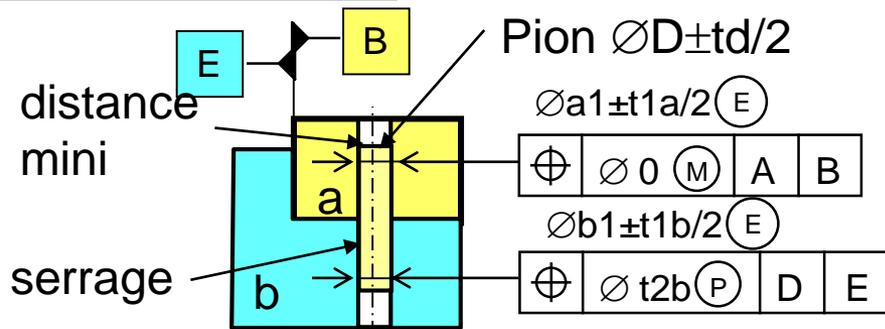
$$b1 - a1 - (t1a/2 + t2a + t1b/2 + t2b) \geq \text{jeu mini}$$

Montabilité des vis



$$(a1 - D_{\text{vis}}) - (t1a/2 + t1b) \geq \text{jeu mini}$$

Montabilité des pions



$$(D - b1) + (td + t1b)/2 \leq \text{serrage maxi}$$

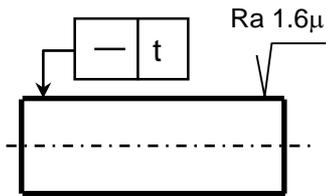
$$(D - b1) - (td + t1b)/2 \geq \text{serrage mini}$$

$$(a1 - D) - (t1a/2 + td/2 + t2b) \geq \text{jeu mini}$$

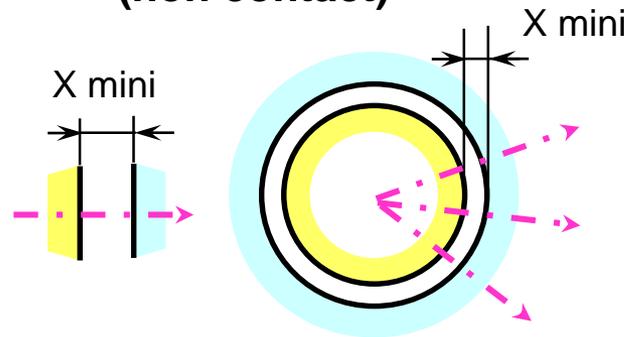
EXIGENCES FONCTIONNELLES

Les exigences sont exprimées si possible en ISO

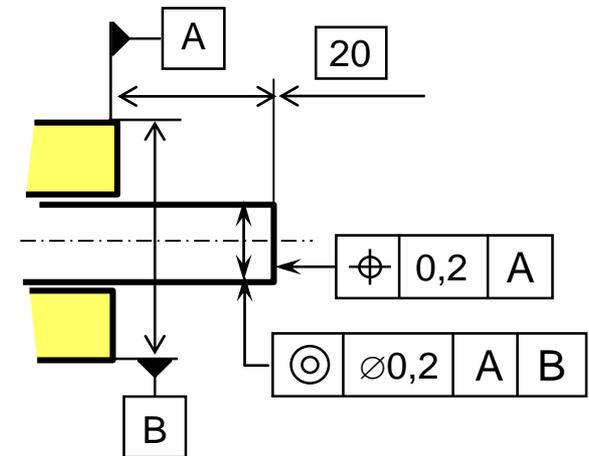
1°) Caractéristiques fines des surfaces fonctionnelles



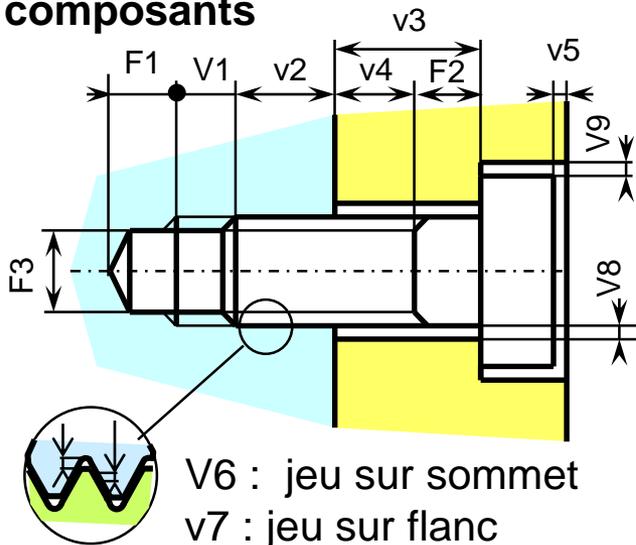
2°) Distance entre surfaces terminales (non contact)



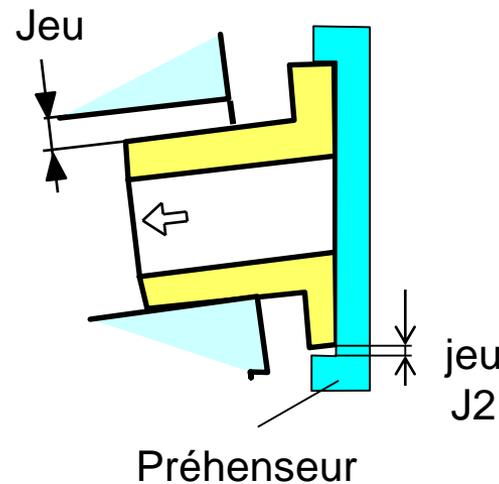
3°) Position ou orientation



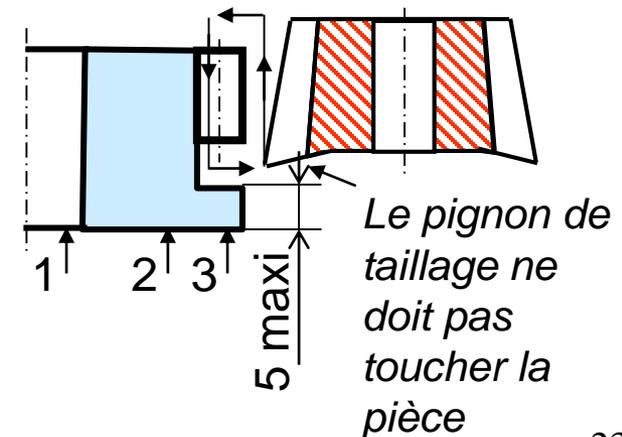
4°) Implantation des composants



5°) Assemblage des pièces



6°) Exigence de fabrication



HIERARCHISATION DES EXIGENCES

L'indice de hiérarchisation est défini de 1 à 4 (1 = très important) en fonction du risque et de la perception par le client :

Indice 1 : Défaut pouvant entraîner la non montabilité du produit, affecter la sécurité de l'utilisateur, ou une panne bloquant le produit.

Indice 2 : Défaut tel qu'il peut entraîner le refus de prise en main du produit par le client, ou entraînant une réparation lourde.

Indice 3 : Défaut justifiant une réparation assez aisée ou non immédiate

Indice 4 : Défaut non perçu ou admis par le client, n'entraînant pas de réparation.

Objectif :

Concentration des efforts sur les exigences critiques

Choix d'un procédé *très capable* de respecter les exigences critiques

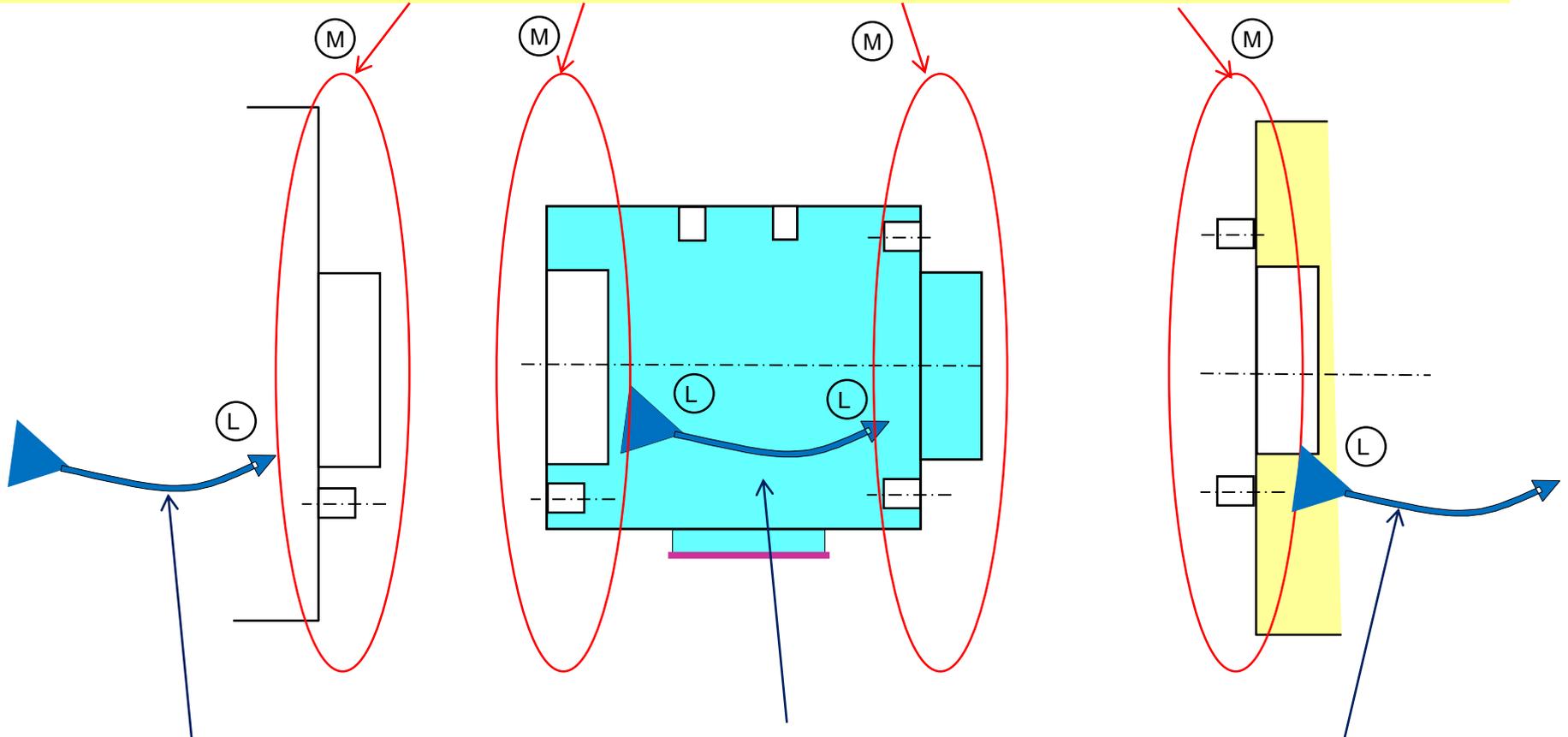
Projet de norme NFE 04 009
publiée le 18/01/2002

A côté de chaque spécification



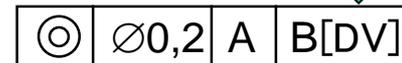
MAXIMUM ET MINIMUM DE MATIERE

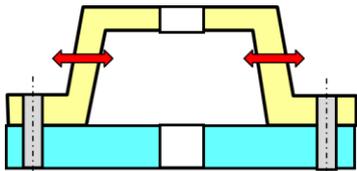
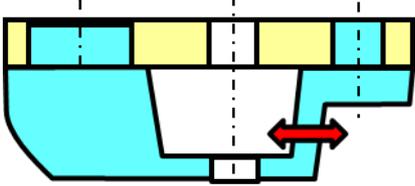
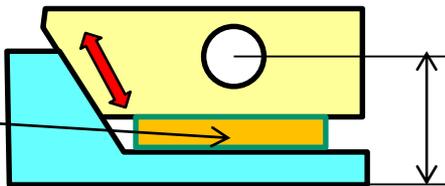
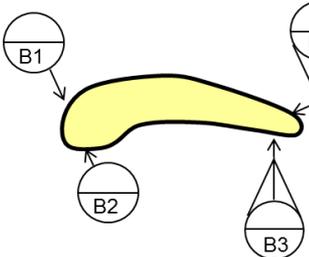
Dans un assemblage avec jeu, la montabilité des jonctions est assurée par des spécifications au maximum de matière internes à chaque jonction.



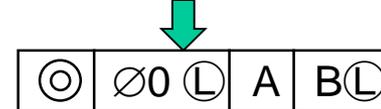
Dans un assemblage la précision du mécanisme impose une position relative entre les jonctions. Chaque maillon est défini par une spécification au minimum de matière

DECALAGE DES REFERENCES



<p>Références en [DF] position nominale (par défaut avec \textcircled{M} et \textcircled{L})</p>	<p>Fonctions Assemblage de pièces rigides</p>	<p>Exemples Secondaire Tertiaire Primaire </p>
<p>[DV] Décalage symétrique des surfaces associées</p>	<p>Déformation symétrique dans une référence</p>	
<p>Référence décalée (par défaut sans \textcircled{M} ni \textcircled{L})</p>	<p>Déformation d'une partie portant une référence Ou pièce en vis-à-vis avec mobilité</p>	
<p>× Décalage du nominal</p>	<p>Dispositif de réglage en dehors de la pièce pour positionner une surface</p>	<p>cale </p>
<p> Références partielles mobiles associées à des références fixes</p>	<p>Appui souple ou réglable assurant un auto-centrage en complément des appuis fixes.</p>	

MODIFICATEURS DE L'ELEMENT TOLERANCÉ



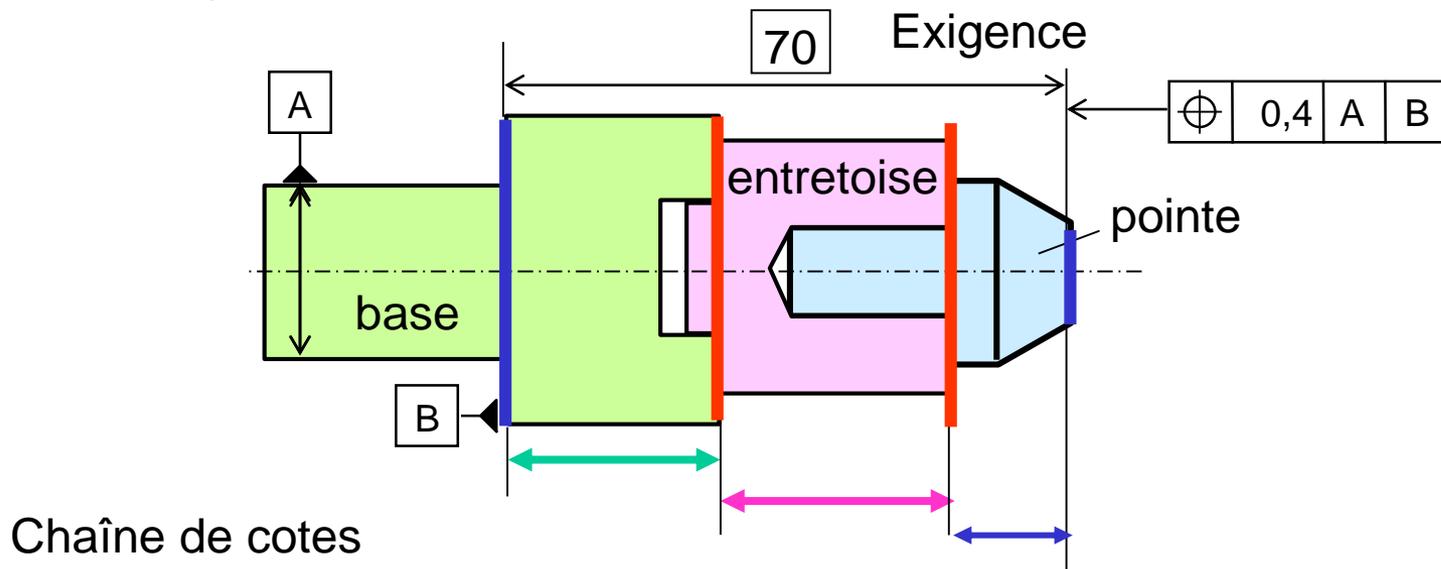
	Fonctions	Exemples
<p>Ⓐ Axe réel ou surface médiane réelle</p>	<p>Fonctions Equilibrage d'un arbre, canalisation d'un flux d'air</p>	
<p>Ⓜ Maximum de matière</p>	<p>Distance mini Collision</p>	
<p>Ⓛ Minimum de matière</p>	<p>Distance maxi Etanchéité Jeu défavorable</p>	
<p>Ⓒ Axe associé par les moindres carrés</p>	<p>Liaison avec serrage</p>	
<p>Ⓟ Axe associé par les moindres carrés prolongé sur la plage Ⓟ</p>	<p>Liaison avec serrage et porte-à-faux</p>	
<p>Filetage/taroudage</p>	<p>Liaison avec serrage sans porte-à-faux</p>	<p>M5 x 0,8 6g - 6g</p>

CHAINE DE COTES UNIDIRECTIONNELLE

- Supprimer toutes les pièces non influentes (qui maintiennent la position relative des surfaces de l'exigence en supposant que les pièces sont maintenues en contact)
- Repérer en bleu les surfaces terminales de l'exigence (surfaces aux 2 extrémités de la cote condition).

- Repérer en rouge les surfaces de contact entre les pièces :

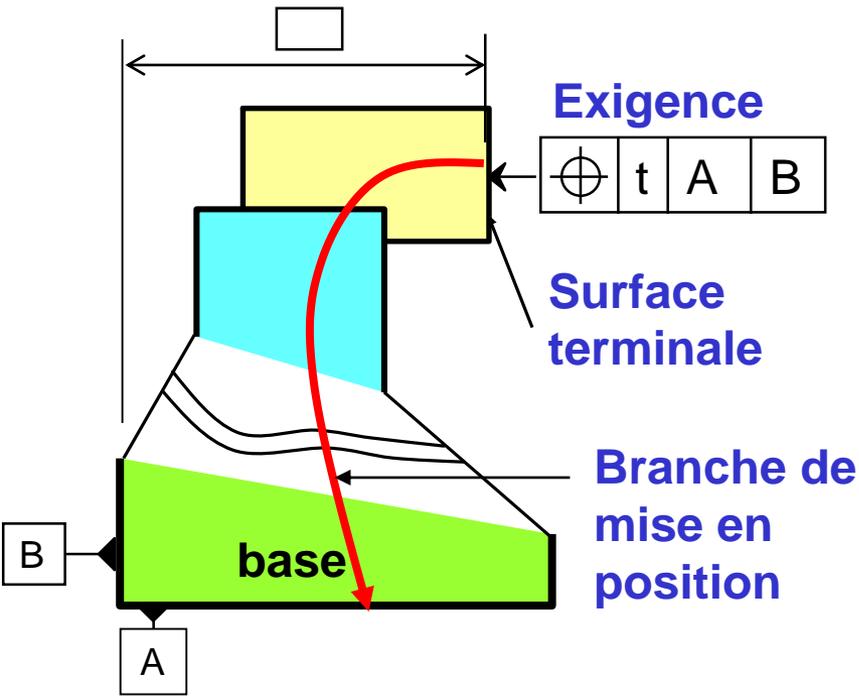
Prendre une des pièces terminales et rechercher dans son tableau de mise en position, la surface d'appui qui est perpendiculaire à la direction de l'exigence. Colorer cette surface en rouge. Considérer alors la pièce d'appui et rechercher dans son tableau de mise en position, la surface d'appui qui est perpendiculaire à la direction de l'exigence, ainsi de suite, et faire de même pour l'autre pièce terminale.



- Sur chaque pièce, vérifier qu'il n'y a que deux surfaces colorées et relier les 2 surfaces colorées par une cote

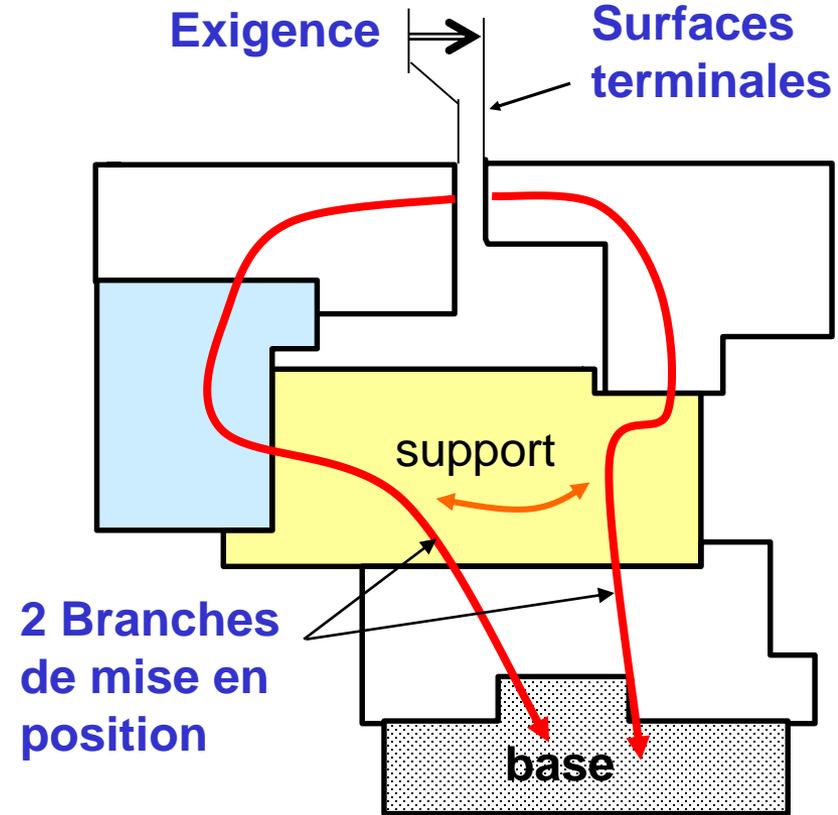
EXIGENCE ET BRANCHE DE MISE EN POSITION

Exigence entre une surface terminale et la base



La démarche est indépendante de la référence sur la base

Exigence de distance entre 2 surfaces terminales.

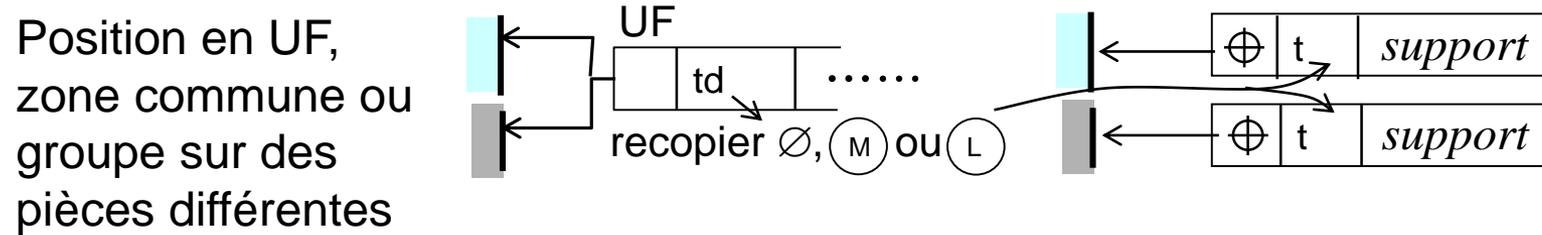
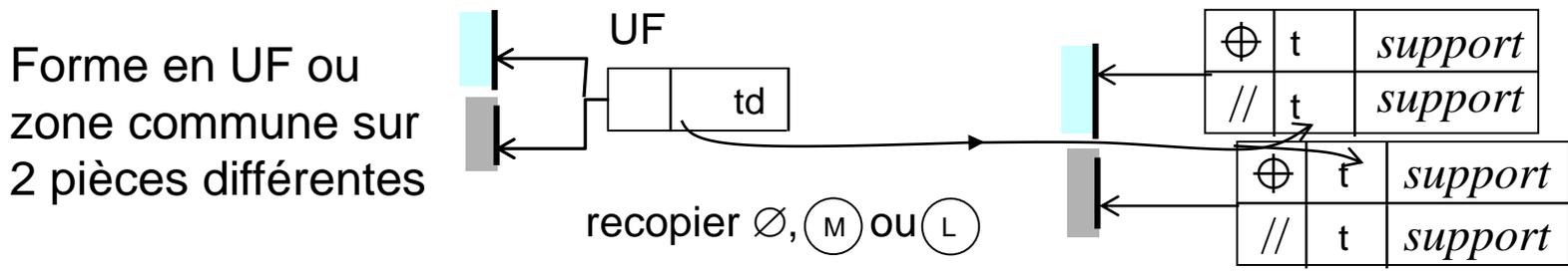
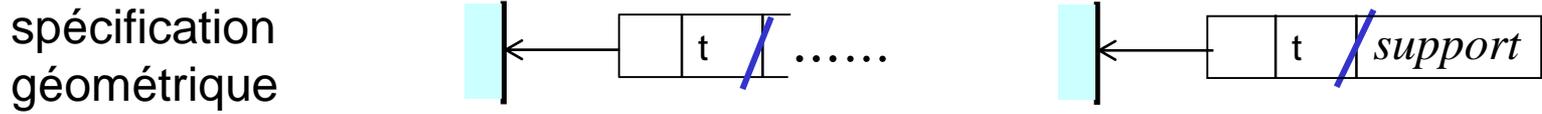
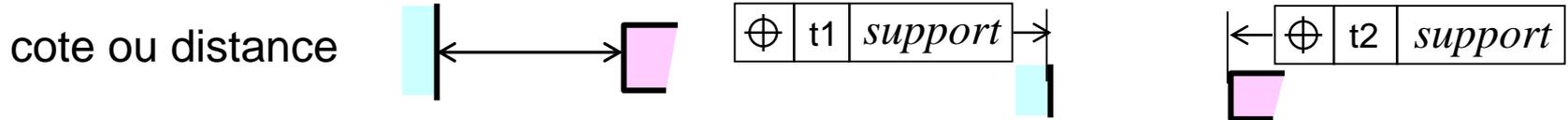


Le support est la pièce dans laquelle converge les 2 branches de mise en position.

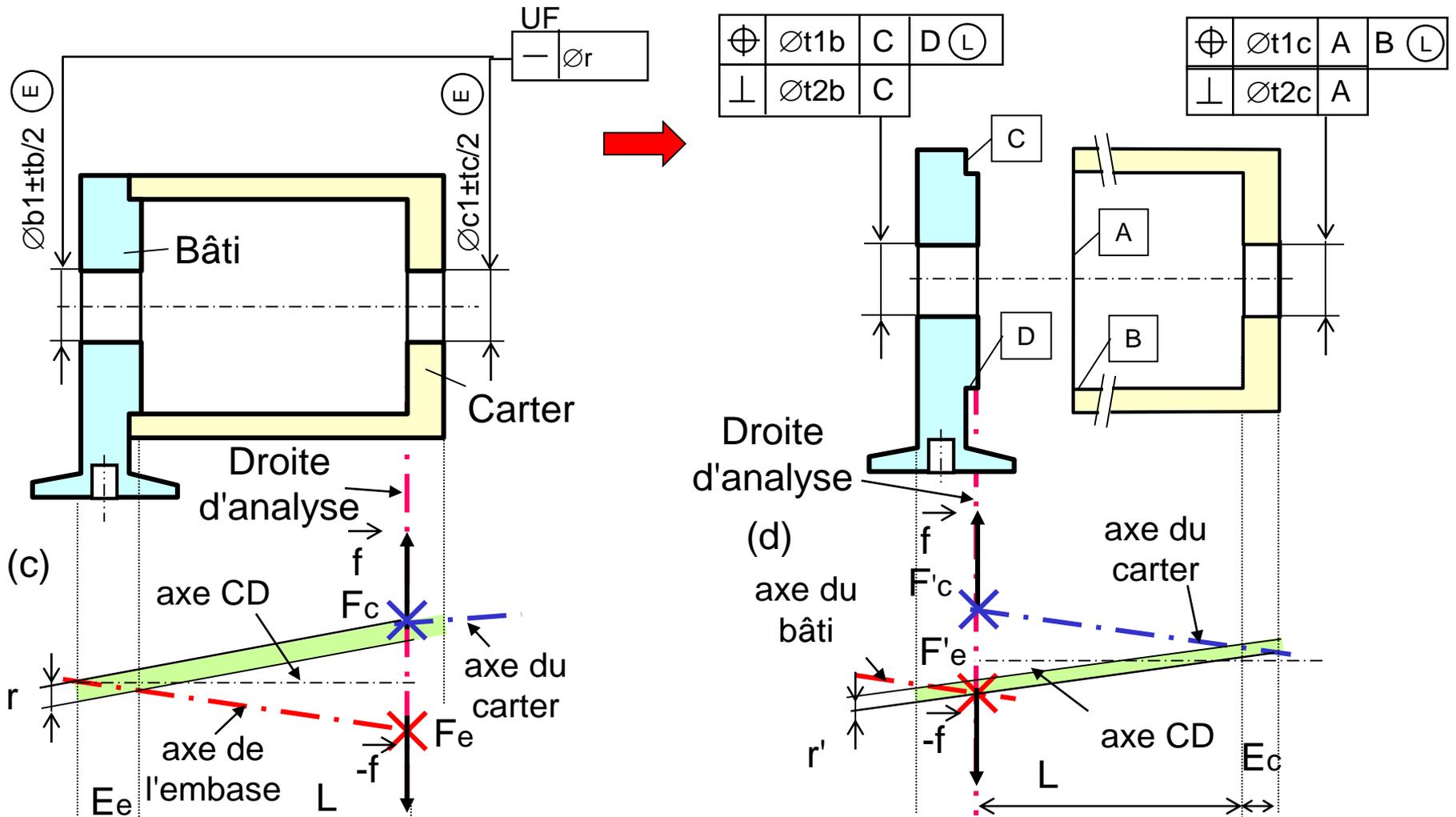
DECOMPOSITION D'UNE EXIGENCE ENTRE 2 SURFACES

• Exigence globale

Sous-exigences de chaque surface terminale



TRANSFERT D'UNE RECTITUDE EN ZONE COMMUNE

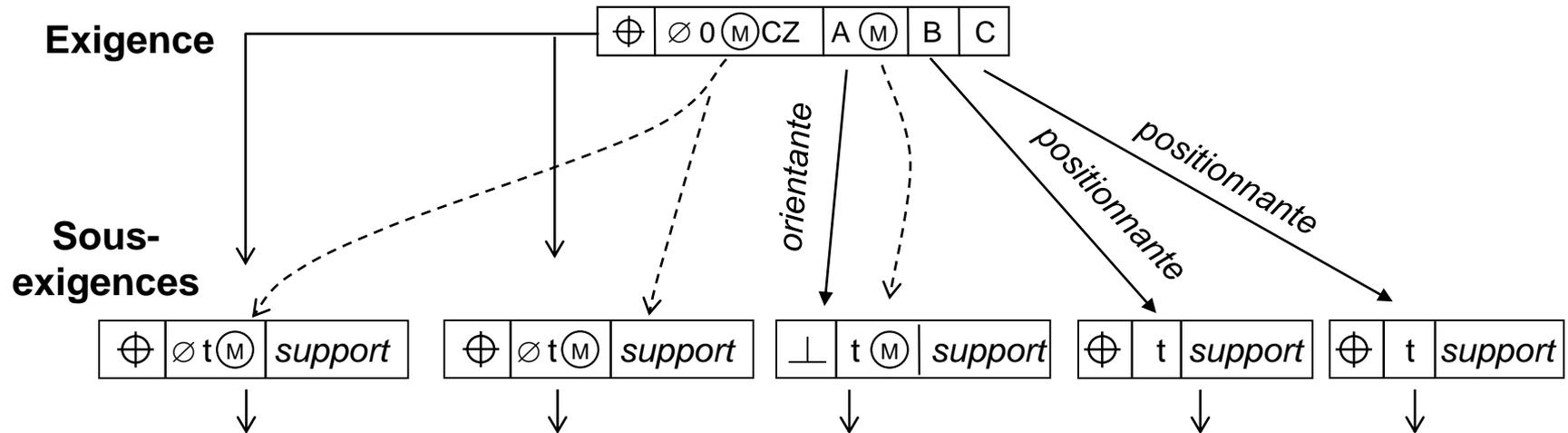


$$r = \max \left\{ \frac{E_b}{E_b + L} [d(F_c, f) + d(F_b, -f)]; \frac{E_c}{E_c + L} [d(F'_c, f) + d(F'_b, -f)] \right\} \quad \text{JM : jeu maxi entre les 2 pièces}$$

$$r = \max \left\{ \frac{E_b}{E_b + L} [(t1c + JM)/2 + (t1b/2 + t2b.L/E_b)]; \frac{E_c}{E_c + L} [t1b/2 + (JM + t1c)/2 + t2c.L/E_c] \right\}$$

DECOMPOSITION D'UNE EXIGENCE AVEC REFERENCES

L'exigence est une spécification de position ou d'orientation par rapport à un système de références construit sur des surfaces qui ne sont pas toutes sur la base.



Supprimer les références inutiles dans l'exigence.

Déterminer si les références sont positionnantes (cote encadrée) ou orientantes.
En déduire la sous-exigence pour chaque surface tolérancée et pour chaque référence.

Reporter les modificateurs sur les sous-exigences

Déterminer la branche de mise en position de chaque surface terminale par rapport à la base et identifier le support (première pièce commune à toutes les branches).

Coter les pièces avec l'algorithme CLIC et le support (une des 4 solutions)

ALGORITHME CLIC

Localisation ou orientation par rapport à une référence sur la base ou par rapport au support

1. Sur la pièce terminale, copier de la partie gauche de l'exigence, avec le symbole de spécification, le \emptyset , le \textcircled{L} ou le \textcircled{M}

2. Écrire le système de références principal de la pièce (1) (2), sans les références inutiles à droite

3. Ajouter le symbole \emptyset , si la surface tolérancée et le système de références sont de révolution et coaxiaux ;
Ajouter le symbole \textcircled{L} sur les références avec du jeu ;
Adapter le symbole en fonction de la position de la surface tolérancée par rapport aux références

spécification d'orientation

spécification de position

4. Placer les cotes encadrées nécessaires entre la surface tolérancée et les références positionnantes

pièce = base ou support

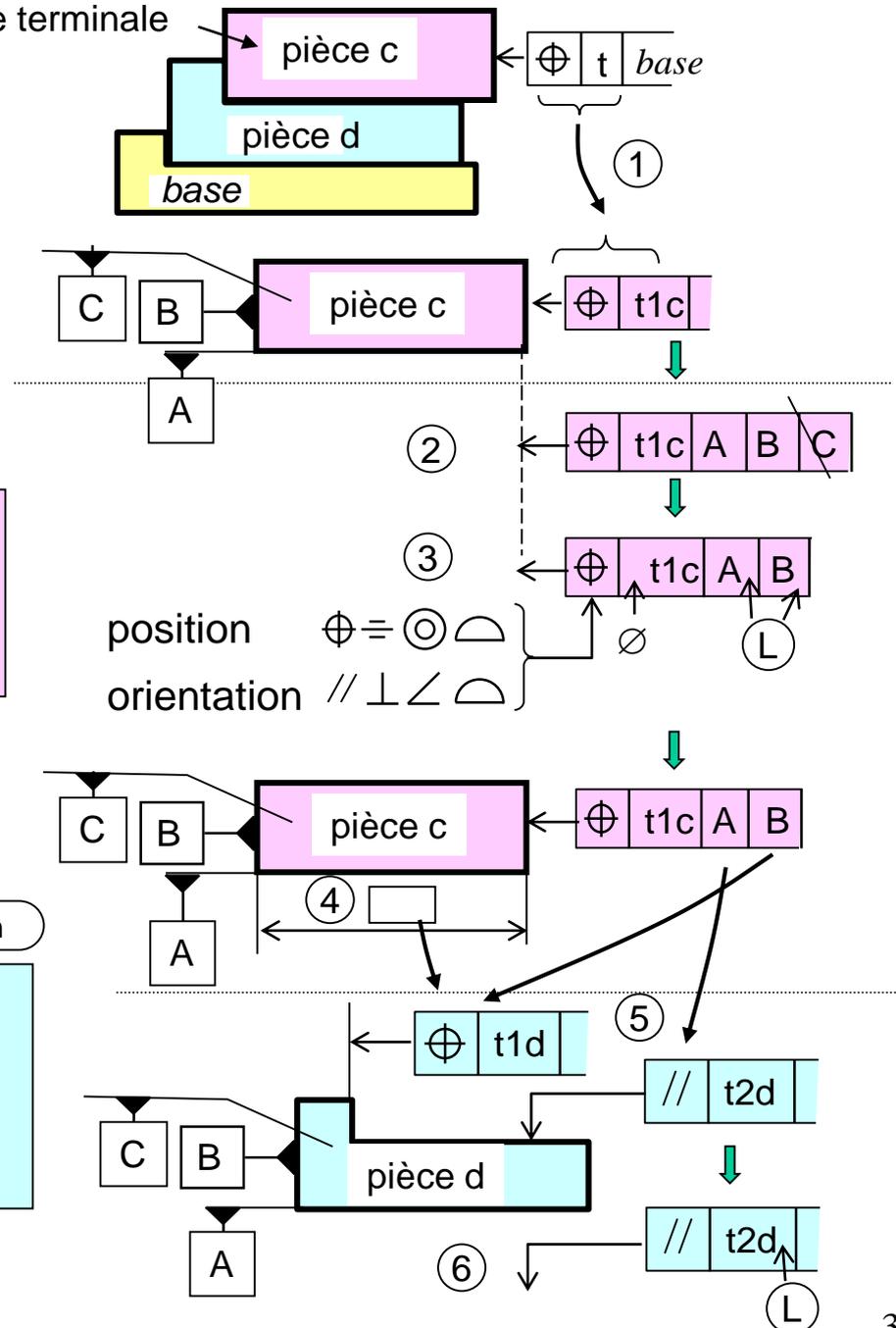
non

fin

5. Pour chaque surface d'appui correspondant à une référence positionnante, mettre ;
- une spécification de position,
- une spécification d'orientation si la référence est primaire et si une droite d'analyse ne coupe pas cette surface.
Pour les autres surfaces, mettre une spécification d'orientation

6. Ajouter d'un symbole \textcircled{L} , s'il y a du jeu sur la surface tolérancée

Pièce terminale



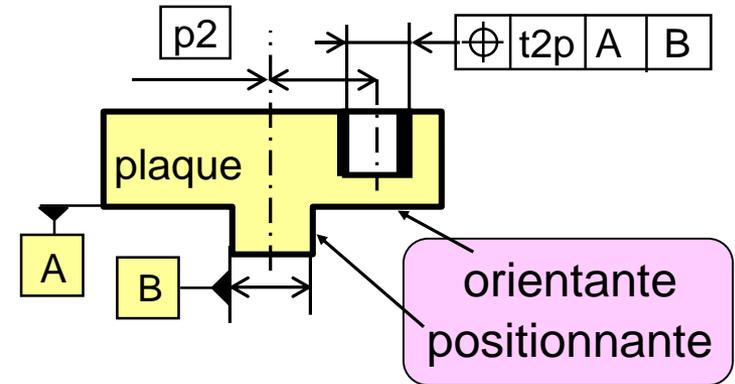
ROLE DES REFERENCES

Les références inutiles à droite du système de références doivent être enlevées.
(une référence est inutile si elle n'intervient pas dans la définition de la zone de tolérance).

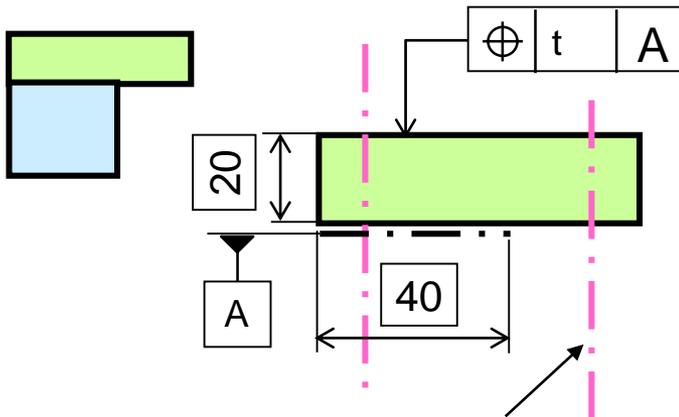
Une référence est positionnante si :

- l'exigence est une spécification de position
- s'il faut une cote encadrée entre la surface tolérancée et cette référence

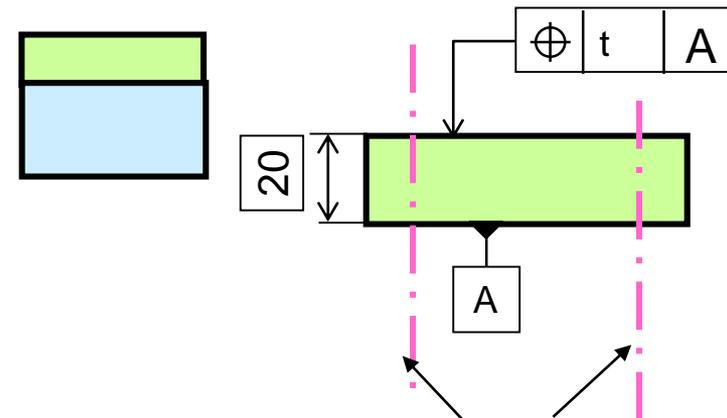
Les autres références sont orientantes.



Une référence primaire positionnante est aussi orientante, si certaines droites d'analyse issues de la surface terminale ne coupent pas cette référence.



Cette droite ne coupe pas la référence A => la référence est positionnante et orientante.



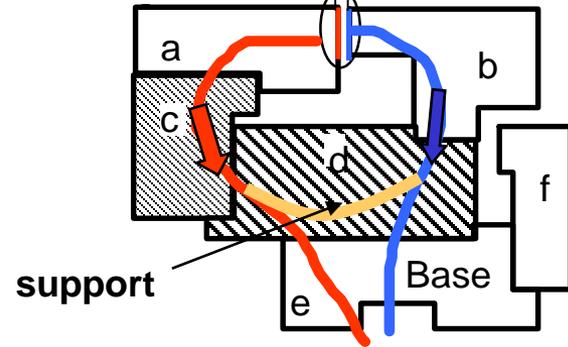
les droites coupent toujours la référence A => la référence est uniquement positionnante.

COTATION DU SUPPORT

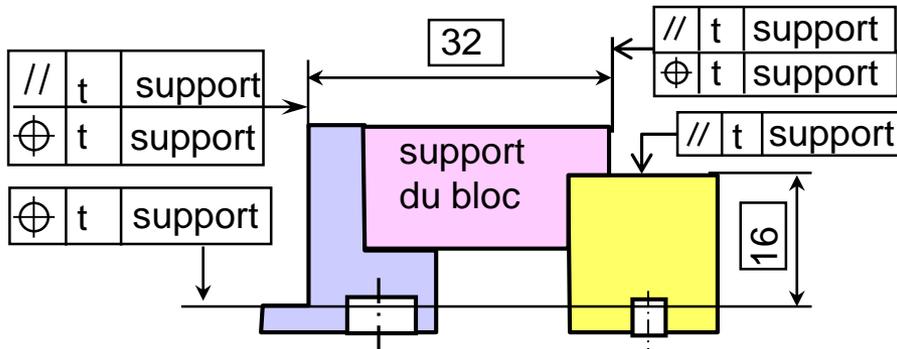
Le support est la pièce dans laquelle convergent toutes les branches de mise en position issues des surfaces terminales.

Il existe 4 solutions de cotation du support :

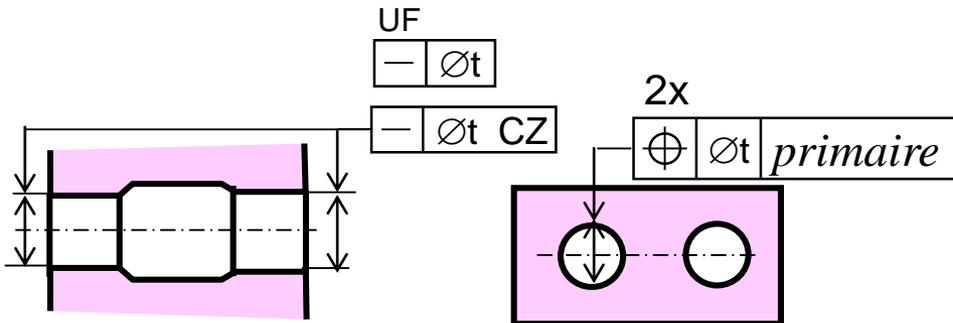
Exigence fonctionnelle



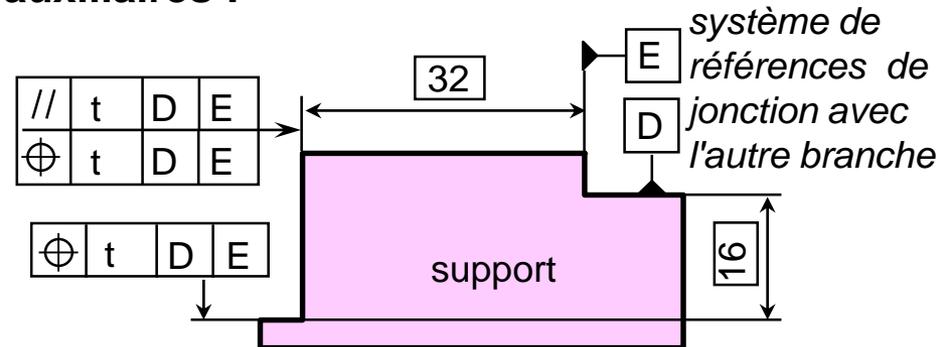
1) Si le support est un bloc, poursuite de l'itération à l'intérieur du bloc :



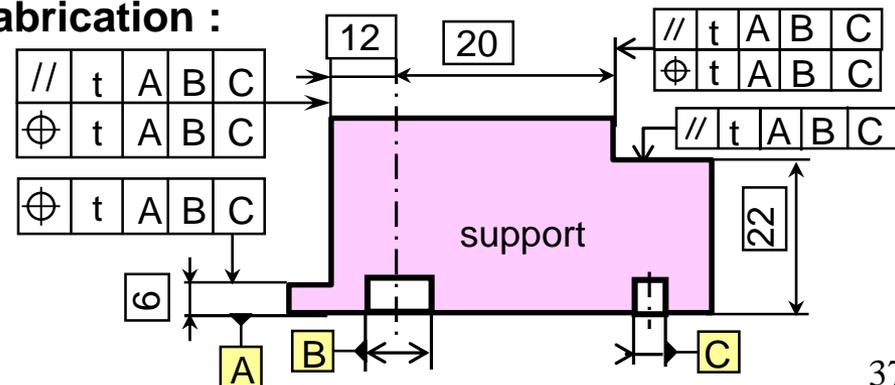
2) Groupement :



3) Par rapport à un des systèmes auxiliaires :

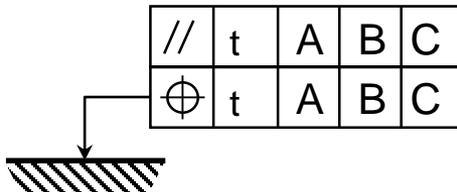


4) Par rapport un système de références de fabrication :

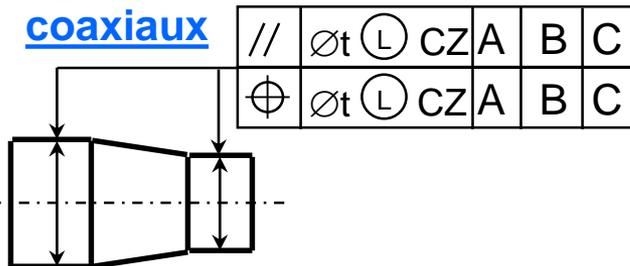


COTATION TYPE DES SURFACES FONCTIONNELLES

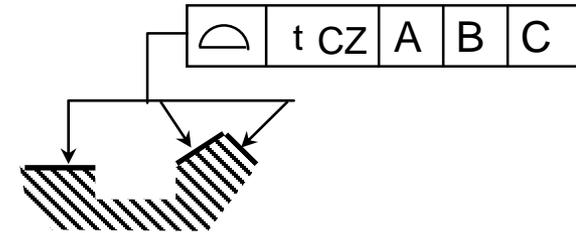
Plan



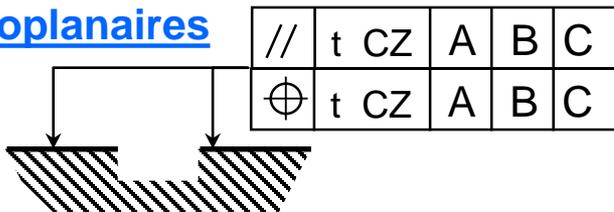
Cylindres coaxiaux



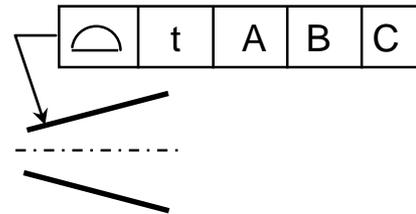
Surface 2D quelconque



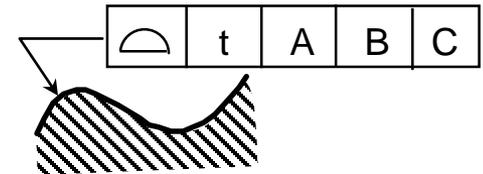
Plans coplanaires



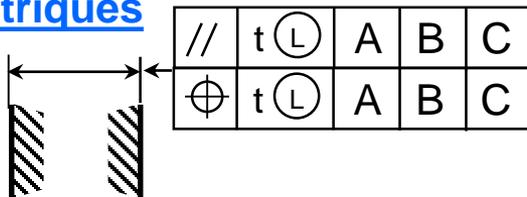
Cône



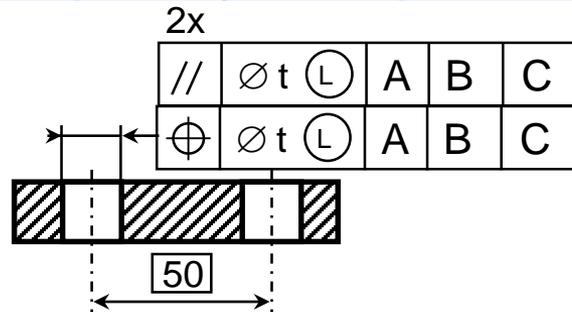
Surface 3D quelconque



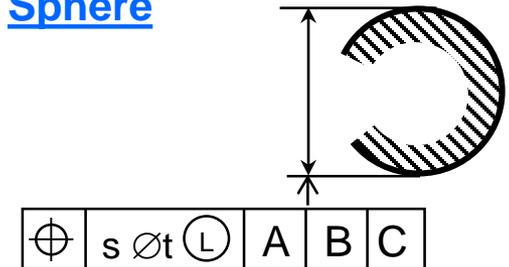
Plans parallèles symétriques



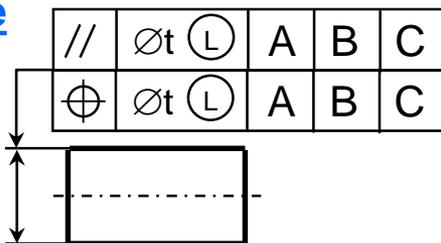
Groupe de cylindres parallèles



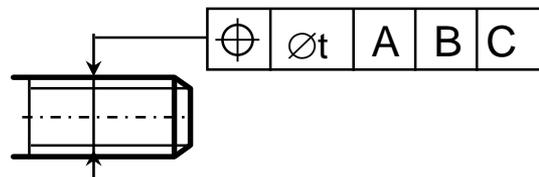
Sphère



Cylindre



Filetage

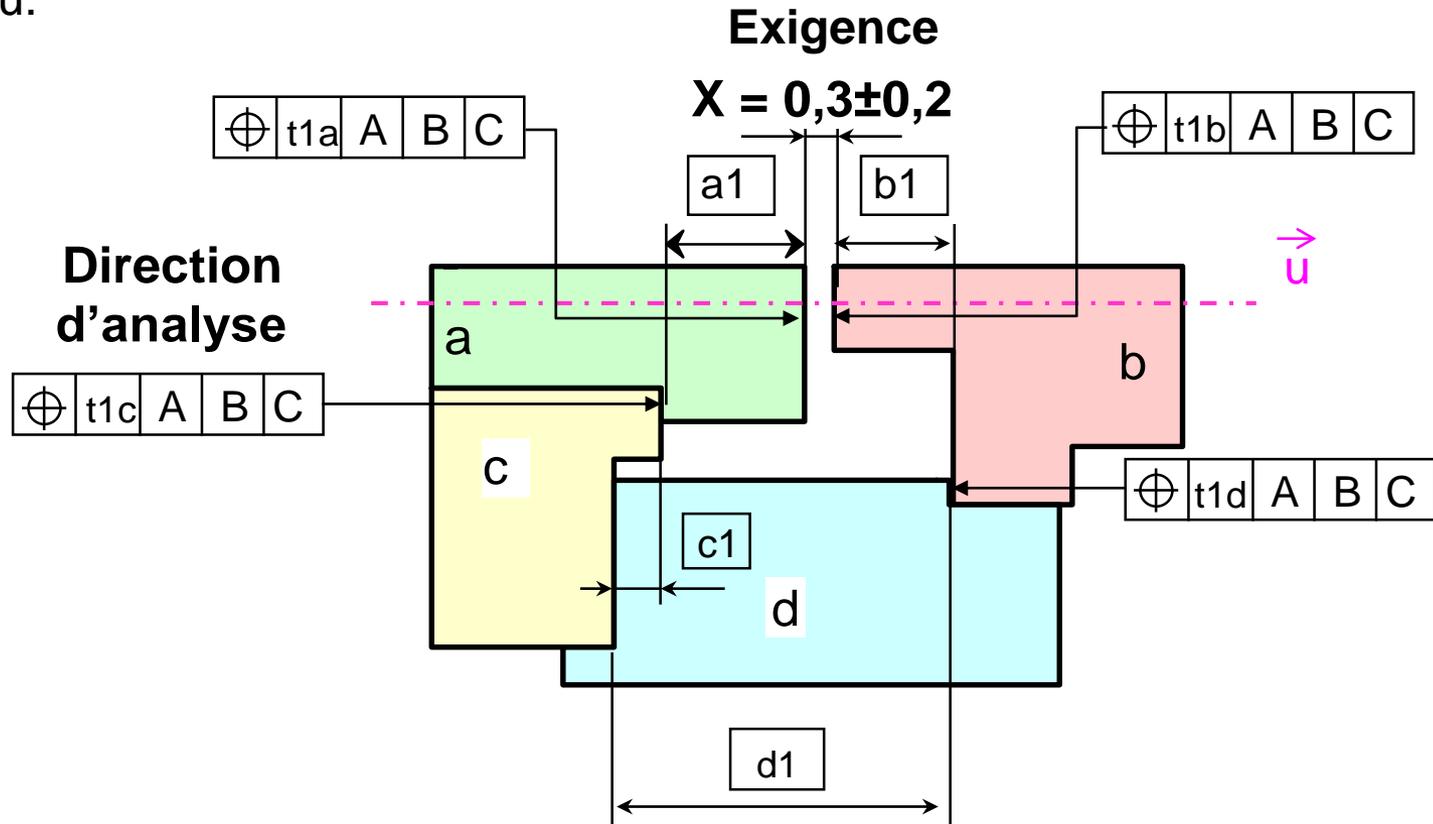


Modificateur

jeu défavorable (L)
 jeu favorable (M)
 pas de jeu : pas de modificateur

RESULTANTE UNIDIRECTIONNELLE

Calcul de la résultante des valeurs nominales et du cumul des tolérances dans la direction \vec{u} .



$$X \text{ nominal} = d_1 - a_1 - b_1 - c_1$$

$$\text{Variation de } X = t_{1a} + t_{1b} + t_{1c} + t_{1d}$$

$$X_{\text{mini}} = X \text{ nominal} - \text{variation de } X / 2 \geq 0,1$$

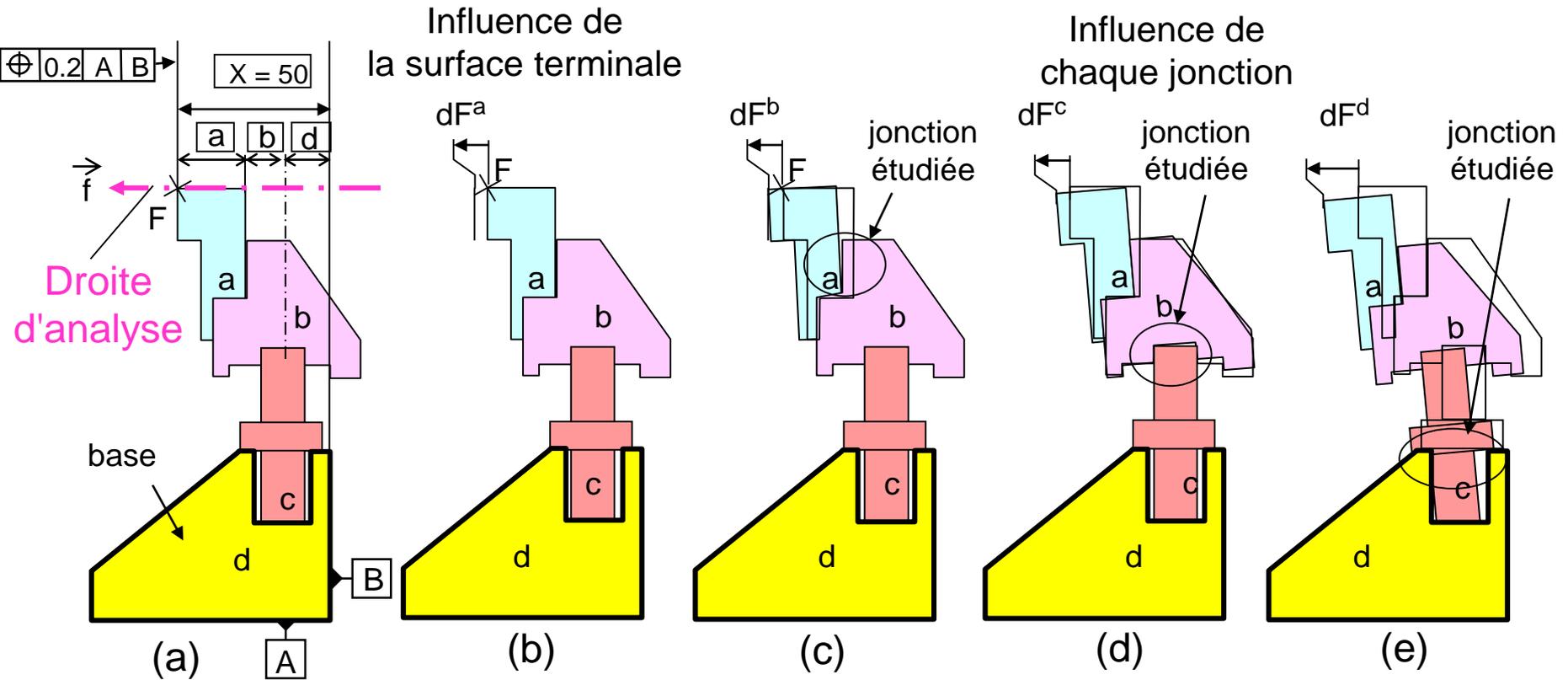
$$X_{\text{maxi}} = X \text{ nominal} + \text{variation de } X / 2 \leq 0,5$$



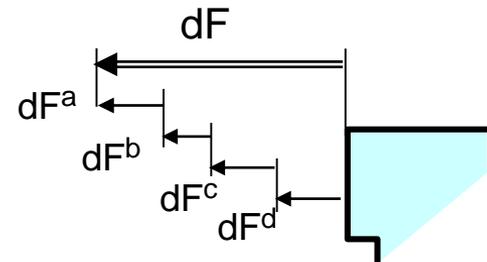
RESULTANTE 3D

Méthode des droites d'analyse

En (a), le modèle nominal donne la position nominale du point F.
 dF^i est le déplacement du point F dû aux défauts de la jonction de la pièce i.

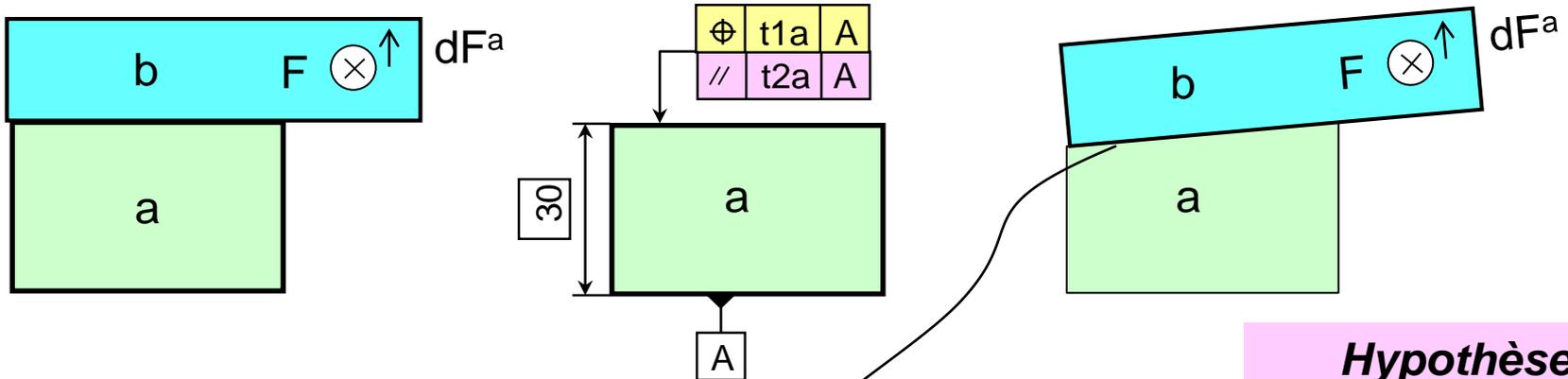


En 3D, le déplacement résultant du point F noté dF est la somme des influences de chaque jonction

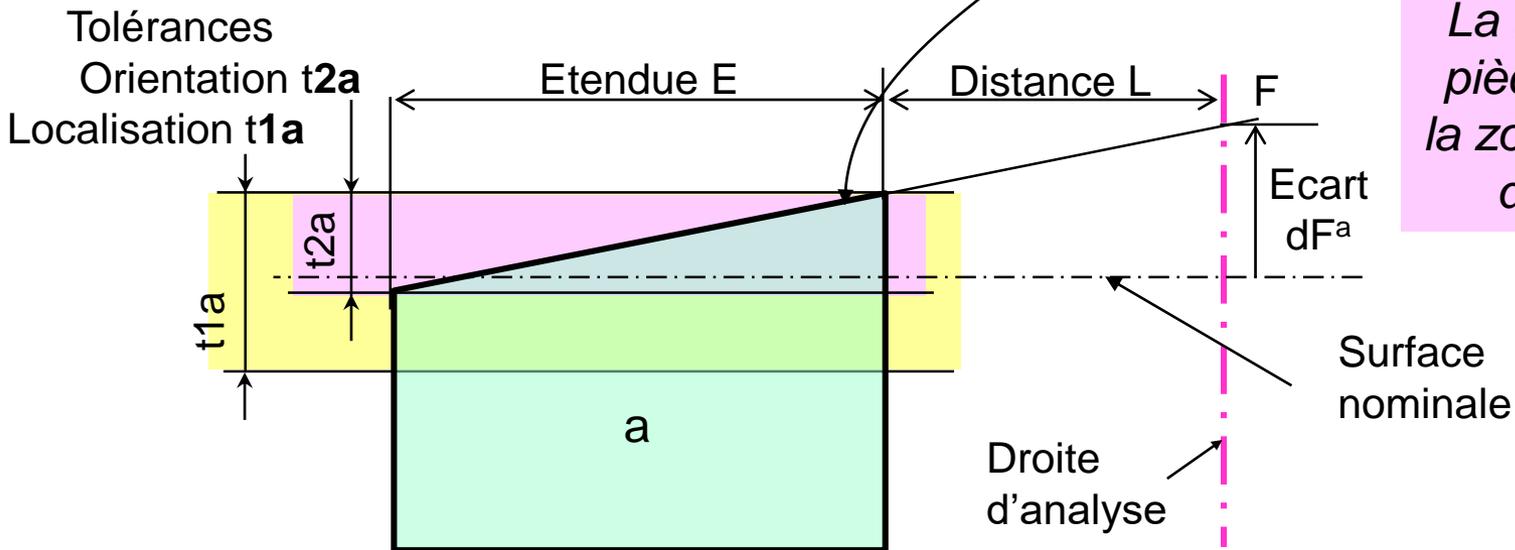


INFLUENCE D'UNE LIAISON PLANE

Détermination de l'influence des défauts de la pièce A sur le déplacement du point F.



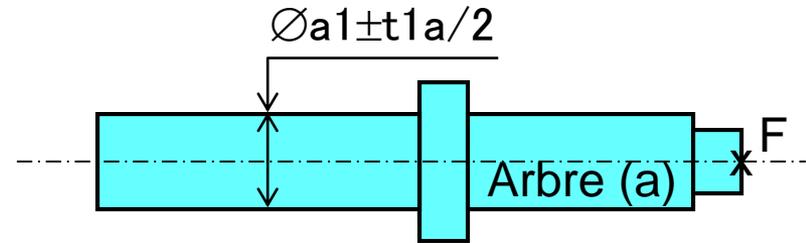
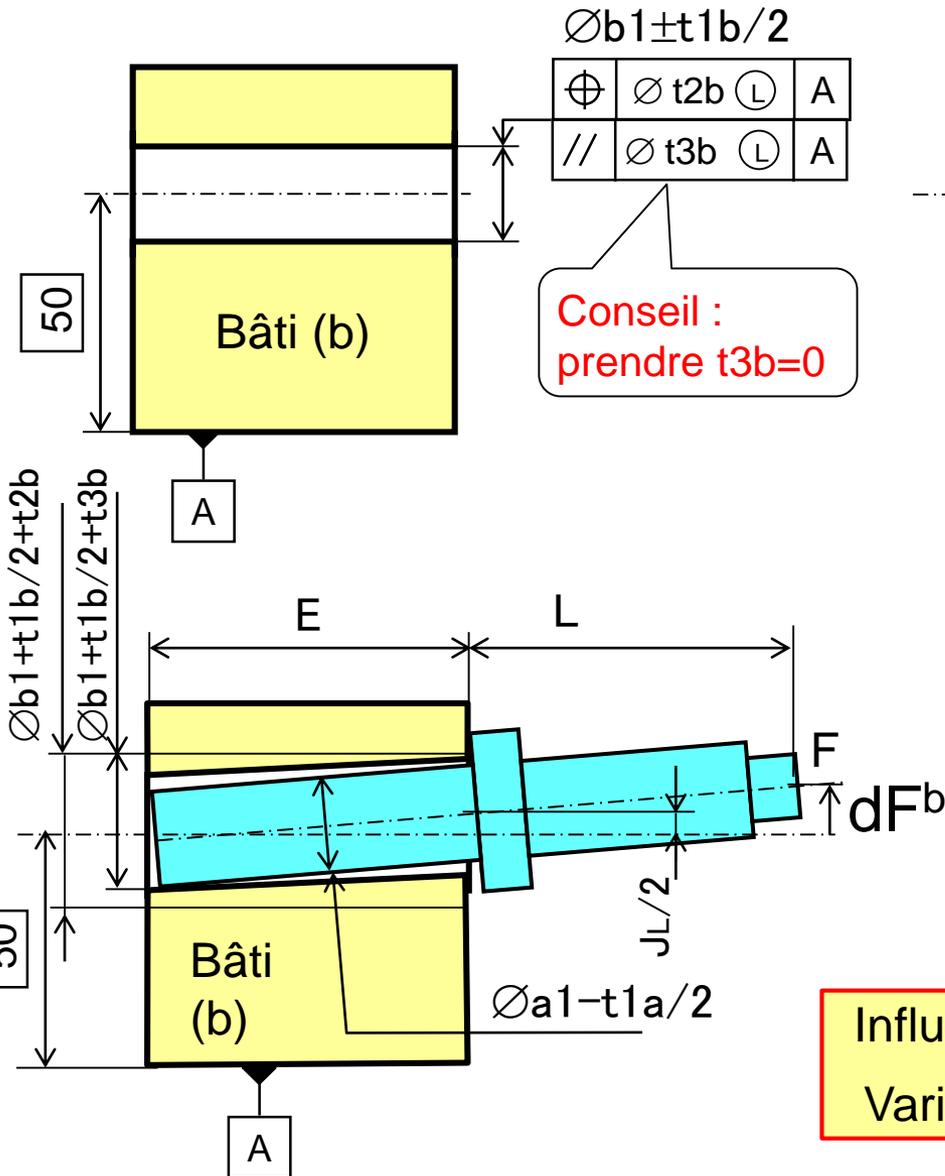
Hypothèse :
La référence de la pièce b reste dans la zone de tolérance de la pièce a.



Déplacement maxi de F : $dF^a = 0.5 \times t1a + t2a.L/E$
 Variation : $t1a + 2.t2a.L/E$

INFLUENCE D'UNE LIAISON CYLINDRIQUE AVEC JEU

Calcul du déplacement dF^b de l'extrémité de l'arbre, en F dû à la pièce b.



Diamètre de la zone de tolérance en localisation au mini matière

$$D_L = (b1 + t1b/2 + t2b)$$

Diamètre de la zone en orientation au \textcircled{L}

$$D_o = (b1 + t1b/2 + t3b)$$

Diamètre au mini matière de l'arbre

$$d_L = a1 - t1a/2$$

Jeu au mini matière en localisation

$$J_L = D_L - d_L$$

Jeu au mini matière en orientation

$$J_o = D_o - d_L$$

$$dF^b = J_L / 2 + L \cdot J_o / E$$

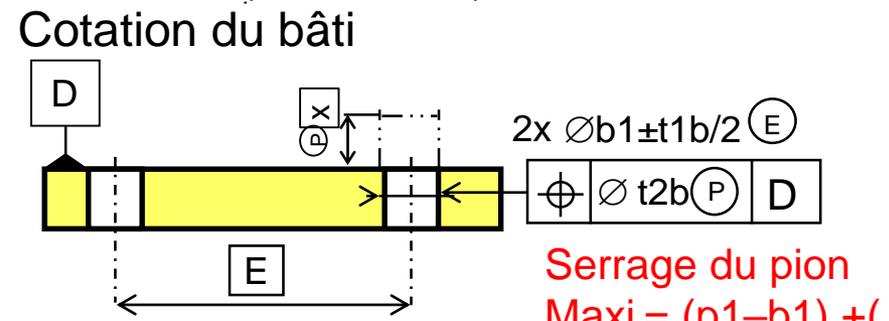
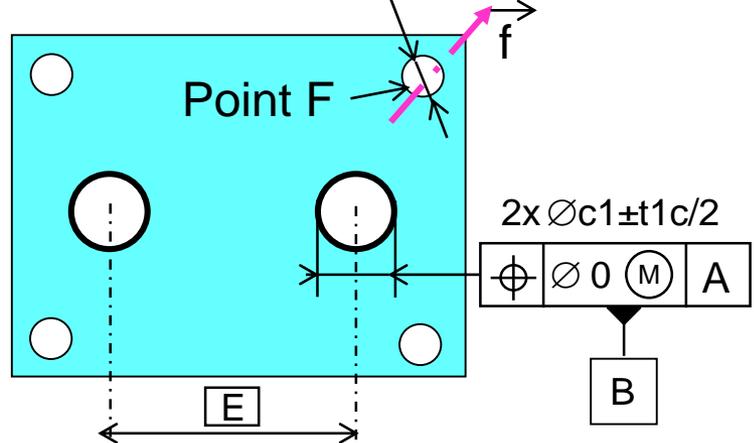
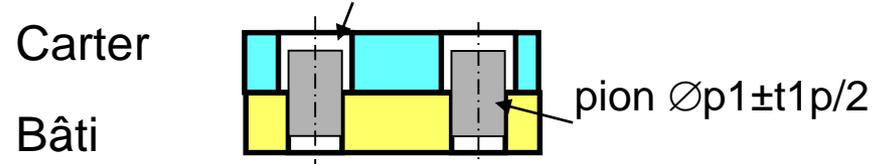
Influence de la liaison en F :

$$\text{Variation de } F = 2 dF^b = J_V L + 2 \cdot J_{V0} \cdot L / E$$

LIAISON AVEC DEUX PIONS AVEC JEU

Influence du jeu dans une liaison assurée par 2 pions sur le déplacement d'un point F.

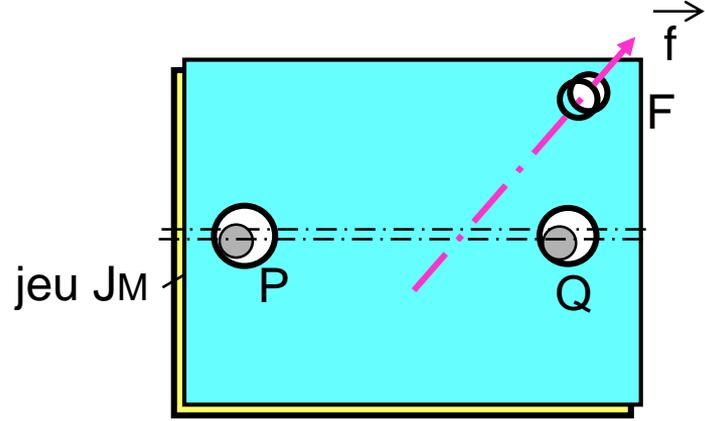
Jeu maxi $J_M = (c_1 - p_1) + (t_1c + t_1p)/2$



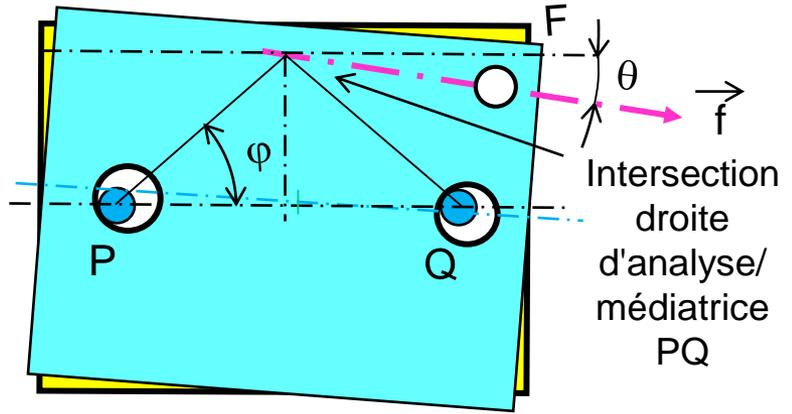
Serrage du pion
 Maxi = $(p_1 - b_1) + (t_1b + t_1p)/2$
 Mini = $(p_1 - b_1) - (t_1b + t_1p)/2$

Déplacement maxi de l'axe F d'un trou dans la direction \vec{f} par rapport au bâti

- Si la droite d'analyse (\vec{F}, \vec{f}) coupe le segment PQ, le déplacement est égal à $dF = J_M/2$.



- Sinon, le carter pivote autour de la liaison



$dF = J_M \cdot \frac{\cos \theta}{2 \cdot \cos \varphi}$

JEU FAVORABLE OU DEFAVORABLE

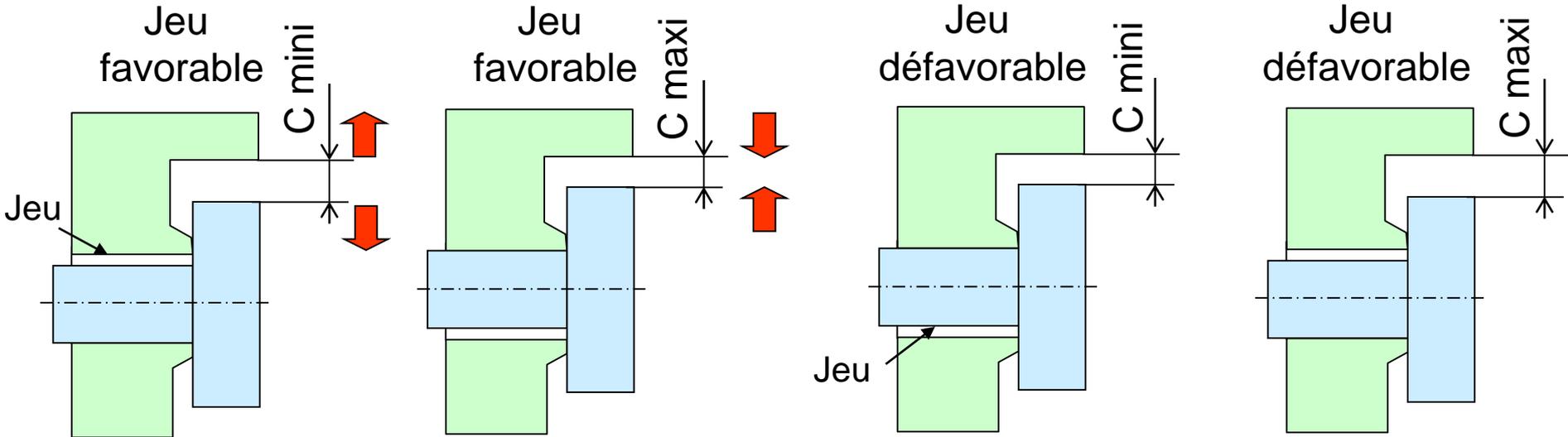
Le jeu est favorable si les efforts appliqués ont toujours tendance :

- À écarter les surfaces terminales pour une condition mini
- À rapprocher les surfaces terminales pour une condition maxi

Référence ✂ (jeu mini)

Référence ↻ (jeu maxi)

Sinon, le jeu est défavorable



Inéquation correspondant à l'exigence :

e = écart entre les surfaces terminales, calculé avec liaison centrée.

$$e + J_{\text{mini}} / 2 \geq C_{\text{mini}}$$

$$e - J_{\text{mini}} / 2 \leq C_{\text{maxi}}$$

$$e - J_{\text{maxi}} / 2 \geq C_{\text{mini}}$$

$$e + J_{\text{maxi}} / 2 \leq C_{\text{maxi}}$$

Attention : un jeu ne peut être favorable que pour une seule exigence fonctionnelle, le plus souvent, c'est pour la montabilité.

REPARTITION UNIFORME DES TOLERANCES

Lorsque les valeurs nominales sont connues, les inéquations sont de la forme :

$$\sum k_i.t_i \leq IT$$

Résolution du système avec $k_i=1$

Etape 1 : Etat initial des inéquations

• **Nombre de tolérances dans la condition (tenir compte des coefficients $n=\sum k_i$)**

IT		
$t_a + t_b + t_c \leq 0,6$	$n_1 = 3$	$t_1 = 0,2$
$t_a + t_d \leq 0,8$	$n_2 = 2$	$t_2 = 0,4$
$t_c + t_f + t_g \leq 0,3$	$n_3 = 3$	$t_3 = 0,1$

• **Calculer la tolérance maxi = IT/n**
 • **Chercher la plus petite tolérance**
 ← $t_c = t_f = t_g = 0,1$

Les valeurs de la ligne critique sont imposées.

Supprimer la ligne traitée et remplacer les valeurs connues dans le tableau
Poursuivre par itérations.

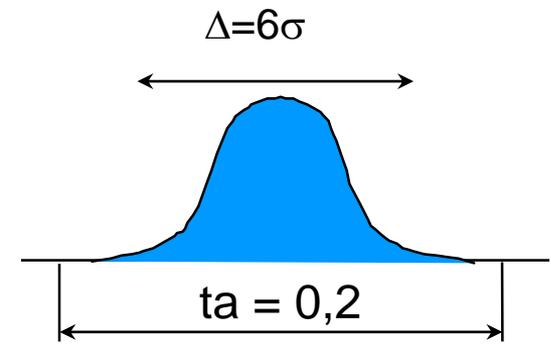
Etape 2 avec $t_c = t_f = t_g = 0,1$

$t_a + t_b \leq 0,5$	$n_1 = 2$	$t_1 = 0,25$	← $t_a = t_b = 0,25$
$t_a + t_d \leq 0,8$	$n_2 = 2$	$t_2 = 0,4$	

Etape 3 avec $t_a = t_b = 0,25$

$t_d \leq 0,55$	$n_2 = 1$	$t_2 = 0,55$	← $t_d = 0,55$
-----------------	-----------	--------------	----------------

REPARTITION ISO CAPABILITE



Il faut maximiser les Cam.

$$Cam = \frac{IT}{\Delta} \quad \Delta = 6\sigma = \text{Dispersion instantanée ou } \Delta = \text{tolérance mini réalisable.}$$

Il faut connaître la dispersion $\Delta = 6 \sigma_i$ de chaque pièce :

Exemple : $\Delta b = 0,018$ $\Delta f = \Delta g = 0,06$ $\Delta d = 0,18$ $\Delta a = \Delta c = 0,12$

Il faut déterminer les tolérances t_i telles que les capabilités soient les plus grands possibles.

$$C_i = \frac{t_i}{\Delta_i}$$

Etat initial des inéquations

$$\begin{aligned} t_a + t_b + t_c &\leq 0,6 \\ t_a + t_d &\leq 0,8 \\ t_c + t_f + t_g &\leq 0,3 \end{aligned}$$

• Calculer la capacité maxi $c_i = IT/n$

Chercher la plus petite capacité

Après changement de variables $t_i = C_i \cdot \Delta_i$

$\Delta a \cdot C_a + \Delta b \cdot C_b + \Delta c \cdot C_c \leq 0,6$	$n_1 = \Delta a + \Delta b + \Delta c = 0,258$	$C_1 = 2,32$
$\Delta a \cdot C_a + \Delta d \cdot C_d \leq 0,8$	$n_2 = \Delta a + \Delta d = 0,30$	$C_2 = 2,66$
$\Delta c \cdot C_c + \Delta f \cdot C_f + \Delta g \cdot C_g \leq 0,3$	$n_3 = \Delta c + \Delta f + \Delta g = 0,24$	$C_3 = 1,25$

→ $C_c = C_f = C_g = 1,25$ (si inférieur à 1, ce n'est pas réalisable)

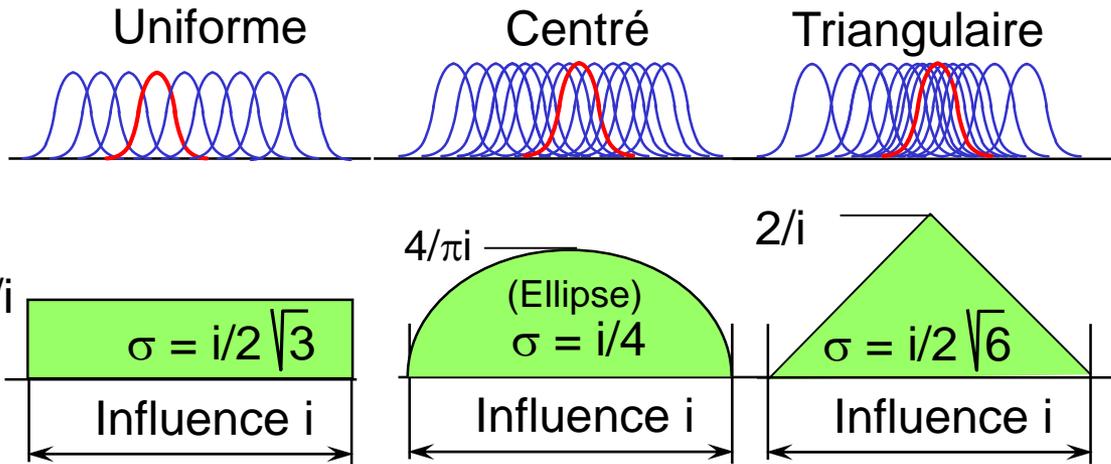
$$t_c = \Delta c \cdot C_c = 0,12 \times 1,25 = 0,15 \quad t_f = t_g = \Delta f \cdot C_f = 0,06 \times 1,25 = 0,075$$

Poursuivre par itération en éliminant les valeurs connues du système d'inéquations

METHODE STATISTIQUE

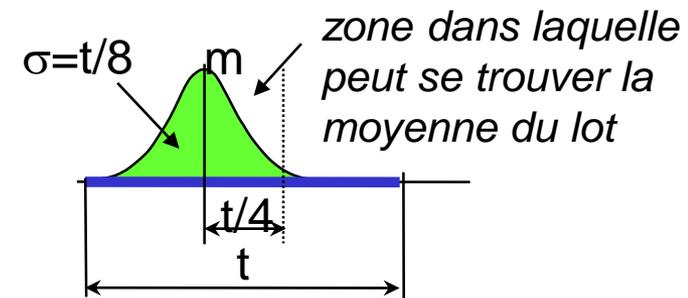
- En notation fonctionnelle, il s'agit de faire un calcul prévisionnel.
- Il faut estimer quelle est la probabilité d'obtenir un écart petit, moyen ou grand dans l'intervalle d'influence des tolérances de la pièce ?

Modèle probabiliste sans contrôle des lots (applicable en unitaire et en série)



Modèle semi - quadratique **avec contrôle des lots** (applicable en série)

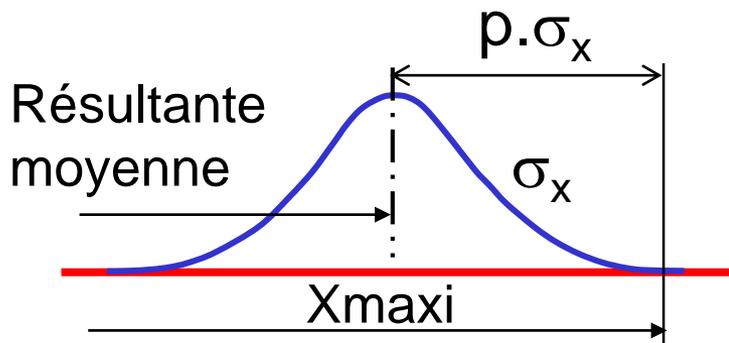
Applicable s'il n'y a pas d'effets angulaire (influence = tolérance)



Une courbe centrée peut être espérée si l'écart est dû à plusieurs facteurs indépendants (fabrication en plusieurs phases par exemple)

CALCUL DE LA RESULTANTE

S'il y a plus de 5 pièces dans la chaîne de cotes, la distribution sur la résultante est « quasi normale » (en prévisionnel, les distributions sont centrées)



$$X_{\text{nominal}} + p \cdot \sigma_x \leq X_{\text{maxi}}$$

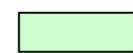
avec $\sigma_x = \sqrt{\sigma_a^2 + \sigma_b^2 + \sigma_c^2 + \sigma_d^2 + \sigma_e^2 + \sigma_f^2}$
 (vraie quelle que soient les distributions, si les pièces sont indépendantes)

Probabilité désirée
 (p=3 pour 99,86%)

X nominal + p

influence de la pièce b

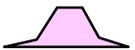
$$\sqrt{\frac{ia^2}{(2\sqrt{3})^2} + \frac{ib^2}{4^2} + \frac{ic^2}{6^2} + \frac{id^2}{6^2} + \frac{ie^2}{(5,07)^2} + \sigma_f^2 + ITf/2} \leq X_{\text{maxi}}$$



probabiliste uniforme $\sigma = i/2\sqrt{3}$



probabiliste centré $\sigma = i/4$



probabiliste centré $\sigma = i/6$



quadratique centré $\sigma = i/6$



semi-quadratique $t = 6\sigma + IT, IT = 2\sigma$

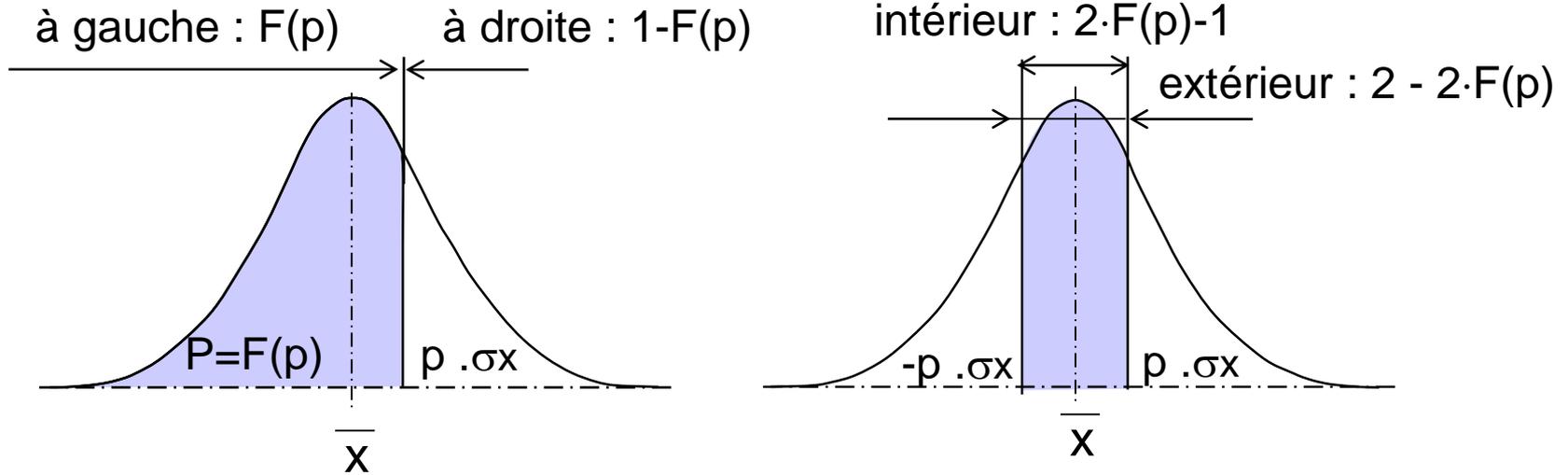


semi-quadratique $t = 6\sigma + IT$

possible s'il n'y a pas d'effets angulaires

LOI NORMALE

$F(p)$ donne la proportion d'individus contenue dans la population à gauche de la limite $\bar{x} + p \cdot \sigma_x$



p	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
à gauche	0,9772	0,9938	0,9987	0,9998	0,999968	0,999997	1,000000	1,000000	1,000000
à droite	0,0228	0,0062	0,0013	2,3267E-04	3,1686E-05	3,4008E-06	2,8710E-07	1,9036E-08	9,9012E-10
intérieur	0,9545	0,9876	0,9973	0,9995	0,999937	0,999993	0,999999	1,000000	1,000000
extérieur	0,0455	0,0124	0,0027	0,0005	6,3372E-05	6,8016E-06	5,7421E-07	3,8073E-08	1,9802E-09

LECTURE DES SPECIFICATIONS ISO DE COTATION

Décrire la spécification dans l'ordre suivant :

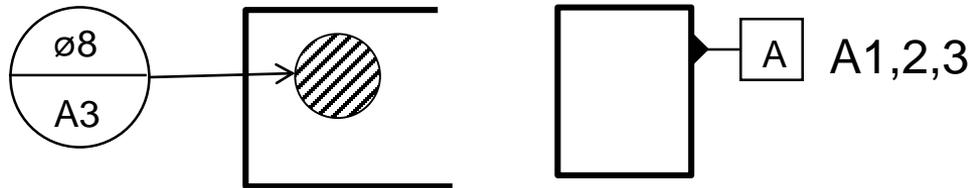
1- SYSTEME DE RÉFÉRENCES

Association du modèle nominal aux surfaces réelles de la pièce dans l'ordre primaire, secondaire, tertiaire.

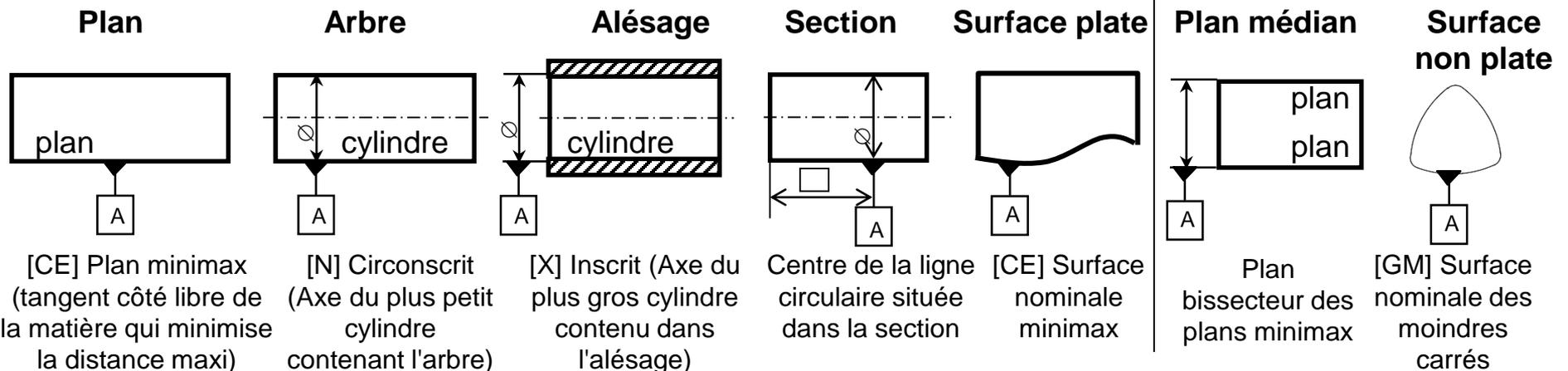
Ex : Primaire : Plan A, critère [GE] plan extérieur matière des moindres carrés

Donner la nature (plan, cylindre...) et le nom de la surface (A, B, C)

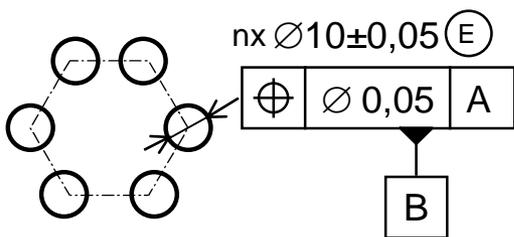
Décrire éventuellement les zones partielles hachurées.



- Critère d'association par défaut

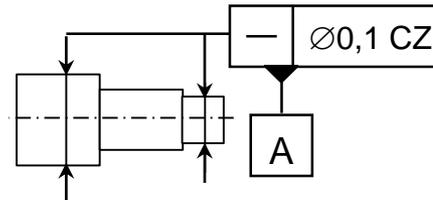


Groupe de trous



[CE] La référence B est formée par les n axes des n cylindres, perpendiculaires à A en position relative parfaite de diamètre différents qui sont contenus dans les alésages et minimisent la distance maxi

Cylindres coaxiaux



[CE] La référence A est l'axe de 2 cylindres coaxiaux de diamètres différents, extérieur matière qui minimise la distance maxi

Depuis 2017, le critère peut être indiqué dans la système de références

Φ	0,2	A[CE]	B[GM]	C[GM]
--------	-----	-------	-------	-------

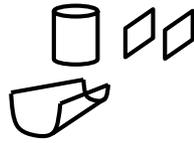
Critères recommandés

Sans
 (M) ni (L)

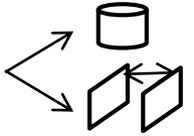
Surface plane ou "plate"
 Critère [GE] surface nominale **extérieure** matière des moindres carrés



Autres surfaces (cylindre, paire de plans, surface quelconque non plate)
 Critère [GM] surface nominale **moyenne** des moindres carrés



Avec (M) ou (L) : La surface nominale de référence est centrée sur



un cylindre de diamètre D qui doit être deux plans distants de D qui doivent être

(M) hors matière
 (L) dans la matière

	(M)	(L)
Pièce pleine (Arbre ou tenon)	D = d maxi	D = d mini
Pièce creuse (Alésage ou rainure)	D = d mini	D = d maxi

Référence avec [DV] (distance variable) composées de surfaces nominales symétriques par rapport à un plan
 Surfaces associées aux surfaces réelles par critère [] décalées symétriquement de δ par rapport aux surfaces nominales dans la direction normale au plan de symétrie.

Référence en position décalée par rapport à une référence prioritaire (par défaut, sauf avec (M) ou (L)).
 Surface associée à la surface réelle par critère [] décalée dans la direction perpendiculaire au plan nominal ou selon la perpendiculaire commune aux deux axes.

Référence en position nominale [DF] (par défaut avec (M) ou (L)).
 Surface nominale associée à la surface réelle par critère []

Référence avec >< (en orientation seulement)
 Surface associée à la surface réelle par critère [] décalé par translation de la surface nominale dans la direction

2- NOM DU SYMBOLE

Forme (pas de référence)		Orientation		Position		Battement	
Désignation	Symbole	Désignation	Symbole	Désignation	Symbole	Désignation	Symbole
Rectitude	—	Parallélisme	//	Localisation	⊕	Battement circulaire	↗
Circularité	○	Perpendicularité	⊥	Concentricité	◎		
Planéité	▭	Inclinaison	∠	Coaxialité	◎		
Cylindricité	∅			Symétrie	≡	Battement total	↻
Forme d'une ligne quelconque	⌒	Orientation d'une ligne quelconque	⌒	Position d'une ligne quelconque	⌒		
Forme d'une surface quelconque	⌒	Orientation d'une surface quelconque	⌒ ><	Position d'une surface quelconque	⌒		

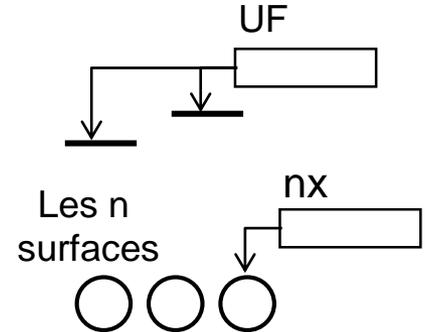
52

3 - SURFACE NOMINALE SPECIFIEE

3.1 Désignation

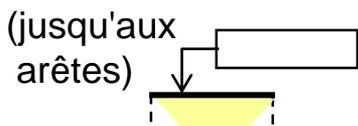
Le modificateur UF regroupe toutes les surfaces en une seule surface

Donner la nature de la surface ou des n surfaces (plan, cylindre, paire de plans parallèles symétriques, groupe de trous, cône, sphère, surface quelconque...), son nom (A, B, C.. ou un court texte pour désigner la surface)

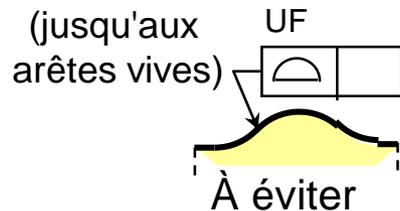


3.2 Etendue de la surface spécifiée

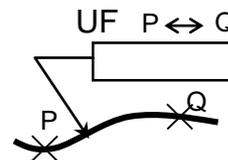
Toute la surface



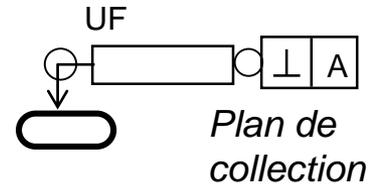
Tout le profil



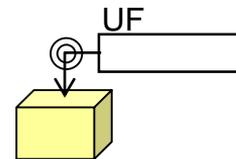
Entre P et Q



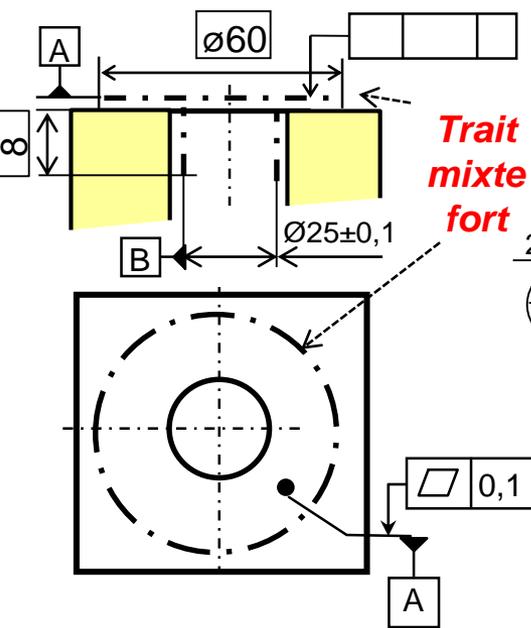
Tout autour du contour



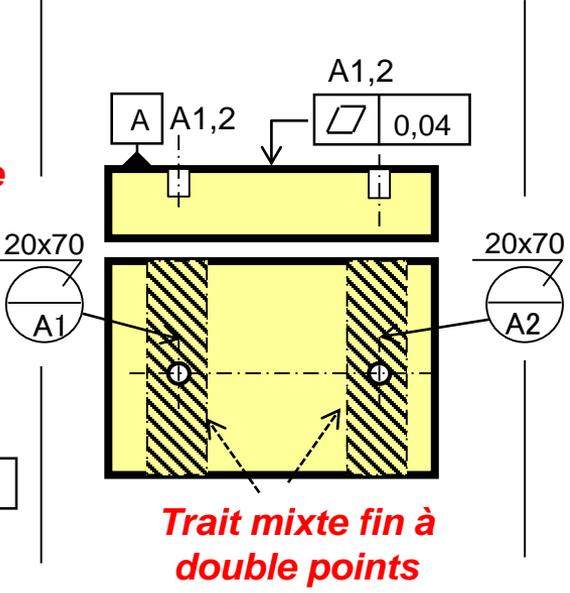
Toutes les surfaces



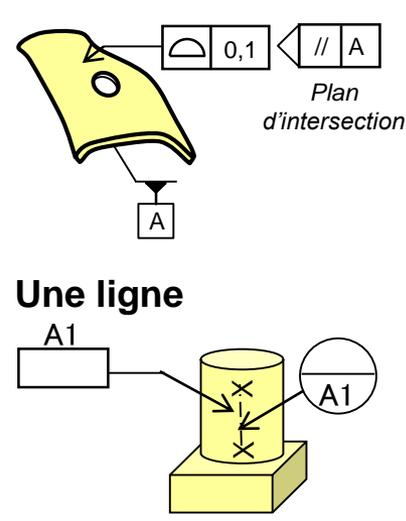
Zone restreinte



Zones partielles



Lignes d'une surface

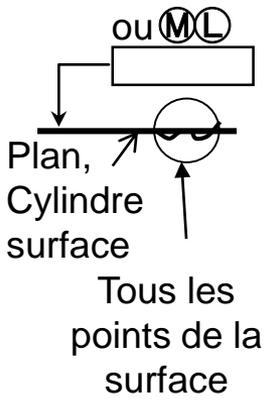


Zone glissante

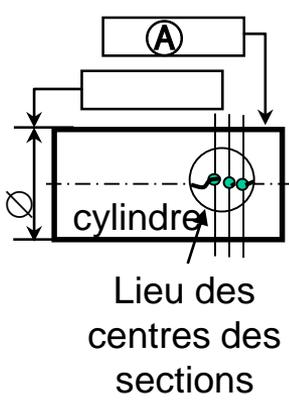
- Zone linéique
 - 0,02/50
- Zone surfacique
 - ▭ 0,1/ Ø20
 - ▭ 0,02/ 20x20
- Zone volumique
 - ⌒ 0,1/ SØ20
 - ▭ 0,02/ 8x8x8

4 - ÉLÉMENT TOLERANCÉ

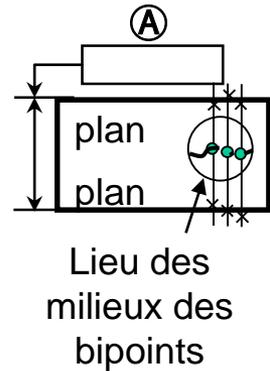
Surface réelle



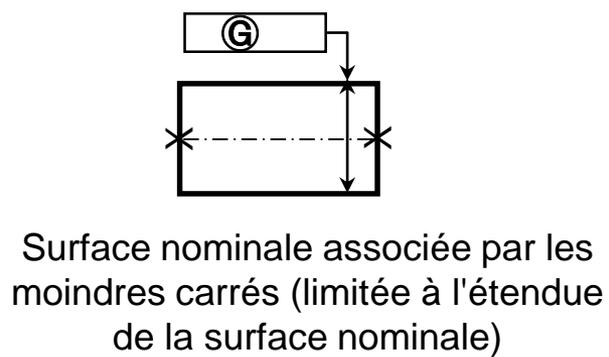
Axe réel



Surface médiane réelle



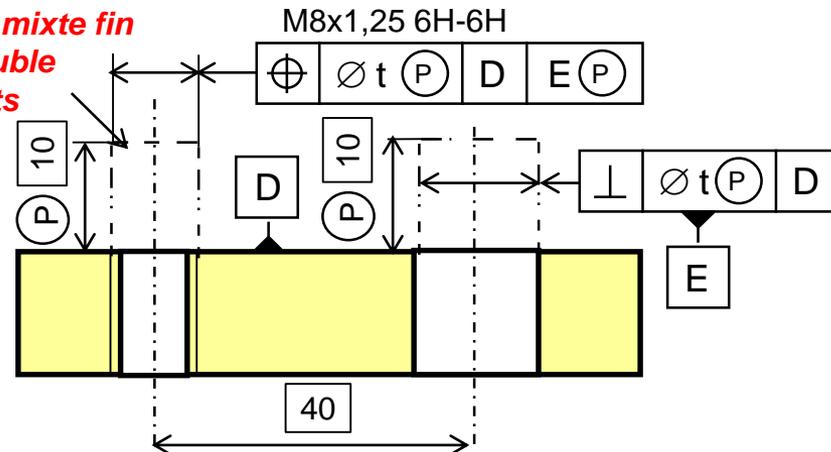
Surface associée



En plage de projection \textcircled{P}

L'élément tolérancé est le prolongement dans la plage de projection définie par \textcircled{P} , de l'axe de l'alésage associé par les moindres carrés ou de l'axe du filetage matérialisé par un tampon fileté.

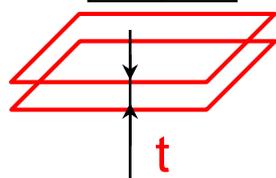
Trait mixte fin à double points



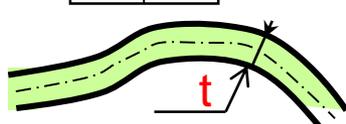
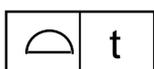
5 - ZONE DE TOLERANCE

La zone de tolérance est construite par rapport à la surface nominale spécifiée.

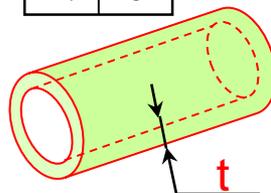
- . Position : la zone de tolérance est centrée sur l'élément nominal
- . Orientaion : la zone de tolérance est parallèle à l'élément nominal (décalée par translation par rapport à l'élément nominal)
- . Forme : la zone de tolérance est libre par rapport au nominal (6 degrés de liberté)



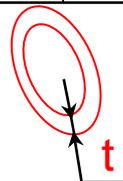
Entre 2 plans



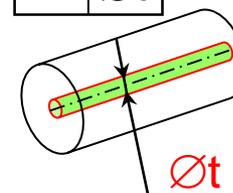
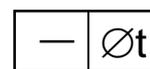
Entre 2 surfaces offset



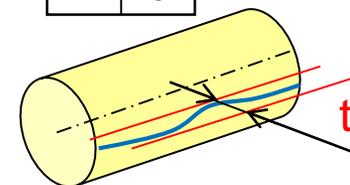
Entre deux cylindres coaxiaux



Entre deux cercles concentriques



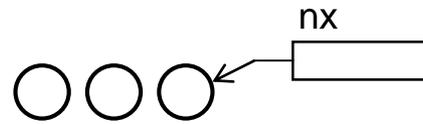
Dans un cylindre



Entre 2 droites

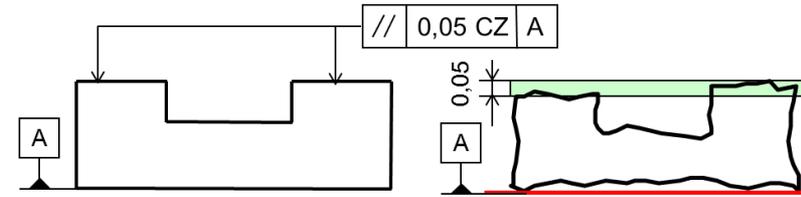
Groupe avec nx

Il y a n zones de tolérance



Zone combinée CZ

Les éléments tolérancés appartiennent à la même zone de tolérance



Sans maximum ou minimum de matière

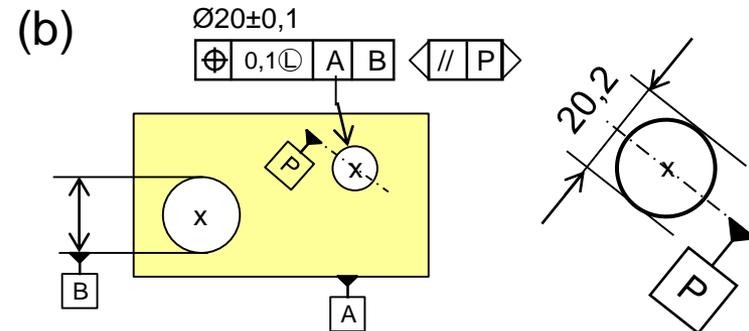
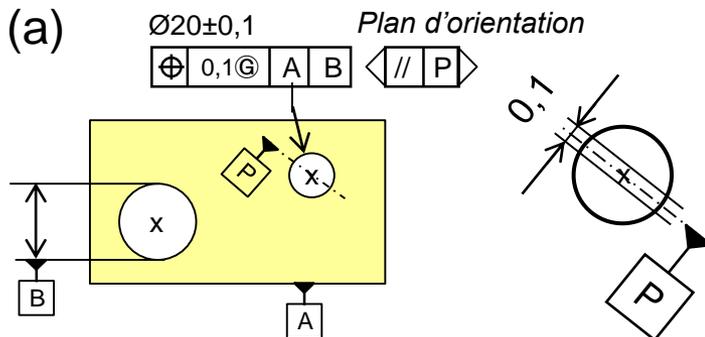
- avec symbole \emptyset : zone cylindrique $\emptyset t$ (sur un groupe de n trous : n zones cylindriques $\emptyset t$)
- avec symbole $S\emptyset$: zone sphérique $\emptyset t$;
- pas de symbole \emptyset :
 - . plan : zone comprise entre deux plans distants de t
 - . surface quelconque : espace compris entre 2 surfaces offset décalées de $t/2$ et $-t/2$.
 - . génératrices d'un cylindre, d'un cône ou lignes d'un plan : zone comprise entre deux droites distantes de t
 - . axe d'un cylindre : zone comprise entre deux plans distants de t, orientée selon la direction perpendiculaire à la flèche issue du cadre de tolérance ou par le plan d'orientation (figure a).

Avec maximum ou minimum de matière

La zone de tolérance est de la même forme que la surface nominale et de dimension donnée par le tableau

Surface spécifiée	Maxi matière (M) Frontière hors matière	Mini matière (L) Frontière dans la matière
Pièce pleine (Arbre ou tenon)	d maxi + tolérance	d mini - tolérance
Pièce creuse (Alésage ou rainure)	d mini - tolérance	d maxi + tolérance

Sans \emptyset , la zone de tolérance cylindrique est libre entre deux plans donnés par le plan d'orientation (figure b)



6 - VALIDATION

Classique : La spécification est vérifiée si l'élément tolérancé est contenu dans la zone de tolérance.

Spécification de lignes : La spécification est vérifiée si l'élément tolérancé est contenu dans la zone de tolérance pour chaque plan d'intersection

Avec référence au minimum de matière : La zone de tolérance étendue doit être respectée quelle que soit la position de la pièce permise par le jeu entre la surface réelle de référence et le montage de contrôle.

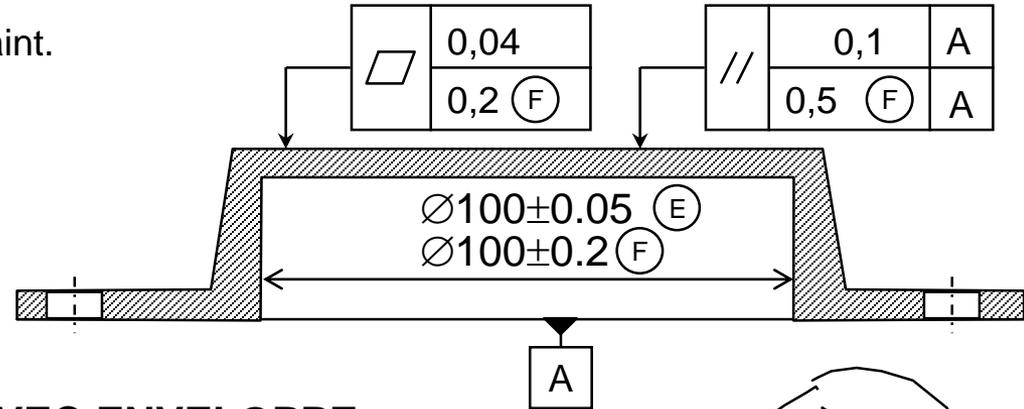
7 - CONDITIONS DE MESURE

Spécifications sans (F) contrôlées à l'état contraint.

Spécifications avec (F) contrôlées à l'état libre.

Condition de contraintes ISO 10579-NR:

La pièce est plaquée face A sur un marbre avec 8 vis M6 placées dans les 8 trous périphériques. Le couple de serrage des vis est de 10 Nm.



8 - TOLERANCEMENT DIMENSIONNEL AVEC ENVELOPPE

Chaque dimension locale (distance entre des points face à face) doit être comprise dans l'intervalle de tolérance.

$$d_{\text{mini}} \leq d_i \leq d_{\text{maxi}}$$

L'exigence de l'enveloppe ajoute l'une des conditions suivantes :

Arbre : la surface réelle doit pouvoir être contenue dans un cylindre de diamètre $d_{\text{maxi}} = ..$

Alésage : la surface réelle doit pouvoir contenir un cylindre de diamètre $d_{\text{mini}} = ..$

Tenon : les 2 surfaces réelles doivent pouvoir être contenues entre 2 plans distants de $d_{\text{maxi}} = ..$

Rainure : les 2 surfaces réelles doivent pouvoir contenir 2 plans distants de $d_{\text{mini}} = ..$

